

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ**



**ARTICULO INVESTIGACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**

**INGENIERO EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS OSCILACIONES DE TRABAJO DE LA  
SUSPENSIÓN EN SISTEMA UNIBALL**

**KEVIN CORREA – SAUL FLORES**

**DIRECTOR: ING. MIGUEL GRANJA**

**QUITO, DICIEMBRE 2021**



## 1. CERTIFICADO

Nosotros Saul Flores, Kevin Correa bajo juramento declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada. Cedemos nuestro derecho a la Universidad Internacional del Ecuador para que dicho trabajo de tesis sea publicado.



-----  
Kevin Correa



-----  
Saul Flores

Yo Ing.. Miguel Granja certifico que, conozco a los autores del presente trabajo, siendo el responsable, tanto de su originalidad y autenticidad como de su contenido.



-----  
Ing. Miguel Granja

**Dedicatoria.:**

Dedicamos la investigación, ejecución y realización de nuestro artículo a nuestros profesores de la Universidad Internacional del Ecuador, quienes supieron darnos los conocimientos necesarios para poder desenvolvemos de la mejor manera dentro del ámbito profesional. A nuestros familiares, quienes nos apoyaron en todo momento durante nuestra trayectoria como estudiantes y a nuestros amigos más cercanos por siempre acompañarnos y darnos ánimos pese a cualquier circunstancia en la que nos encontremos.

**Agradecimiento:**

Agradecemos a todos nuestros seres queridos que colaboraron con un granito de arena para poder seguir adelante y culminar con nuestro proyecto de investigación. Agradecemos de manera especial a nuestros padres quienes con mucho esfuerzo supieron guiarnos en nuestro camino como estudiantes para poder convertirnos en futuros profesionales.

## TABLE OF CONTENTS

<i>Certificación o Acuerdo de Confidencialidad:</i> .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
<i>Dedicatoria:</i> .....	<i>iv</i>
<i>Agradecimiento:</i> .....	<i>v</i>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>8</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>9</b>
<b>2. MARCO TEORICO</b> .....	<b>9</b>
<b>3. MATERIALES Y METODOS</b> .....	<b>12</b>
<b>Metodología</b> .....	<b>12</b>
<b>Procedimiento</b> .....	<b>12</b>
<b>1.1. Materiales</b> .....	<b>13</b>
<b>Vehículo</b> .....	<b>13</b>
<b>*TOYOTA FORTUNER</b> .....	<b>13</b>
<b>5. CONCLUSIONES</b> .....	<b>19</b>
<b>2.</b> .....	<b>19</b>
<b>6. REFERENCIAS</b> .....	<b>20</b>

## RESUMEN

El sistema de suspensión de un vehículo permite la correcta estabilidad del mismo, así como brinda mayor seguridad y confort para los pasajeros.

Como parte del sistema de suspensión tenemos a los amortiguadores, estos cumplen un papel fundamental, ya que transforman la energía cinética producida en el vehículo a energía calorífica. Existe una gran variedad de amortiguadores, sin embargo, los más frecuentes en vehículos de media y baja gama son los hidráulicos. Podemos observar también que un automóvil puede tener un sistema de suspensión convencional o sistema Uniball, el análisis comparativo de los mismos nos sirve para determinar qué sistema supera de mejor manera las pruebas a los que serán sometidas. Los vehículos fueron sometidos a diversos estudios, uno de ellos es la oscilación y frecuencia que emite la suspensión al momento de ponerla a prueba.

En conclusión, se llegó a determinar que la suspensión Uniball, brinda mejores prestaciones tanto de confort y seguridad en comparación a la suspensión convencional de un vehículo, con la finalidad de que cumpla con los exigentes esfuerzos en carreteras en mal estado.

**Palabras Clave:** Uniball, maniobrabilidad, amortiguación, confort, oscilación, frecuencia.

## SUMMARY

The vehicle's suspension system allows a correct stability, and provides greater safety and comfort for passengers. As one part of the suspension system, we have the shock absorbers. These play a fundamental role, since they transform the kinetic energy produced in the vehicle into heat energy. There is a wide variety of shock absorbers, however, the most common in medium and low-end vehicles are hydraulic ones. We can also observe that a car can have a conventional suspension system or Uniball system, the comparative analysis of the same helps us to determine which system better surpasses the tests to which they will be subjected. With a good level of comfort and stability is the conventional suspension which in turn provides a high level of maneuverability in the car, unfortunately it also hints at a significant disadvantage compared to the other suspension system at the level of a race car.

As already mentioned, vehicles are subjected to various studies, one of them is the oscillation and frequency that the suspension emits when it is put to the test. The inherent frequency of the suspension may vary depending on the needs of the uses to which each car is destined and that can be between 1 and 2 Hz. The frequency of 1.2 Hz corresponds to that of a person who walks at 7 km / h and therefore the human body is used to it.

In conclusion, it was determined that the Uniball suspension provides better benefits in terms of comfort and safety compared to the conventional suspension of a vehicle. This is very useful considering the demanding efforts that the vehicle passes because of bad roads.

**Key words:** Uniball, handling, damping, comfort, oscillation, frequency.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las propiedades de un sistema de suspensión son características muy importantes que describen el comportamiento de un vehículo en caminos difíciles. Debido a que permiten la correcta estabilidad del vehículo para brindar mayor seguridad y confort a los pasajeros. Diagramas asociados a esta propiedad permiten la observación del comportamiento del vehículo en distintos modos de manejo. No solo se considera a la suspensión como parte de una buena amortiguación y estabilidad en el vehículo, también el uso adecuado de neumáticos en buen estado proporciona una considerable importancia para obtener las propiedades mencionadas anteriormente. El amortiguador cumple un papel importante en el sistema de suspensión, ya que transforman la energía cinética producida en el vehículo en calorífica, existen varios tipos de amortiguadores, pero los más frecuentes en vehículos de media y baja gama son los amortiguadores hidráulicos. El análisis comparativo entre una suspensión convencional y una suspensión con sistema Uniball nos sirve para determinar qué sistema cumple de mejor manera a las pruebas que serán sometidas, Una de esas pruebas es la oscilación y frecuencia que emite la suspensión al momento de ponerla a prueba. Podemos observar que la frecuencia propia de la suspensión puede variar en función de las necesidades de usos a que destinemos. Cada automóvil puede tener, entre 1 y 2 Hz. La frecuencia de 1,2 Hz corresponde a la de una persona que camina a 7Km/h y por tanto el cuerpo humano está acostumbrado. En el caso de una disminución de frecuencia 0.9 – 0.7, la experiencia que se siente es como la de estar en un barco y se producen vértigo y mareo. Por el contrario, cuando los valores aumentan 5 - 6 Hz, habra algunas secciones del cuerpo que entraran en resonancia. Mientras que con

frecuencia de 18 a 20 Hz, lo que entra en resonancia es la parte superior del cuerpo (Cabeza y Cuello). Razón por la cual un estudio de las mismas, para el vehículo Toyota Fortuner del mismo fabricante, pero de diferente tipo de suspensión, permitirá conocer variaciones que puedan ser significativas para evaluarlos.

Las suspensiones convencionales proporcionan un buen nivel de confort, estabilidad y maniobrabilidad del vehículo, pero evidencian desventajas significativas con respecto al otro sistema de suspensión para un vehículo de carrera, debido a que la geometría de sus partes son adaptadas para un mejor desempeño, ya que una de sus partes de este sistema como el vástago, es metido en una especie de bola que le permite que sus oscilaciones de bamboleo sean las más adecuadas al momento de tomar una curva a gran velocidad.

## 2. MARCO TEORICO

### Suspensión McPherson

Posee ventajas como mejor peso y complejidad, además de ahorrar espacio para el motor y permitir un sistema de tracción delantera sencillo, por el bajo número de componentes. Debido a que el amortiguador se une directamente a la rueda a través del buje, posibilitando que rueda y bastidor se desplacen en la misma dirección perpendicular al eje del amortiguador. Esto considerándose que el movimiento de la rueda al enfrentar una irregularidad nunca es perfectamente perpendicular al suelo debido a que el cáster, cáster, convergencia y divergencia le obligan a describir una trayectoria de arco sobre los puntos de pivote.

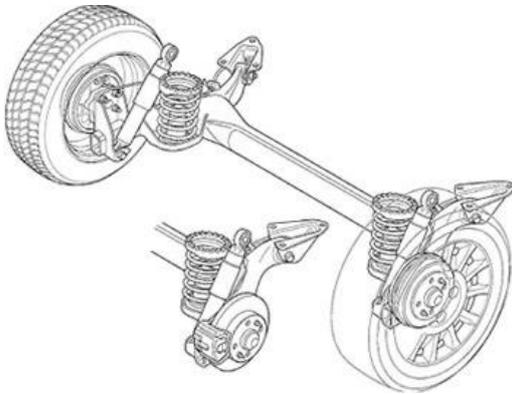
Entre los elementos que componen la suspensión McPherson, *ver Figura 2*, los principales son el muelle y el amortiguador, del segundo depende en gran medida el funcionamiento del sistema en función de su

calidad ya que tolera esfuerzos transversales a su eje.

Su uso es más frecuente en el eje delantero mediante el uso de una estructura o componente triangular como sujeción inferior.

### Suspensión de barra de torsión

Las ruedas se encuentran unidas mediante brazos longitudinales conectados un travesaño el cual se deforma torsionalmente de manera elástica en el momento que la rueda se encuentra con una irregularidad en el camino, permitiendo la recuperación parcial del ángulo de caída. (Mesa, 2011) Ver Figura 3



**Figura 1.** – Suspensión por barra de torsión

**Fuente:**

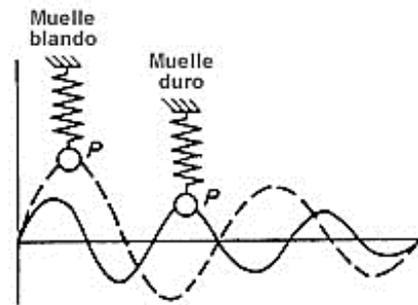
<http://www.aficionadosalamecanica.net/suspension3.htm>

### 1.1 CARACTERÍSTICAS DEL CONJUNTO MUELLE – AMORTIGUADOR

Los componentes de la suspensión al soportar todo el peso del vehículo, deben ser lo suficiente fuertes para que las cargas actuantes no desemboquen en deformaciones permanentes, al mismo tiempo que deben mantener su elasticidad para permitir que los neumáticos no pierdan adherencia con el suelo. Tal elasticidad debe permitir la absorción de la energía transmitida y devolverla en una serie de oscilaciones de magnitud decreciente y armónica, hasta que cesan una vez alcanzada la posición de equilibrio.

De lo anterior se desprende que un muelle blando tendrá gran recorrido y un bajo número de oscilaciones (baja respuesta de frecuencia),

mientras que un muelle duro será todo lo contrario, esto cuando actúa una carga. (Meganeboy, 2014) Ver figura 4



**Figura 2.** – Influencia de la dureza del muelle en las oscilaciones

**Fuente:**

<http://www.aficionadosalamecanica.net/suspension1.htm>

La suspensión es el conjunto de elementos mecánicos del automóvil, los cuales son los encargados de asegurar el contacto del neumático con el terreno, proporcionando estabilidad en la marcha del vehículo, al mismo tiempo que protegen a los ocupantes y al vehículo de las irregularidades del terreno y brindando también un mejor funcionamiento de la dirección.

Se han realizado varios estudios donde demuestran que el margen de comodidad para una persona está en torno a una oscilación por segundo. Una cifra superior estimula el sistema nervioso y una cifra muy inferior genera el mareo. Por lo tanto, para disponer de una suspensión ideal, el número de oscilaciones debe estar comprendido entre 30 y 60 oscilaciones por minuto. Para determinar el valor ideal, se tienen en cuenta dos variables: El peso que soporta el elemento elástico y el coeficiente de elasticidad del mismo. El periodo viene dado por la fórmula:

$$T = 2 \cdot \pi \sqrt{\frac{P}{K \cdot g}}$$

Siendo:

T = Período o tiempo de oscilación en segundos.

P = Peso en Kg.

K = Coeficiente elástico del resorte en  $\frac{\text{Kg}}{\text{m}}$

g = Gravedad =  $9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Y finalmente,  $f = \frac{1}{T}$  que multiplicado por 60 nos da las oscilaciones por minuto.

Las condiciones que debe cumplir un sistema de suspensión en un vehículo son dos: elasticidad, la cual es encargada de evitar que las desigualdades o deformación del terreno se transmitan al vehículo en forma de golpes secos; y la otra es la amortiguación que se encarga de impedir un excesivo balanceo en el automóvil.

Se denomina peso suspendido a los mecanismos soportados por el chasis o bastidor del vehículo (motor, carrocería, etc.). El sistema de suspensión enlaza estas dos partes por medio de una unión elástica, que aparte de ser la encargada de amortiguar los golpes que las ruedas transmiten al bastidor, también se encarga de amortiguar el peso que el vehículo devuelve a las ruedas a causa de una fuerza de reacción.

Cuando una rueda sobrepasa un obstáculo, la masa no suspendida se eleva y el muelle se comprime almacenando la energía del impacto. De manera inmediata, el muelle se extiende empujando por un costado al neumático contra el pavimento y por el otro a la carrocería del vehículo, causando elevación. Si no hubiese ningún tipo de suspensión, los movimientos de las ruedas se transmitirían directamente al chasis y a la carrocería, produciendo golpes violentos y perjudiciales, tanto para los pasajeros como para los elementos mecánicos que forman parte del vehículo.

### **Tipos de Suspensión**

Existen varios sistemas de suspensión, pero básicamente se los puede dividir en:

suspensión de las ruedas delanteras y suspensión de las ruedas traseras.

Los sistemas de suspensión que poseen las ruedas delanteras deben permitir el movimiento vertical de las mismas con respecto al bastidor, sin importar cuál sea la orientación de la rueda.

La suspensión de eje rígido presenta el inconveniente de que los movimientos y vibraciones de una de las ruedas se transmiten en menor proporción a la otra, mientras que en la suspensión independiente, los movimientos de una rueda no afectan en absoluto a la otra, al tiempo que se suprime el eje con lo que se ahorra en peso, es por ello que los vehículos de turismo son los que más ocupan este tipo de suspensión.

Esto produce una mayor comodidad en la conducción del vehículo y mejor estabilidad del mismo al haber disminuido el peso no suspendido.

En este tipo de suspensión se emplean ballestas, muelles, barras de torsión y amortiguadores, indistintamente, siendo muy variados los sistemas utilizados.

Los sistemas de suspensión que poseen las ruedas traseras suele emplearse un eje rígido en las ruedas traseras, propulsoras o no, y se dispone la suspensión por ballestas o muelles helicoidales.

En cualquier caso, el disponer de un sistema u otro dependerá de las prestaciones que queramos obtener tales como el confort y la estabilidad, el accionamiento de las ruedas delanteras o traseras y del propio diseño del automóvil.

Los tipos de suspensión más utilizados son: suspensión rígida, suspensión semirrígida y suspensión independiente.

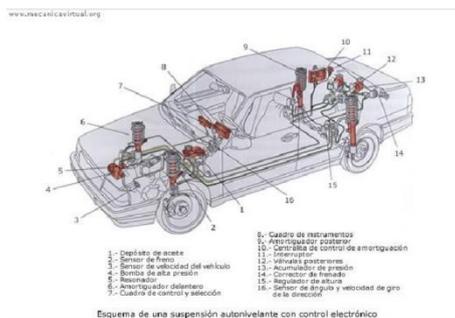
### **Suspensión Convencional**

Este tipo de suspensión la tienen normalmente los vehículos de carga y pasajeros. Es usada normalmente en vehículos que llevan chasis y

se utiliza con amortiguador, resortes del tipo hoja, muelle o barra de torsión. Para controlar o absorber las vibraciones del resorte, utiliza amortiguadores del tipo convencional.

Esta suspensión está constituida por una suspensión mecánica por muelles, cuya regulación del nivel trasero de la carrocería se realiza hidráulicamente de forma mecánica. Se diferencia de la "suspensión convencional pilotada electrónicamente" por el sistema autonivelante trasero. Este sistema mantiene una geometría de suspensión constante en cualquier trayecto y de forma independiente a la carga del vehículo.

Según la carga, se regula la altura y, según los sensores de frenado, aceleración, ángulo y velocidad de giro de la dirección y velocidad del vehículo.



### Suspensión Uniball

Este tipo de suspensión posee 3 tipos de movimientos, ya que permite rotaciones de los brazos unidos a la misma, alrededor de 3 ejes perpendiculares entre sí.

Dos de los movimientos de la suspensión tienen un ángulo que se encuentra limitado de rotación, pero el tercer movimiento puede ser en ángulo de 360 grados.

Además de sus aplicaciones principales ya citadas, se utiliza en los reenvíos de la barra anti balanceo, en tirantes y en otros puntos.

Este tipo de arquitectura en el sistema de suspensión posee una rótula, la cual consta de una semiesfera con un vástago cónico roscado

por un extremo: la forma de este vástago es semejante a la de un hongo. La parte esférica está encerrada en un casquillo, también esférico, y es lubricada por una capa fina de material auto lubricante, como el PTFE. Generalmente, la parte cónica se introduce en un agujero del brazo de las suspensiones, mientras que el casquillo que protege la parte esférica está sujeto con tornillos en un asiento que lleva la mangueta. Para los demás grupos, las uniones pueden realizarse de una manera diferente.

La rótula de la suspensión Uniball es considerada especial, ya que es empleada principalmente en los coches de competición por los grandes ángulos de giro que permite.

Los brazos de control Uniball son diseñados para usos severos, en la mayoría de los sistemas de suspensión del mercado, estos brazos reemplazarían la delgada acción de brazos de control superior, los cuales son propensos a la flexión y falla de la junta de rótula.

## 3. MATERIALES Y METODOS

### Metodología

#### Procedimiento

Se dispone a tomar los valores dados de frecuencia y oscilación tanto de la suspensión convencional y la Uniball:

- Oscilaciones de empuje: Se produce al pasar por terreno ondulado.
- Oscilaciones de cabeceo: Son ocasionadas por frenados bruscos.
- Oscilaciones de bamboleo: Se genera al tomar curvas a altas velocidades.

Estos parámetros son los mismos para cada tipo de análisis establecidos en los diferentes modelos de suspensión que serán utilizados en la investigación, solo variarán los instrumentos que hagan posible la mejor observación de los valores.

## 1.1. Materiales

Con la finalidad de obtener valores de valides para el estudio se usaron instrumentos tales como: Línea de inspección para medir las oscilaciones, amortiguador convencional, amortiguador Uniball, vehículo (Toyota Fortuner), herramientas, overol, etc.



**Figura 0.1. Amortiguador convencional**



**Figura 0.2. Uniball**



**Figura 0.4. Herramientas de taller**

**Vehículo**

**\*TOYOTA FORTUNER**



**Figura 0.5. TOTOTA FORTUNER**

La Toyota Fortuner también conocida como Toyota Hilux SW4, es un vehículo deportivo utilitario medio, el cual se basa en el estilo de la Toyota Hilux, la cual fue creada por la fábrica de vehículos Toyota en Japón.

Originalmente se ensamblaron sólo en Tailandia, y más tarde la línea de ensamblaje llegó a Sudamérica, en específico a Venezuela, Argentina e Indonesia, además de en otros países.

Este vehículo cuenta con tres filas de asientos y está disponible en dos versiones, las cuales son: la 4x2 de 2350 kg y la 4x4 de 2450 kg, juntas de 158 caballos de fuerza.

Es importante mencionar que el proyecto IMV, incluye al Toyota Fortuner, Toyota Hilux y la

Toyota Innova como parte fundamental del mismo.

Este vehículo fue el más vendido en la categoría a la que pertenece, la cual es (SUV / PPV) en Filipinas y Tailandia en la actualidad.

El Fortuner cuenta con un motor de 2.700 cc, 4 cilindros en línea, 16 válvulas, DOHC y tecnología DUAL VVT-i, con una potencia de 163Hp y un torque de 245 Nm, lo que genera una mayor potencia, un menor consumo y es menos contaminante para el medio ambiente.

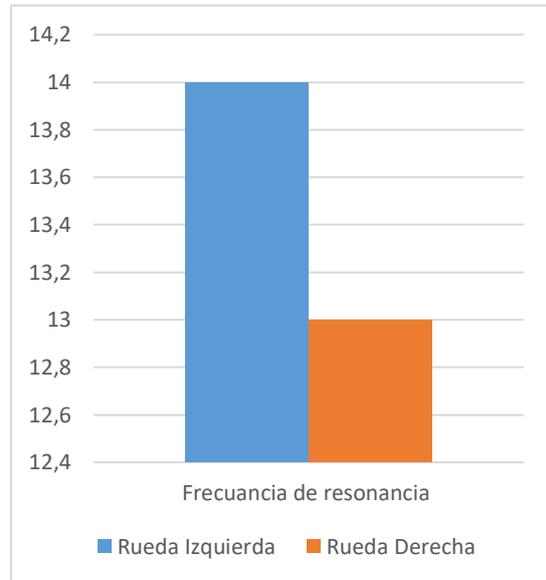
También está disponible la versión con motor de 4.000 cc, 6 cilindros en V, 24 válvulas, DOHC y tecnología VVT-i que entrega una potencia de 235 Hp y un torque de 376 Nm.

El Fortuner está equipado con una pantalla multi-información frontal la cual brinda datos importantes tales como consumo de combustible a tiempo real, temperatura, modos de conducción; los cuales mejoraran la experiencia del conductor para tener lo que en Toyota llamamos fun to drive. Cuenta con aire acondicionado para las tres filas de asientos, paquete electrónico completo como equipamiento estándar. Los sensores de parqueo permiten entrar a lugares difíciles. La llave es tipo navaja y cuenta con bloqueo central e inmovilizador inalámbrico. [2]

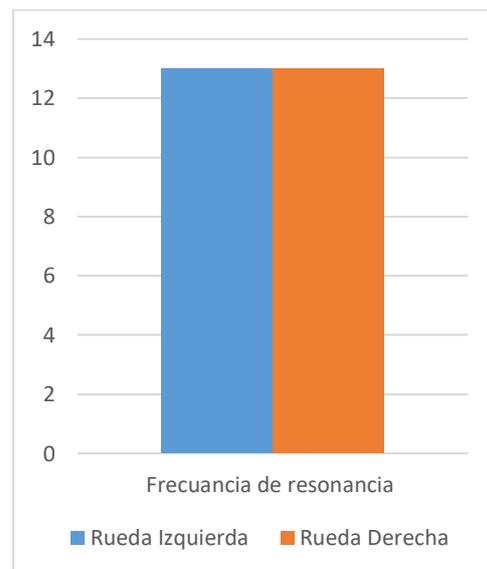
#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

##### Pruebas individuales

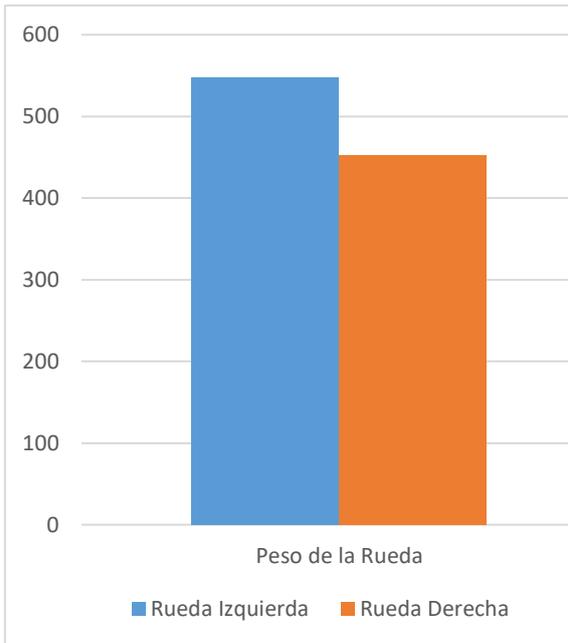
A continuación se presentan las gráficas comparativas obtenidas en la medición del sistema de suspensión de un Toyota Fortuner, teniendo en cuenta, que el eje delantero posee suspensión de tipo Uniball y el eje posterior posee un sistema de suspensión independiente McPherson. Además, cabe recalcar que el automóvil presento una adherencia al suelo del 71%.



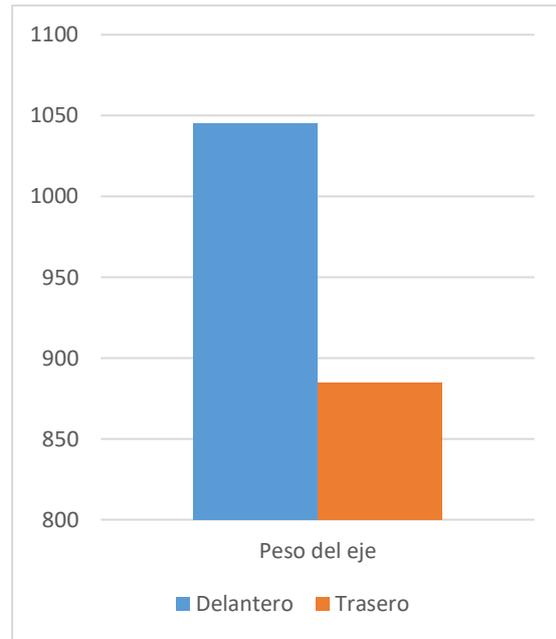
**Gráfico 3.1 Frecuencia de resonancia en Hertz eje delantero**



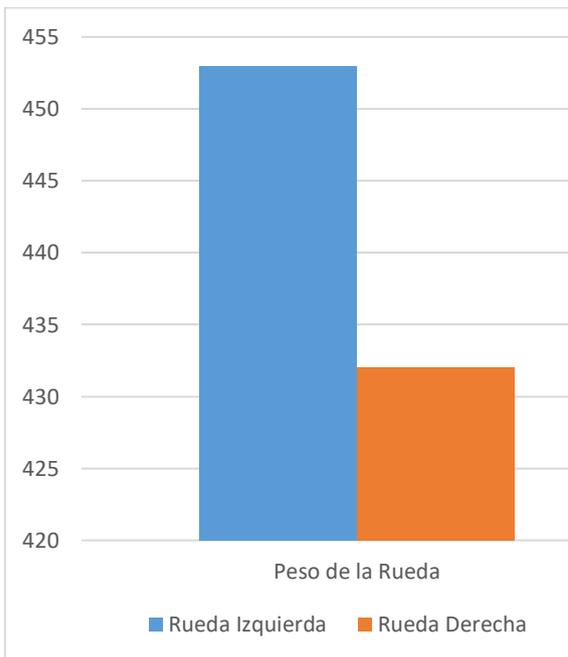
**Gráfico 3.2: Frecuencia de resonancia en Hertz eje trasero.**



**Gráfico 3.3: Peso de la rueda del eje delantero en Kg.**



**Gráfico 3.5: Peso de los ejes en Kg.**



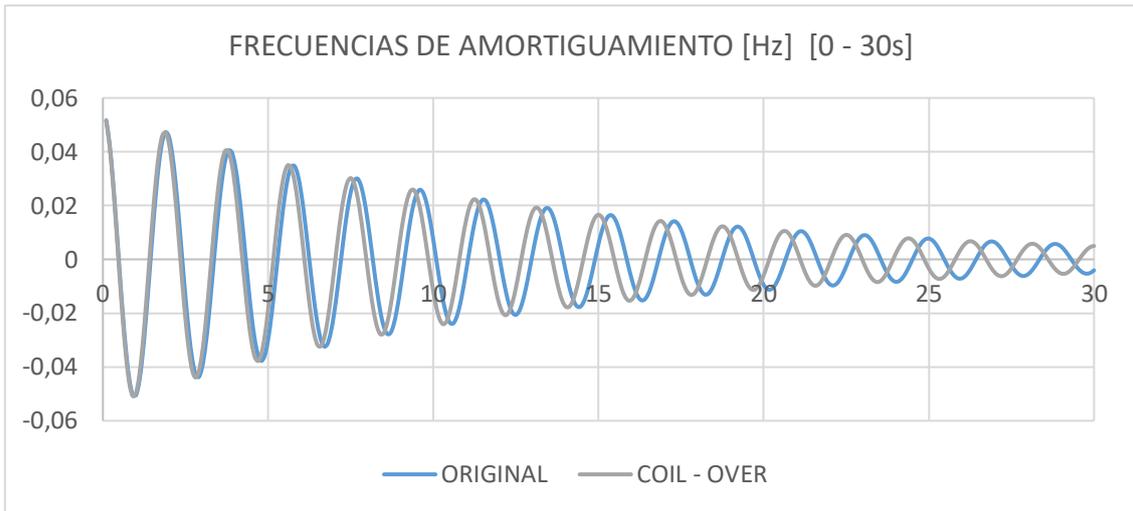
**Gráfico 3.4: Peso de la rueda del eje trasero en Kg.**

Datos de identificación		Datos de prueba		
Modelo	Autómata hasta 3.5 T	Fecha de registro	18/10/2018 09:34	
Marca	Fabricante del vehículo	Modelo del vehículo		
Matrícula	placade matricula	placade matricula	pbo6468	
Cliente No.	L00000246	Número de orden de test	L00000372	
<b>Resultados de la prueba del mecanismo de traslación</b>				
	Eje delantero		Eje posterior	
Frecuencia de resonancia	izquierda	derecha	izquierda	derecha
Adherencia al suelo	14 Hz	13 Hz	13 Hz	13 Hz
Peso de la rueda	71 %	71 %	71 %	71 %
Peso del eje	548 kg	497 kg	453 kg	432 kg
Peso del eje	1045 kg		885 kg	
Evaluación final	18/10/2018 09:34		18/10/2018 09:34	
Mecanismo de traslación	Medido	Valor legal	Estado	
diferencia de adherencia eje delantero	0 %	30 %	OK	
diferencia de adherencia eje trasero	0 %	30 %	OK	

**Gráfico 6: Tabla de Resultados.**

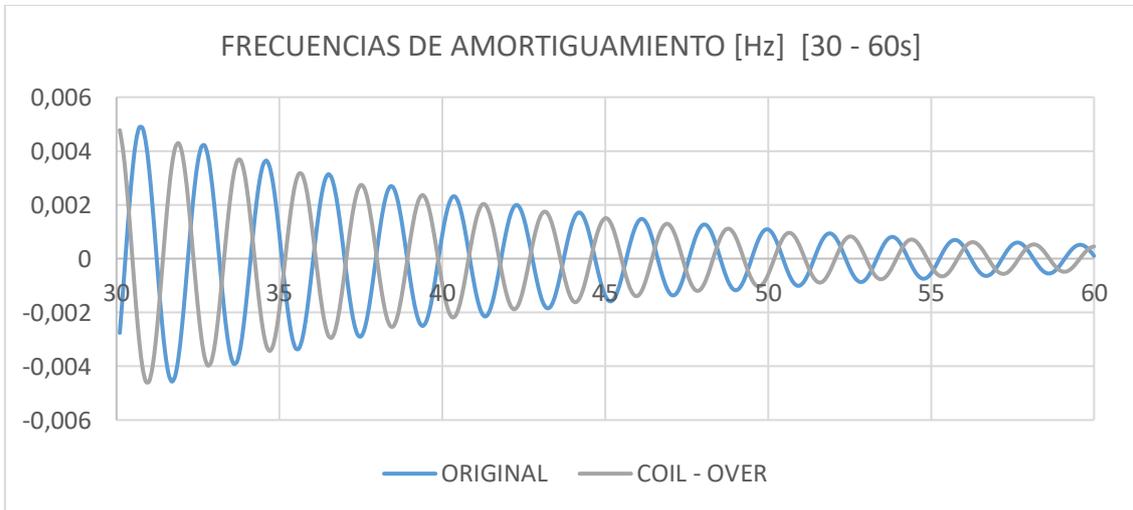
No se puede apreciar una gran diferencia entre el lado izquierdo y derecho del eje delantero, ya que el valor de frecuencia de resonancia que existe de diferencia entre estos es de 1 Hz; por otro lado, en el eje trasero tanto el lado izquierdo como el derecho tienen el mismo valor de frecuencia, generando así el mismo porcentaje de adherencia al suelo que el eje delantero.

Los resultados gráficos se muestran en las siguientes figuras:



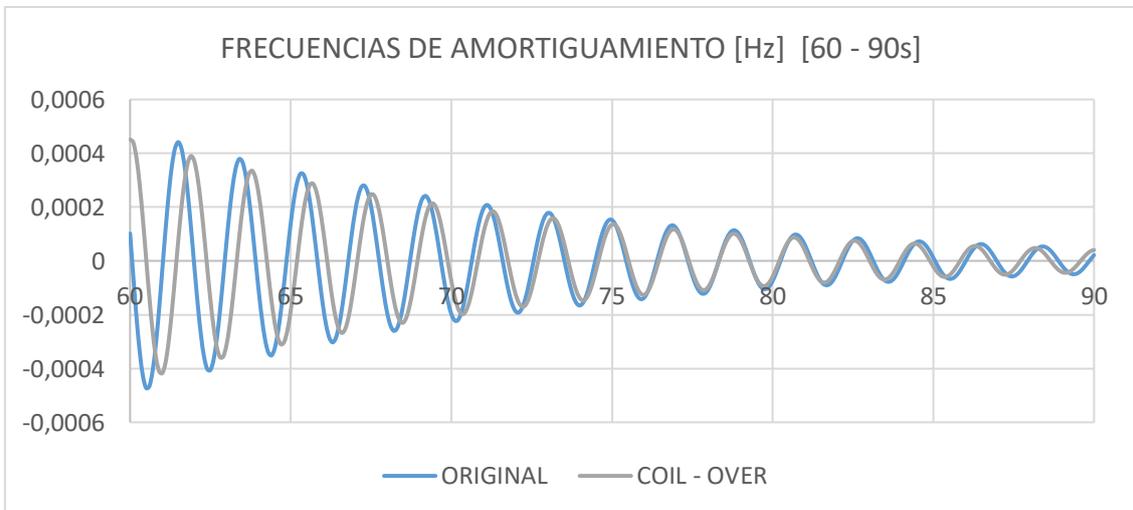
**Figura 3.** – Frecuencias comparadas entre muelles pretensados y coil - over, de 0 a 30 segundos

**Fuente:** Elaboración propia



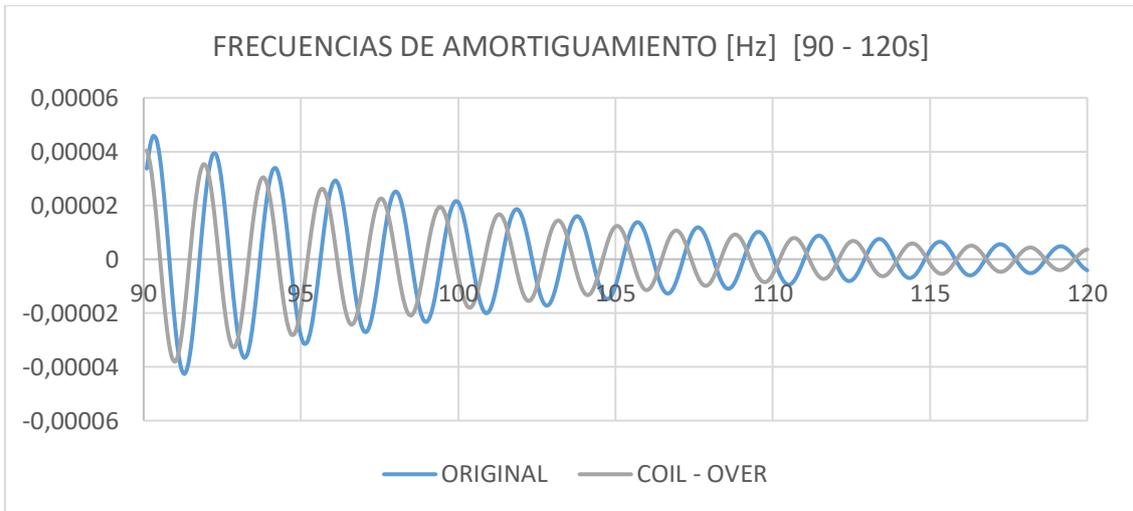
**Figura 4.** - Frecuencias comparadas entre muelles pretensados y coil - over, de 30 a 60 segundos

**Fuente:** Elaboración propia



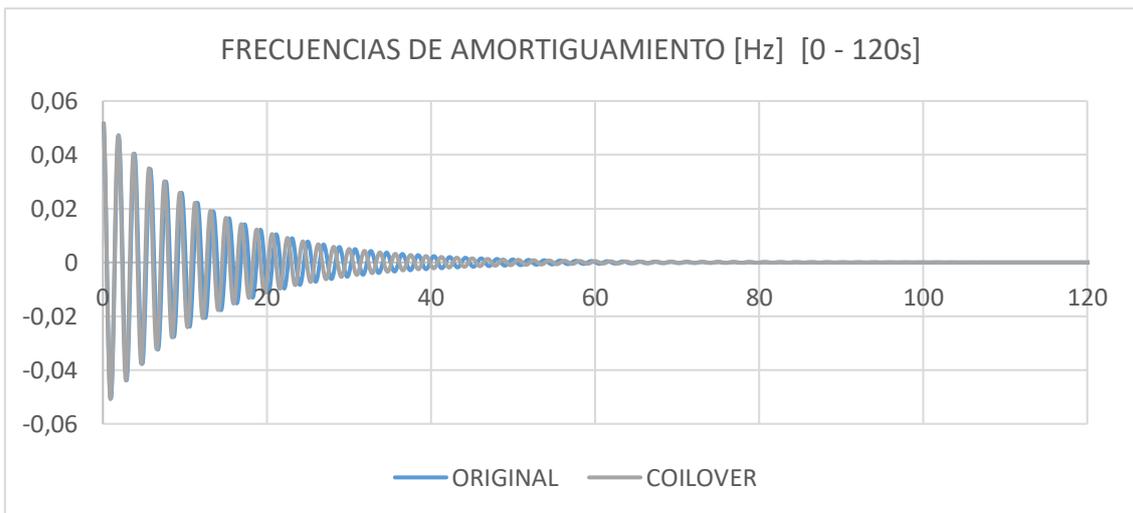
**Figura 5.** - Frecuencias comparadas entre muelles pretensados y coil - over, de 60 a 90 segundos

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 6.** - Frecuencias comparadas entre muelles pretensados y coil - over, de 90 a 120 segundos

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 7.** - Frecuencias comparadas entre muelles pretensados y coil - over, de 0 a 120 segundos

**Fuente:** Elaboración propia

La *Figura 15* modela el comportamiento completo de las suspensiones estándar y de coil – over. Y se puede observar que existe apenas un desfase, por lo cual se desglosó en periodos simétricos de tiempo en 4 gráficas: *Figura 11*, *Figura 12*, *Figura 13*, y *Figura 14*. Con la finalidad de obtener gráficas más sensibles que permitan discernir las curvas.

De las gráficas que permiten observar el comportamiento dinámico de los dos sistemas de amortiguación, se puede observar que el desfase es progresivo. El coil – over se desempeña de manera que acorta la longitud de onda y la amplitud, con respecto al componente estándar. Desde

la *Figura 11* se puede observar que la onda sinusoidal se comprime con respecto al sistema original sin ejecutar pre – tensión, característico de los amortiguadores modificados de mayor dureza.

Según KW Clubsport, (2015) la correcta regulación y puesta a punto de una suspensión regulable puede influir en un desempeño más estable en curvas con buena adherencia, caso contrario se dañaría el balance dinámico del automotor. Ya que las oscilaciones se transmiten de forma más directa a los neumáticos

## 5. CONCLUSIONES

- El sistema de suspensión de un automóvil es uno de los factores más importantes y necesarios al momento de la conducción, desde el confort hasta la propia seguridad del pasajero.
- La suspensión nos brinda un mayor control y estabilidad del vehículo en terrenos difíciles y en curvas pronunciadas, cumpliendo como función principal mantener las ruedas del vehículo siempre adheridas al piso.
- Existen diversos tipos de suspensión automotriz en el mercado, pero mediante este estudio realizado se llegó a determinar que la suspensión Uniball, brinda mejores prestaciones tanto de confort y seguridad a diferencia de la suspensión convencional de un vehículo, con la finalidad de dicho sistema cumpla con los exigentes esfuerzos que se le somete al vehículo en las carreteras en mal estado.
- Gracias a un tipo de brazo en forma de triceta en la suspensión Uniball, le permite flejar toda la carga del vehículo a una especie de bola que va sujeta al brazo, con la finalidad de que las ruedas del vehículo se mantengan en el piso al momento que tomamos una curva a gran velocidad.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2016). CLASIFICACIÓN VEHICULAR. Quito - Ecuador: Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización (INEN).
- [2] Lluberas F. (2010). Sistema de suspensión. En CURSO OPERADOR DE VEHÍCULO EQUIPADO(50). Montevideo - Uruguay: MontevideodeTodos.
- [3] Alvarado D. (2017). El sistema de suspensión activa. 01/02/2020, de NITRO.PE Sitio web: <https://www.nitro.pe/mecanico-nitro/el-sistema-de-suspension-activa.html>
- [4] Cepeda O. (2007). Suspensión coilover, pequeña explicación. 01/02/2020, de DIARIOMOTOR Sitio web: <https://www.diariomotor.com/2007/10/23/suspension-coilover-pequena-explicacion/>
- [5] MONROE Co. (10/09/2013). CATÁLOGO MÉXICO. AMORTIGUADORES Y STRUTS, 15, 22.
- [6] Chacón V. (2009). “DISEÑO DE UNA SUSPENSIÓN PARA UN VEHÍCULO AUTOMÓVIL” BASADA EN AMORTIGUADORES MAGNETO-REOLÓGICOS. Madrid - España: ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE LA UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID.
- [7] Mesa D. (2011). SIMULACIÓN VIRTUAL DE UNA SUSPENSIÓN MCPHERSON EN ENTORNO VRML. Madrid - España: ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE LA UNIVE RSIDAD CARLOS III DE MADRID.
- [8] Meganeboy D. (2014). Suspensión. 02/02/2020, de aficionadosalamecanica Sitio web: <http://www.aficionadosalamecanica.net/suspension1.htm>
- [9] Ondina R. (2012). Resorte o muelle helicoidal. 02/02/2020, de LinkedIn Co Sitio web: <https://es.slideshare.net/romeliamp/resorte-o-muelle-helicoidal>
- [10] Balseca A. (2016). Análisis comparativo del comportamiento dinámico de amortiguadores McPherson en el banco de pruebas Soft Engine shock 3.0. Latacunga - Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Ejército, Departamento de Ciencias de la Energía y la Mecánica.
- Rocar Auto Partes. (2017). Tipos de Suspensión. 05 de Octubre del 2018, de Rocar Auto Partes Sitio web: <https://www.rocarautopartes.com.mx/tipos-suspension-automotriz/>
- Aficionados a la Mecánica. (2014). Sistemas de Suspensión. 05 de Octubre del 2018, de Aficionados a la Mecánica Sitio web: <http://www.aficionadosalamecanica.net/suspension3.htm>
- [1] Motor Giga. (2016). Rótula Uniball. 05 de Octubre del 2018, de Motor Giga Sitio web: <https://diccionario.motorgiga.com/diccionario/rotula-definicion-significado/gmx-niv15-con195437.htm>
- [2] Toyota. (2018). Toyota Fortuner. 05 de Octubre del 2018, de Toyota Sitio web: <https://www.toyota.com.ec/Fortuner>

## ANEXO 1

### Suspensión y dirección

#### Verificaciones

Detectar si existen irregularidades o juego en el volante

Estar atento durante el funcionamiento a golpes o ruidos anormales en tren delantero

Estar atento a desviaciones durante la conducción.

Chequear periódicamente la alineación del vehículo y el balanceo de sus neumáticos

Chequear periódicamente el nivel de aceite de la dirección

### Suspensión y dirección

#### Importancia de la inspección

Los problemas de tirones de la dirección es muy probable que se deban a desgastes en las articulaciones y/o anclajes del sistema de dirección (extremos, bujes, rótulas, etc.).

Al agudizarse provocarán la rotura súbita por fatiga, durante la marcha con graves o imprevisibles consecuencias.

Cualquier otro comportamiento anormal de la suspensión y/o dirección, deberá ser revisado y corregido lo antes posible, para evitar accidentes o deterioros mayores.

## ANEXO 2

<https://www.nitro.pe/mecanico-nitro/el-sistema-de-suspension-activa.html> Alvarado D. (2017). El sistema de suspensión activa. 01/02/2020, de NITRO.PE Sitio web:



El sistema de suspensión activa

Todo lo que hay saber sobre ese compensador de fuerzas entre el balanceo y el cabeceo del vehículo.

Para entender lo que es una suspensión activa necesitamos saber primero que es una pasiva. El sistema de suspensión pasiva es un conjunto de espiral y amortiguador que busca absorber las irregularidades del suelo. La desventaja es que, si lo configuramos por ejemplo para asfalto, el vehículo va a andar muy bien en estas condiciones. Pero si entramos a una ruta de tierra o grava la experiencia no será igual: sentiremos muchas vibraciones o golpes que incomodarán el viaje. Por otro lado, una suspensión muy suave puede ser excelente en calles de ciudad, pero en una ruta a altas velocidades, se vuelve peligrosa dado que hará que el auto se desbalancee.

En suma, una suspensión más rígida o suave puede ser conveniente para una condición determinada pero muy desfavorable al cambiar condiciones en la ruta.

Por ello se ha desarrollado la suspensión activa o también conocida como suspensión inteligente. Presenta las siguientes características:

Capaces de combinar grandes niveles de confort, control y maniobrabilidad lo que se traduce en mayor seguridad.

Funcionan por medio de un actuador hidráulico que puede crear fuerzas para compensar el balanceo y cabeceo del auto.

Un sistema electrónico es el encargado de monitorear en todo momento mediante sensores, el perfil de los distintos caminos y envía señales eléctricas a las suspensiones delantera y trasera. En ese momento se activan las bombas y válvulas hidráulicas de cada suspensión.

El desarrollo que ahora necesita este sistema es la rapidez de respuesta cada vez que se detecte un cambio de condiciones de manejo y ruta.

#### ANEXO 4

[1] Cepeda O. (2007). Suspensión coilover, pequeña explicación. 01/02/2020, de DIARIOMOTOR Sitio web: <https://www.diariomotor.com/2007/10/23/suspension-coiloverpequena-explicacion/>

Suspensión coilover, pequeña explicación



En muchos vehículos (sobre todo preparaciones deportivas o tuning serios) se instalan las llamadas suspensiones coilover.

Buscar una traducción directa al español es difícil ya que palabra por palabra significa “puntal excesivo del resorte”.

La esencia de las suspensiones coilover se encuentra en que los resortes de la misma van montados exteriormente al amortiguador hidráulico. Con ello, esta suspensión es fácilmente ajustable y muy

compacta, permitiendo además un ángulo de inclinación mayor (hasta 30°) gracias a que sus articulaciones son esféricas.

Los ajustes que se pueden realizar sobre las suspensiones coilover son varios y dependen de los modelos pero generalmente se puede modificar la altura, la compresión, el rebote, etc.

Por poner un ejemplo la suspensión MacPherson, distinguible precisamente por el muelle exterior que rodea longitudinalmente al amortiguador, toma como base el sistema de la coilover.

## ANEXO 5

### LA SUSPENSIÓN EN EL AUTOMÓVIL

#### 2.1. El sistema de suspensión

La función principal del sistema de suspensión, en un vehículo automóvil, es absorber las reacciones producidas en las ruedas al pasar sobre las irregularidades del terreno evitando que se transmitan a la carrocería, asegurando, de esta forma, la comodidad del conductor y de los pasajeros del vehículo y, al mismo tiempo, asegurar el contacto de las ruedas con el suelo para obtener una estabilidad y direccionalidad del vehículo que permita al conductor y sus ocupantes tener un alto grado de seguridad en los desplazamientos realizados [1, 2, 3, 4, 5].

Cuando un vehículo circula por un terreno irregular, las ruedas están sometidas a una serie de impactos que son transmitidos a la carrocería a través de los elementos de unión. Si las irregularidades presente en el terreno son pequeñas, estas son absorbidas por la elasticidad de los neumáticos, en cambio, si las irregularidades existentes son grandes la unión elástica del sistema de suspensión debe ser capaz de absorber dichas irregularidades evitando que se transmitan la carrocería.

El sistema de suspensión está compuesto por una serie de elementos elásticos que se interponen entre la masa suspendida y la masa no suspendida. La principal diferencia entre ambas masas es:

**Masa suspendida:** se compone de los mecanismos soportados por el chasis o bastidor del vehículo, grupo motopropulsor, carrocería, elementos auxiliares y de confort, pasajeros, etc.

**Masa no suspendida:** generalmente consta de los componentes no incluidos en el apartado anterior (disco/tambor de freno, pinzas de freno o zapatas, llantas, neumáticos, palieres, etc.).

En la figura 2-1 se muestra la distribución de los elementos que conforman la masa no suspendida en un sistema de suspensión de un automóvil, así como su disposición en el propio vehículo.



Figura 2-1. Sistema de suspensión de un Jaguar XF

El diseño de un sistema de suspensión se realiza alcanzando un compromiso entre el confort necesario para los pasajeros, suspensión blanda, y un control óptimo del vehículo atenuando o incluso impidiendo cualquier movimiento relativo de la carrocería con relación al suelo, de manera que el vehículo se mantenga durante la marcha en la posición más horizontal posible, suspensión rígida o dura.

El comportamiento de un vehículo viene determinado, en gran medida, por el sistema de suspensión y los elementos elásticos que incorpore, pudiendo variar el comportamiento del vehículo mediante el reglaje de estos elementos, pasando de un vehículo con una suspensión blanda a una suspensión dura.

Además de las características ya descritas es necesario que el sistema de suspensión cumpla con otras funciones complementarias:

Transmitir las fuerzas de aceleración y de frenada entre los ejes y bastidor.

Resistir el par motor y de frenada junto con las aceleraciones producidas en las curvas.

Conservar el ángulo de dirección en todo el recorrido.

Conservar el paralelismo entre los ejes y la perpendicularidad del bastidor.

Proporcionar una estabilidad adecuada ante el balanceo.

Soportar el peso y la carga del vehículo.

El sistema de suspensión también debe absorber las oscilaciones producidas durante la propia conducción del vehículo, incluyendo las oscilaciones creadas por distribuciones incorrectas de carga. Estos movimientos se generan en el centro de gravedad del coche y se propagan en distintos sentidos. Los tres tipos de oscilaciones que pueden darse en el automóvil son (figura 2-2):

2-2):

Empuje: son oscilaciones que se producen en torno al eje vertical y se producen al pasar por un terreno ondulado.

Cabeceo: son oscilaciones producidas a lo largo del eje transversal del vehículo y se producen principalmente en las frenadas y aceleraciones bruscas.

Bamboleo o Balanceo: son oscilaciones producidas a entorno al eje longitudinal de vehículo y se producen al tomar curvas a alta velocidad.

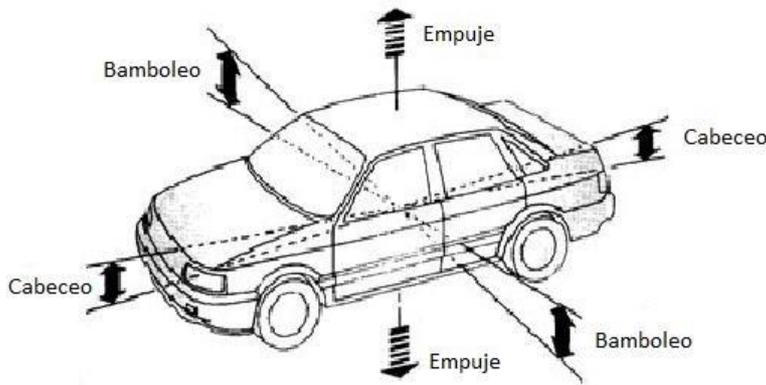


Figura 2-2. Oscilaciones presentes en un automóvil

Para cumplir todos los objetivos anteriormente, la suspensión deberá tener dos propiedades importantes:

**Elasticidad:** evita que las desigualdades del terreno se transmitan al vehículo en forma de golpes secos.

**Amortiguación:** impide un balanceo excesivo de la carrocería y mantiene los neumáticos en contacto con el terreno.

La elasticidad en un sistema de suspensión depende principalmente del elemento elástico y del peso suspendido. Estos dos parámetros caracterizan en una primera aproximación, la amplitud de las oscilaciones y su frecuencia,  $f$ , que se producen en un vehículo. Estos parámetros se deben tener en cuenta en el diseño de una suspensión porque pueden ser molestas e incluso perjudiciales tanto para los pasajeros como para los distintos órganos mecánicos del vehículo.

Si en un vehículo se aumenta la compresión producida en los propios amortiguadores debido al peso del propio vehículo en estático, se aumentara el periodo de la oscilación,  $T$ , inversa de la frecuencia,  $f$ . Hay que considerar este efecto al estar relacionado directamente con el confort y la seguridad debido a que cuanto menor sea la rigidez del muelle que montemos (más blando), mayor será el periodo de las oscilaciones debido a la mayor compresión del muelle. Este fenómeno también ocurre de manera inversa.

A continuación se expone la tabla 2-1 donde se ha calculado el periodo de oscilación,  $T$ , a partir de la compresión de los amortiguadores en estático, junto con la sensación producida por los ocupantes del vehículo.

Tabla 2-1. Periodo y frecuencias de oscilación de la suspensión

Periodo de oscilación [s]	Frecuencia [Hz]	Sensación de confort pasajeros	Tolerancia física
---------------------------	-----------------	--------------------------------	-------------------

0,2	5	Muy mala	Intolerable
0,4	2,5	Muy mala	Intolerable
0,5	2	Suspensión seca (sport)	Tolerable por poco tiempo
0,9	1,1	Confortable	Tolerable indefinidamente
1,0	1	Confortable	Tolerable indefinidamente
1,26	0,8	Excesivamente confortable	Tendencia al mareo

La conclusión que se extrae de la tabla, es que al utilizar frecuencias de oscilaciones más rápidas (periodos de oscilación inferiores), las aceleraciones verticales que sufre el cuerpo, son intolerables en una utilización continuada del vehículo pero aumentaría la seguridad del vehículo, este es el motivo de que se utilicen únicamente en competición, esto son periodos cortos de utilización por personas con un entrenamiento físico previo.

Si se reduce la frecuencia de oscilación por debajo de 1 Hz, la sensación que siente el pasajero es tan lentamente acompasada que puede llegar a producir mareo (sensación similar a la producida en un barco), por lo tanto no es aconsejable sobrepasar este valor.

Todo ello hace que los sistemas de suspensión deben tener unas frecuencias de oscilación de entre 0,5 y 1 segundos (1 - 2 Hz), correspondiente al balanceo normal del cuerpo humano al caminar.

Durante el diseño de un sistema de suspensión a parte de la elasticidad y amortiguamiento hay que considerar otros aspectos que afectan directamente a la estabilidad y confort del propio automóvil, los más importantes son la resonancia y la amortiguación crítica.

#### Resonancia

Una suspensión entra en resonancia cuando la frecuencia de la masa suspendida coincide con la frecuencia producida por las oscilaciones de la carretera, llegando, en teoría, a amplificar infinitamente la amplitud, siendo esto totalmente incompatible con el confort y con la seguridad ya que la rueda podría perder el contacto con el suelo.

Para que una suspensión entre en resonancia basta con que las oscilaciones estén formadas a distancias simétricas, o que no más de dos accidentes de la carretera se tarden en recorrer el mismo tiempo que el periodo de oscilación de la propia suspensión.

Para evitar este fenómeno es necesario instalar un amortiguador cuya misión es disipar la energía potencial acumulada en el elemento elástico, evitando que el sistema de suspensión entre en resonancia.

## Amortiguación crítica

Otra forma de comprobar el confort y la estabilidad de un vehículo es en función del valor de la amortiguación que tenga el vehículo respecto a la amortiguación crítica.

Una amortiguación es crítica cuando ante una compresión de la suspensión hasta el final de su recorrido y se suelta repentinamente la amortiguación impide una nueva oscilación. Es decir, la amortiguación crítica es aquella bajo la cual, al comprimir la suspensión hasta el final de su recorrido y soltarla, no se produce la menor oscilación debido a que la fuerza de amortiguación es superior a la energía potencial acumulada por el muelle en la compresión.

A continuación se presenta la tabla 2-2 donde se dan valores porcentuales de la amortiguación crítica sobre la amortiguación total del vehículo. Si un sistema de suspensión se aproxima más al valor crítico menos confortable será el vehículo pero, en cambio, será más estable. Este efecto, cómo es de esperar, también ocurre de forma inversa.

Tabla 2-2. Caracterización de la suspensión en relación con la amortiguación crítica

Tipos de suspensión	Compresión [%]	Extensión [%]	Amortiguación crítica [%]
Coche cómodo	25-30	75-70	15-25
Semideportivo	30-35	70-65	25-30
Deportivo	40-45	60-65	30-35
Competición	50-60	50-40	35-40

De la tabla anterior un menor porcentaje de la amortiguación crítica indica que la amortiguación total del vehículo se encuentra en el extremo opuesto a la amortiguación crítica, es decir, permite algunas oscilaciones y, por lo tanto, más confortable será, aunque el vehículo es menos controlable desde el punto de vista de la amortiguación, y más difícil su utilización en una conducción deportiva.

En la figura 2-3, la curva de línea continua corresponde a la oscilación de un sistema de masa suspendida sometido a la oscilación de un muelle de rigidez  $K$  amortiguado. La curva de trazos se corresponde con la amortiguación crítica.

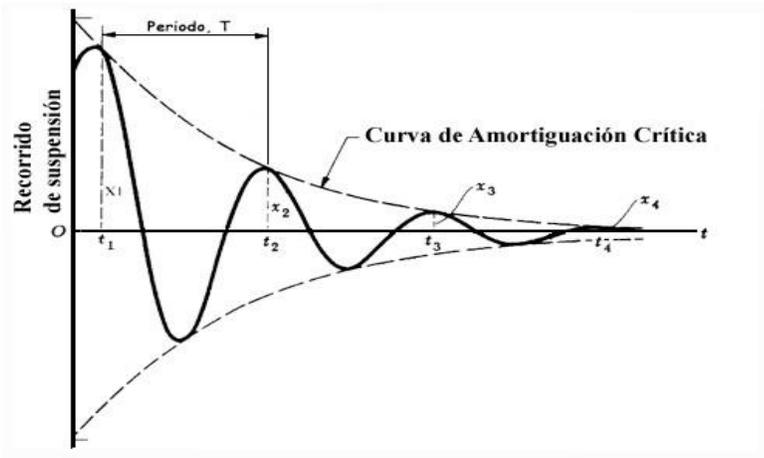


Figura 2-3. Curva característica de una amortiguación crítica

## 2.2. Evolución de los sistemas de suspensión

En los inicios de la industria de la automoción, los sistemas de suspensión fueron apareciendo según las necesidades existentes, considerándose que este aspecto no era fundamental en los primeros automóviles [6, 7, 8, 9].

En los primeros carruajes los fabricantes ya intentaron hacer más cómodos los vehículos, donde los caminos empedrados de la época deberían ser una tortura para los ocupantes de los antiguos carros de tracción animal, pues cada hoyo o piedra que las ruedas pasaban, creaban un impacto que se transmitía directamente a los ocupantes.

Se hicieron varios intentos para reducir los impactos producidos por los deficitarios caminos de la época, acolchando los asientos o poniendo unos resortes en el pescante del cochero, pero el problema aún no se resolvía hasta que alguien tuvo la idea de colgar la cabina del carruaje, con unas correas de cuero, desde unos soportes de metal más o menos acerado que venían de los ejes de modo que el “habitáculo” quedaba suspendido por cuatro correas.

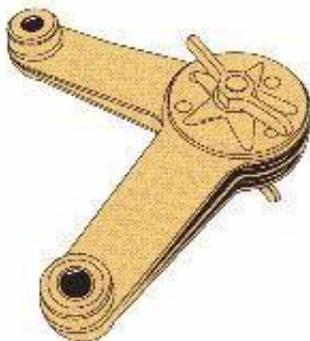
El resultado fue que aunque los golpes del rodaje eran parcialmente absorbidos por tal sistema, resultó ser una verdadera coctelera, pues se mecía y bamboleaba sin control, añadiendo al relativo confort los problemas del mareo. Sin embargo, en un estricto sentido, se puede decir, que ahí nació el concepto de suspensión: un medio elástico que además de sostener la carrocería absorbía las irregularidades del camino.

En la medida en que las suspensiones evolucionaron y fueron haciéndose más eficientes, las ruedas disminuyeron su tamaño. Esto se entiende porque las ruedas de gran diámetro limitan el efecto de las irregularidades del camino; las ruedas pequeñas las registraban más debido a que entraban en los hoyos en mayor proporción.

En los primeros sistemas de suspensión los ejes estaban unidos a la carrocería, lo cual provocaba movimientos bruscos en el vehículo. La primera gran evolución fue la incorporación de las ballestas que se separaban los ejes de la carrocería, lo que mejoró algo el confort en el automóvil.

El inconveniente de las ballestas es la fuerza que ejercen, ya que ocasionan que el vehículo perdiera estabilidad, esto era debido a que cuando la ballesta se dispersa provocaba vibraciones y fuertes oscilaciones en el automóvil. Para solucionar estos inconvenientes se introdujo en los sistemas de suspensión el resorte helicoidal – Espiral - y la barra de torsión.

Por último, se introdujeron en los automóviles los amortiguadores cuya misión es absorber las vibraciones y oscilaciones provocadas por las ballestas o los muelles helicoidales. El primer amortiguador fabricado para vehículos fue el de fricción con cinta, el cual controlaba solo el movimiento de extensión de la ballesta. Estos amortiguadores eran herederos de los amortiguadores que se montaban en las bicicletas. En la figura 2-4 se muestra una ilustración de cómo eran este tipo de amortiguadores.



## Figura 2-4. Amortiguador de fricción

Como inconvenientes de este tipo de suspensión se puede nombrar la escasa elasticidad de su funcionamiento y, sobre todo, el enorme desgaste de los elementos que rozan entre sí, junto que su comportamiento es alterado a medida que aumenta el desgaste.

Los amortiguadores de fricción funcionan con la fuerza de fricción de los elementos rozantes, el problema de esta suspensión es que si no se superaba dicha fuerza de fricción, la suspensión permanecía bloqueada. Al superar la fuerza de fricción, la amortiguación disminuye con la velocidad, mientras que lo recomendable es a la inversa, aumentando la amortiguación del vehículo al aumentar la velocidad de desplazamiento de la masa suspendida.

Estos sistemas rudimentarios fueron la base de los sistemas de suspensión actuales. A lo largo de la historia de la automoción se han buscado otros sistemas que se adapte a las características de los modernos automóviles.

Mientras los especialistas en suspensión perfeccionan los muelles y amortiguadores hasta conseguir los sistemas que utilizamos hoy en día, algunos fabricantes buscaron otros sistemas de suspensión alternativos.

### 2.3. Elementos de un sistema de suspensión

El sistema de suspensión está compuesto por un elemento flexible o elástico (ballesta, muelle helicoidal, barra torsional, cojín neumático, etc.) encargado de absolver la energía generada en los impactos debido a las irregularidades del terreno y un elemento de amortiguación (amortiguador), cuya misión es neutralizar las oscilaciones de la masa suspendida originadas por el elemento flexible al devolver la energía acumulada del impacto [3, 4, 7, 10, 11].

Los sistemas de suspensión incorporan elementos que mejoran el comportamiento dinámico del vehículo, como barras estabilizadoras, tirantes de reacción, barras transversales.

A continuación, se describen los distintos elementos que componen el sistema de suspensión en la mayoría de los automóviles.

#### 2.3.1. Elementos elásticos

La misión de los elementos elásticos es impedir que las oscilaciones del terreno lleguen a la carrocería en forma de golpes, mejorando el confort y la seguridad del vehículo al asegurar el contacto de las ruedas con el terreno, mejorando la estabilidad y la capacidad para dirigir el vehículo.

##### 2.3.1.1. Neumáticos

El neumático es considerado uno de los elementos más importantes del automóvil, debido a que tiene que soportar el peso del vehículo, las fuerzas de inercia producidas en las distintas aceleraciones, debe transmitir el par producido por el motor al firme. Todo ello produce grandes esfuerzos tangenciales en la banda de rodadura, y además, es el encargado de mantener la trayectoria del vehículo en las ruedas directrices.

El neumático debe estar en permanente contacto con el suelo. Esto hace que sea el primer elemento que entra en contacto con las irregularidades del terreno, debido a su baja elasticidad sólo absorbe las pequeñas irregularidades del terreno, como por ejemplo las juntas de dilatación de los puentes.

### 2.3.1.2. Ballestas

Las ballestas permiten absorber las irregularidades grandes del terreno, evitando que se transmitan a la carrocería. Cuando el vehículo pasa por una irregularidad, la ballesta convierte ese “impacto” en una oscilación. Las ballestas se componen por una serie de hojas de acero elástico, unidas por el centro, formando un conjunto elástico y de gran resistencia a la rotura.

Las ballestas pueden ser montadas en un vehículo de forma longitudinal o transversal:

Montaje longitudinal: es el más utilizado. Se coloca una ballesta por cada rueda dispuestas en el sentido de avance del vehículo. La ballesta se une por un lado a un punto fijo y por el otro a uno móvil para permitir los movimientos oscilantes.

Montaje transversal: utilizado principalmente en turismos y vehículos todoterrenos. Se realiza uniendo los extremos de la ballesta al puente, mediante gemelas, y la base de la ballesta al bastidor o carrocería.

En la figura 2-5 se muestra una ballesta instalada en el eje posterior de un vehículo de tracción integral.



Figura 2-5. Ballesta instalada en el eje trasero de un Humer H2

Las principales ventajas que aportan las ballestas son:

Sólo se deforman en el sentido vertical y no en el horizontal, por lo que al usarlas, los puentes se mantienen alineados sin otros elementos.

Transmiten la propulsión y tracción.

Son de fácil construcción y baratas.

Sin embargo, su principal inconveniente es que en el eje delantero (montadas longitudinalmente) limitan el ángulo de orientación de la rueda y son relativamente pesadas, además requieren limpieza y lubricación en los extremos de las hojas para que no se endurezca la suspensión.

En vehículos pesados para variar la elasticidad de la suspensión cuando aumenta la carga, se puede montar una ballesta auxiliar o ballestín que entra en acción cuando se comprime en exceso la ballesta principal.

Las ballestas pueden clasificarse en dos grandes grupos [5]:

Semielípticas: Se denominan así porque sus hojas forman parte de una elipse imaginaria. Se caracterizan y distinguen por tener las hojas unas en contacto con las otras formando un paquete, que precisa de lubricación periódica.

Parabólicas: las ballestas parabólicas tienen las hojas con forma de parábola. Se distinguen porque sus hojas no se tocan entre sí, existiendo un espacio importante entre ellas. Para compactar las hojas y hacer un único conjunto, se interca-

lan entre ellas unos separadores de material compuesto o nylon. Estas ballestas tienen una mayor flexibilidad y no requieren mantenimiento.

Las características que posee una ballesta (número de hojas, espesor de las mismas, cargas que soportan, etc.), se encuentran normalizadas con las normas UNE 26 224-5-6-7 y 26 063.

Las ballestas, muy utilizadas antiguamente, se han visto gradualmente sustituidas por otro tipo de muelles, limitándose en la actualidad su uso a vehículos de gran tonelaje, todo terreno y algunos turismos de tipo comercial.

#### 2.3.1.3. Muelles

Los muelles tienen la misma misión que las ballestas, absorber las irregularidades del terreno. La sustitución de las ballestas por los muelles es debido a que estos presentan la ventaja de poseer una elasticidad blanda debido al gran recorrido del resorte sin apenas ocupar espacio ni sumar peso excesivo.

Están constituidos por un hilo de acero de un diámetro comprendido generalmente entre 10 y 15 mm arrollado en forma de hélice, cuyas espirales extremas se hacen planas para conseguir un buen asiento tanto en la carrocería como en el amortiguador. La flexibilidad del muelle es función del diámetro del hilo utilizado, número de espirales, ángulo de inclinación de las mismas, diámetro del muelle y calidad del acero utilizado en su construcción.

Los muelles helicoidales trabajan por torsión del hilo que lo constituye, bajo el efecto de una carga, las espiras se aproximan entre ellas, conservando intervalos idénticos.

El inconveniente que presentan los muelles helicoidales es la que poseen una rigidez transversal muy pequeña, por lo que es necesario completar la suspensión con dispositivos destinados a impedir los desplazamientos de la carrocería con relación a los ejes.

#### 2.3.1.4. Barra de torsión

Tienen las mismas aplicaciones que el muelle helicoidal y la ballesta. Se basan en el principio de que si una varilla de acero elástico sujeta por uno de sus extremos se le aplica por el otro un esfuerzo de torsión, esta varilla tendrá a retorcerse, volviendo a su forma inicial debido a su elasticidad cuando cesa el esfuerzo de torsión [5].

#### 2.3.1.5. Cojines neumáticos

Los cojines neumáticos, también denominados bolsas de aire, se utilizan como elementos flexibles debido a que cada vez son más resistentes los cauchos y las fibras de refuerzo. En esta suspensión se sustituye el muelle helicoidal por un fuelle ó cojín neumático [12].

Estos elementos se utilizan principalmente en los vehículos dotados con frenos de aire comprimido debido a que este elemento ya está disponible en el vehículo o en turismos de alta gama debido al elevado coste que requieren estas suspensiones. Estas bolsas de aire proporcionan una suspensión muy suave y suficientemente duradera.

La ventaja principal de las bolsas de aire comparadas con el resto de los muelles es que su presión interior puede ser modificada de acuerdo a la carga y con ello mantener la misma altura con el vehículo cargado, además de proporcionar casi la misma suavidad de marcha con independencia de la carga aprovechando la compresibilidad del aire interior.

En la figura 2-6 puede verse un típico montaje de las bolsas de aire en un camión pesado. Estas bolsas de aire no sostienen el eje en su sitio tal cual lo que hace necesario, igual que en los muelles helicoidales, diversos dispositivos que cumplan con este propósito.



Figura 2-6. Cojines neumáticos, eje posterior de un vehículo pesado.

### 2.3.2. Elementos de amortiguación

Los elementos de amortiguación absorben las oscilaciones producidas por los elementos elásticos, evitando que las oscilaciones se transmitan a la carrocería [1, 8, 10, 13, 14].

Los elementos elásticos tienen excelentes propiedades elásticas pero poca capacidad de absorción de energía mecánica, por lo que es necesario montar un elemento que frene las oscilaciones producidas en su deformación. Debido a este efecto, los resortes se deben montar con un amortiguador de doble efecto para frenar las oscilaciones producidas tanto en la compresión como en la expansión.

#### 2.3.2.1. Los amortiguadores

El principio del amortiguador se le adjudicó al Ingeniero James Watt, quien creó un dispositivo que regulaba las vibraciones de la máquina a vapor. Al principio, se le conoció como “regulador de bolas” e introdujo los requerimientos básicos de operación que son usados actualmente en el amortiguador.

El amortiguador tiene por finalidad reducir las oscilaciones del elemento flexible, reduciendo de esta manera tanto el número de oscilaciones como la amplitud de las mismas. Evitando la transmisión de las oscilaciones a la carrocería que se produzca el efecto de resonancia en el elemento elástico.

En la figura 2-7 se muestra una ilustración de un amortiguador hidráulico telescópico. Este tipo de amortiguadores es el más habitual en los automóviles de fabricación en serie.



Figura 2-7. Detalle de un amortiguador “monotubo” de un Jaguar XF

#### i. Descripción de un amortiguador y su funcionamiento

Un amortiguador es, básicamente, una bomba de aceite. A un extremo del vástago se conecta un pistón que funciona contra el fluido hidráulico del tubo interior. A medida que la suspensión se desplaza arriba y abajo, el fluido hidráulico es empujado a través de unos orificios calibrados hacia dentro del pistón.

El amortiguador transforma en calor la energía potencial almacenada por el muelle durante el movimiento de compresión. La resistencia que un amortiguador desarrolla depende de la velocidad de la suspensión y del número y tamaño de los orificios del pistón junto con la cantidad y el espesor de los discos de la válvula.

Otra característica es que la resistencia es inversa a la velocidad, cuanto más rápido se mueva la suspensión, más resistencia suministra el amortiguador.

#### ii. Función de un amortiguador

Como ya se ha visto en el capítulo 2.1, el sistema de suspensión debe diseñarse alcanzando un compromiso entre la comodidad de los ocupantes y la propia estabilidad del vehículo. Con estas condiciones, las funciones principales que debe acometer un amortiguador son las siguientes:

Controlar el movimiento del muelle y de la suspensión, incluyendo los rebotes, oscilaciones (inclinación y balanceo), cabeceo (en la frenada) y hundimientos (en la aceleración).

Ofrecer una conducción y frenada consistentes.

Ayudar a mantener las ruedas en contacto con la carretera.

Mantener la alineación dinámica de las ruedas.

Hacer que el desgaste de los neumáticos y los frenos esté equilibrado.

Reducir el cansancio del conductor.

#### iii. Tipos de amortiguador

Actualmente existen dos tipos de amortiguadores en el mercado: los amortiguadores bitubo o de doble tubo y los amortiguadores monotubo. A continuación se describen las características principales de los amortiguadores bitubo y monotubo.

##### a. Amortiguador bitubo

Los amortiguadores bitubo son los más extendidos en la actualidad. Se dividen en presurizados (aceite) y no presurizados (aceite y gas). El pistón y el cilindro se encuentran en el interior de una cámara mayor. El aceite

fluye por el cilindro a través del pistón y también a la segunda cámara a través de una válvula situada entre ambas.

En la figura 2-8 se muestra un dibujo simplificado de un amortiguador bitubo, de uso convencional en la industria del automóvil.

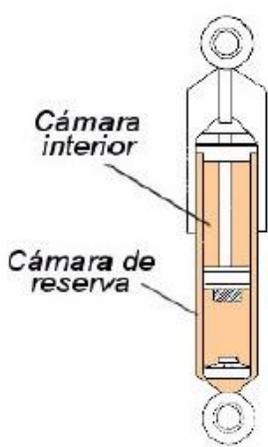


Figura 2-8. Esquema simplificado de un amortiguador bitubo

Hoy en día los amortiguadores bitubo más usados en automoción son los bitubo de gas a baja presión. Esta disposición es similar a un amortiguador convencional, pero con este sistema se consigue mejorar las prestaciones de los amortiguadores de doble tubo convencionales.

La diferencia que presenta el amortiguador de gas a baja presión es la incorporación en el tubo de una cámara con nitrógeno a una presión de 2,5 a 8 bares, figura 2-9, que es introducido una sola vez en el momento de la fabricación del mismo.

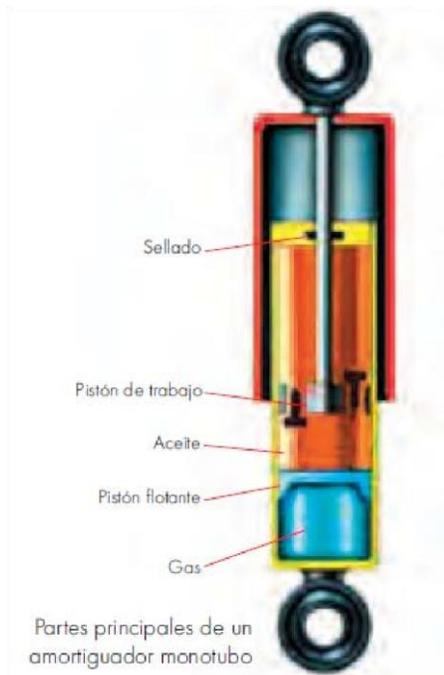


Figura 2-9. Partes de un amortiguador bitubo de gas a baja presión

Las ventajas que se obtiene con el amortiguador bitubo de gas a baja presión son:

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.

Los amortiguadores bitubo presurizados tienen la ventaja añadida, respecto a los monotubo, de poseer una menor longitud y fricción para las mismas condiciones de operación.

#### b. Amortiguador monotubo

De aparición más tardía que los amortiguadores bitubo, aunque cada vez tienen una mayor implantación, consta de dos cámaras principales, una con aceite y otra con gas (normalmente nitrógeno) que están separados por un pistón flotante. El volumen de la cámara es variable, según la compresión que sobre el gas ejerzan las fuerzas que actúan sobre el pistón. Solamente hay válvulas en el pistón.

En la figura 2-10 se muestra un dibujo simplificado de un amortiguador bitubo, de uso convencional en la industria del automóvil.

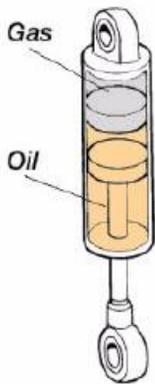


Figura 2-10. Esquema simplificado de un amortiguador monotubo

Actualmente existen una gran variedad de amortiguadores monotubo, debido a la evolución realizada en la industria automovilística. A continuación se comentan las tres evoluciones más importantes que ha sufrido este tipo de amortiguador:

**Hidráulicos:** Constan de un pistón insertado en un cilindro en el que hay aceite. Distintos orificios permiten el paso del aceite de un lado a otro del pistón. Su ventaja es su sencillez que permite la ausencia de mantenimiento y la capacidad para ejercer mayor amortiguación cuanto mayor es la presión.

**Hidráulicos con válvulas:** Los agujeros del amortiguador hidráulico son sustituidos por unas válvulas que permiten el paso del aceite bajo una determinada presión. Ofrecen un comportamiento algo más suave y eficaz.

Amortiguador de gas a alta presión monotubo: En el extremo de estos amortiguadores se dispone de una pequeña cantidad de nitrógeno a alta presión (de 25 a 30 bares). El gas se comprime por la acción del fluido hidráulico almacenando la energía.

### 2.3.3. Elementos constructivos y de guiado de la suspensión

Para que el coche esté suspendido sobre las ruedas y no apoyado en ellas (como, por ejemplo un kart) hace falta, además de un elemento elástico y un amortiguador, unos elementos de unión entre la pieza que soporta la rueda y el bastidor. Estos elementos deben permitir el movimiento relativo entre las ruedas y el bastidor [2, 5, 6, 11].

Los elementos de guiado se encargan de absorber los esfuerzos de tracción del grupo motopropulsor y transmitirlos a la carrocería, así como los esfuerzos del eje directriz y los esfuerzos producidos durante la conducción. En cualquier caso, son la única unión física de los ejes con el bastidor y soportan todos los esfuerzos excepto la carga.

#### 2.3.3.1. Casquillos o silentblock

Los castillos o silentblock son aislantes de caucho vulcanizado u otro material elastómero que se encargan de amortiguar las reacciones en los apoyos de la suspensión. Su misión es amortiguar los golpes existentes entre dos elementos en los que existe movimiento relativo. Suelen montarse a presión o atornillados.

#### 2.3.3.2. Brazo de suspensión

Los brazos de suspensión es un elemento de unión, diseñado para soportar esfuerzos en la dirección del propio brazo (tracción o compresión). Normalmente no están diseñados para soportar esfuerzos laterales (paralelos a los ejes de sus articulaciones). Existen diferentes nombres para los brazos, con significados más o menos específicos según su ubicación y función («bioletas», «tirantes» o «palas»). En la figura 2-11 puede verse como queda montado en un vehículo un brazo de suspensión inclinado.



Figura 2-11. Brazo instalado en una suspensión

#### 2.3.3.3. Mangueta

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

#### 2.3.3.4. Rótula

Las rótulas constituyen un elemento de unión y fijación de la suspensión y de la dirección, al permitir el pivotamiento y giro manteniendo la geometría de las ruedas.

#### 2.3.4. Otros elementos de la suspensión

Además de los elementos descritos en el punto anterior, 2.3.3, en los sistemas de suspensión de los automóviles se puede utilizar otros dos tipos de elementos para mejorar el comportamiento dinámico del vehículo.

**Barras estabilizadoras:** Consisten en una barra de acero elástico cuyos extremos se fijan a los soportes de suspensión de las ruedas; Al tomar una curva una de las ruedas tiende a bajar y otra a subir, esto crea un par de torsión en la propia barra impidiendo el movimiento y por tanto que la carrocería se incline hacia el exterior de las curvas manteniendo la carrocería estable.

El mismo efecto se produce cuando una de las ruedas encuentra un bache u obstáculo, creando, al subir o bajar la rueda, un par de torsión en la barra que hace que la carrocería se mantenga horizontal.

**Barras transversales o barra Panhard:** Barra transversal al sentido de la marcha y oblicua con relación al eje. Permite un movimiento vertical del bastidor con relación al eje, pero impide el movimiento transversal.

En la figura 2-12 se muestra un sistema de suspensión de un eje trasero rígido en el que se han incorporado la barra estabilizadora y la barra transversal para mejorar la eficiencia del sistema de suspensión.

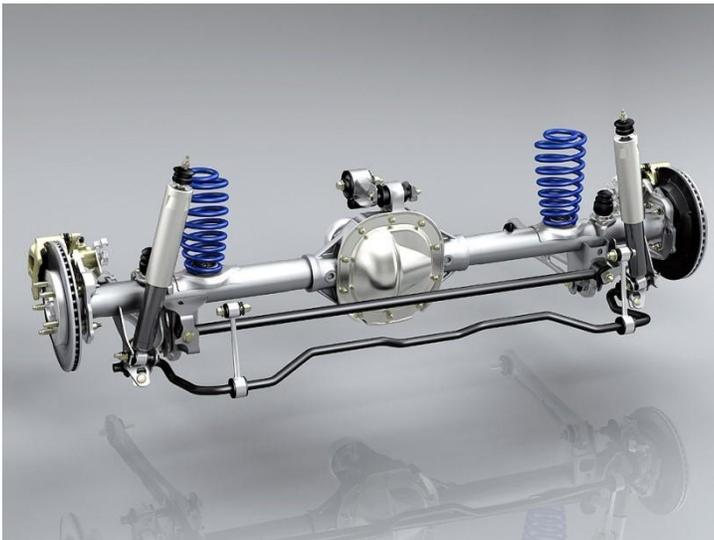


Figura 2-12. Suspensión trasera del Ford Mustang con barra estabilizadora y transversal

#### 2.4. Clasificación de las suspensiones

Existen muchos criterios para la clasificación de los sistemas de suspensión, debido a que se pueden clasificar según la geometría, del elemento amortiguador, componentes que forman la amortiguación, etc. [1, 2, 4, 6, 14].

En este proyecto se hace referencia a dos tipos de clasificaciones. La primera clasificación atiende a la capacidad que tiene las ruedas opuestas de girar con independencia una de otra, esta clasificación hace referencia al tipo de construcción geométrica o estructural. La segunda clasificación atiende a los diferentes elementos de amortiguación que pueden ser instaladas en las distintas configuraciones geométricas existentes.

La clasificación de las suspensiones no está exenta de problemas, por ejemplo, estructuralmente se puede hablar de «suspensiones multibrazo», pero no hay una convención sobre cuántos brazos son necesarios para ser «multi», y ni siquiera sobre lo que es un «brazo». Hay distintos tipos de suspensiones que se podrían llamar «multibrazo» y que funcionalmente son muy distintas.

#### 2.4.1. Clasificación según la geometría

En la clasificación según la geometría, engloban a tres grupos de suspensión principales: suspensiones de eje rígido, semirrígidas e independientes. En este apartado se procede a comentar las principales características de los tres tipos de suspensiones.

##### 2.4.1.1. Suspensión de eje rígido

La suspensión de eje rígido también es denominada “sistema dependiente”. En esta configuración las ruedas del mismo eje están conectadas mediante un elemento rígido, normalmente una barra. Como consecuencia de ello, todo el movimiento que afecta a una rueda se transmite a la otra del mismo eje. En la figura 2-13 podemos ver como al elevarse una rueda, se extiende su inclinación al eje y de este a la otra rueda. Como el eje va fijado directamente sobre el bastidor, la inclinación se transmite a todo el vehículo.

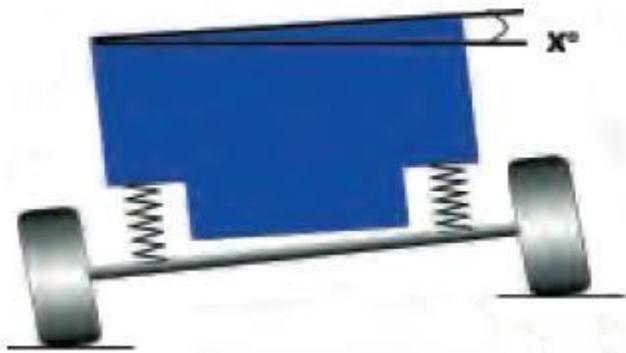


Figura 2-13. Representación de un eje rígido

Como principales ventajas de los ejes rígidos destacan por la sencillez de diseño, - un menor coste de diseño y fabricación-, no producen variaciones significativas en los parámetros de la rueda como caída, avance, etc. Resulta muy robusto para conducción off-road y para soportar grandes cargas. Esto hace que esta configuración, actualmente, se utilice en ejes traseros de todoterrenos, pick up, y camiones de bajo y gran tonelaje.

Por el contrario, las suspensiones de eje rígido presenta el inconveniente de que al estar unidas ambas ruedas, las vibraciones producidas por la acción de las irregularidades del pavimento, se transmiten de un lado al otro del eje, 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. Esto hace que sean poco cómodas para los pasajeros y presentar una menor seguridad.

En la figura 2-14 se puede ver una representación esquemática de un sistema de suspensión rígida perteneciente el eje trasero de un vehículo con tracción delantera.



Figura 2-14. Eje rígido instalado en un Renault Espace

#### 2.4.1.2. Suspensión semirrígida

Las suspensiones semirrígidas se diferencian de las suspensiones rígidas en que transmiten de forma parcial las irregularidades del terreno. En cualquier caso aunque la suspensión no es rígida totalmente, tampoco es independiente.

El "eje torsional" es un tipo de suspensión semirrígida muy utilizada en las suspensiones traseras, en vehículos de tracción delantera, tiene forma de "U", por lo que es capaz de deformarse elásticamente un cierto ángulo cuando una de las ruedas sobrepasa un obstáculo.

Este sistema mediante la torsión del puente permite, una recuperación parcial del ángulo de caída de alto efecto de estabilización, características que junto al bajo peso, al bajo coste y al poco espacio que ocupan la hacen ideal para instalarla junto con otros componentes debajo del piso.

En la figura 2-15 se muestra una suspensión semirrígida, con muelles y amortiguadores, montada en el eje posterior de un vehículo de tracción delantera.



Figura 2-15. Suspensión semirrígida instalada en un Mazda 2

### 2.4.1.3. Suspensión independiente

En la configuración de suspensión independiente las ruedas están conectadas al cuerpo del vehículo mediante un sistema articulado que les permite desplazarse verticalmente sin afectar a la rueda opuesta, ver figura 2-16. Esto genera mayor estabilidad, adherencia al suelo y confort.

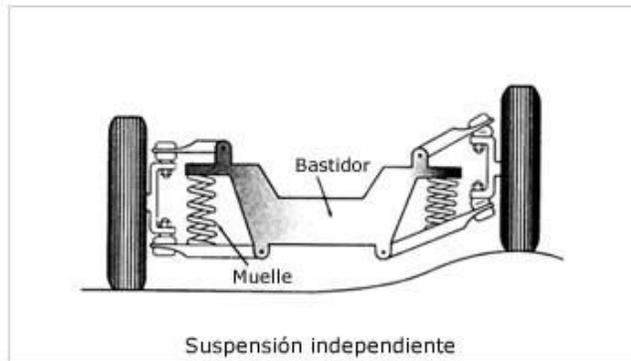


Figura 2-16. Representación de un eje independiente

Actualmente la suspensión independiente es la única que se utiliza en el eje directriz de vehículos turismos y también en el eje propulsión. También se utiliza cada vez más en el eje posterior (en vehículos de tracción delantera) al presentar la ventaja de ser 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.

Otra ventaja añadida de la suspensión independiente es que posee menor peso no suspendido que otros tipos de suspensión por lo que las acciones transmitidas al chasis son de menor magnitud.

Por contra las suspensiones independientes tienen la desventaja de tener un mayor coste, presentar una mayor complejidad del sistema y para cargas elevadas esta suspensión puede presentar problemas.

A pesar de los inconvenientes que presenta esta suspensión, cada vez tiene una mayor implantación en los vehículos automóviles, por ellos a continuación se describen las características más relevantes de los principales tipos de suspensión independientes así como sus características frente al resto de suspensiones:

#### a. Suspensión de eje oscilante

La peculiaridad de la suspensión mediante eje oscilante se encuentra en que el elemento de rodadura y el semieje son solidarios (salvo el giro de la rueda), de forma que el conjunto oscila alrededor de una articulación próxima al plano medio longitudinal del vehículo, ver figura 2-17. Este tipo de suspensión no se puede usar como eje directriz puesto que en el movimiento oscilatorio de los semiejes altera notablemente la caída de las ruedas en las curvas.

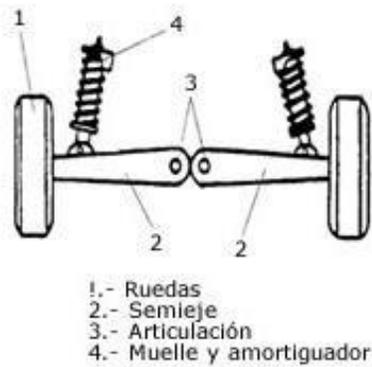


Figura 2-17. Elementos de una suspensión de eje oscilante

#### b. Suspensión de brazos tirados o arrastrados

La suspensión de brazos tirados realiza la unión de la rueda y el bastidor mediante una articulación por delante del eje, mediante un brazo que en su parte anterior está unido al bastidor y en la posterior a la rueda. En cualquier caso, las ruedas son tiradas o arrastradas por los brazos longitudinales que pivotan en el anclaje de la carrocería.

El elemento de unión puede ser más complejo que un brazo, bien un triángulo (dos puntos de unión al bastidor en lugar de uno) o bien varios brazos independientes. También puede haber diferencias en el sistema elástico utilizado.

En la figura 2-18 se muestra una figura que ilustra una suspensión de "brazos semiarrastrados" y tiene la ventaja de que no precisa estabilizadores longitudinales debido a la componente longitudinal que tiene el propio brazo o soporte.



Figura 2-18. Suspensión trasera semirrígida de brazo tirado

#### c. Suspensión McPherson

La suspensión McPherson fue desarrollada por Earle S. McPherson, ingeniero de Ford del cual recibe su nombre. La suspensión McPherson es el sistema más compacto y liviano. Actualmente es el sistema de

suspensión más utilizado en el eje delantero de los automóviles, permite un menor consumo de gasolina, un menor número de componentes en el sistema logrando así ahorro de espacio del motor, por último, permite un sistema de tracción delantera más sencillo.

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 2-19 se muestra la disposición habitual de los elementos en los sistemas de suspensión McPherson.

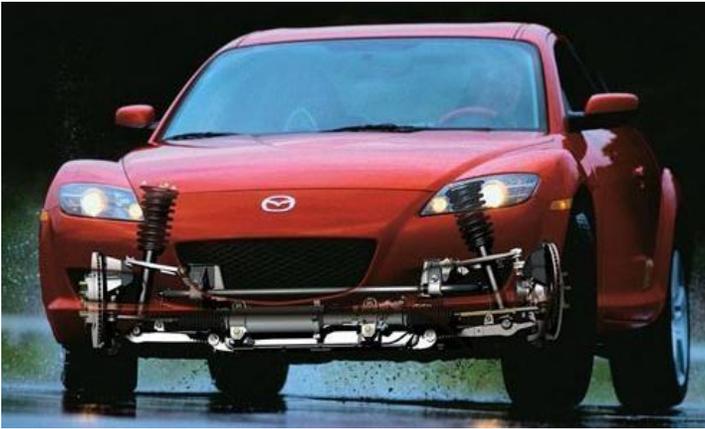


Figura 2-19. Esquema suspensión McPherson en un eje delantero

#### d. 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 o suspensión de triángulos superpuestos.

En la figura 2-20 puede verse una figura donde se muestran los paralelogramos deformables del tren posterior de un vehículo.



Figura 2-20. Suspensión de paralelogramo deformable instalada en el Audi R8

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

#### e. 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 pueden tener anclajes elásticos mediante manguitos de goma. Gracias a esta variante, las multibrazo permiten modificar tanto los parámetros de la rueda, (la caída o la convergencia), de la forma más apropiada de cara a la estabilidad en las distintas situaciones de uso del automóvil.

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.

La figura 2-21 muestra una vista en planta del tren posterior de un vehículo equipado con un sistema de suspensión de tipo multibrazo.

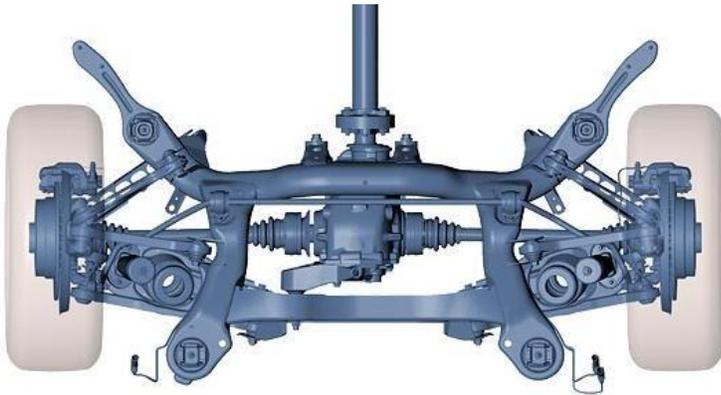


Figura 2-21. Suspensión multibrazo en un BMW Serie 1

#### f. Suspensión hidroneumática

La suspensión hidroneumática combina un sistema mixto de elementos hidráulicos y neumáticos que garantiza una suspensión suave y elástica, facilitando, además, el reglaje y nivelación de la carrocería de forma automática. Esta suspensión proporciona la confortable sensación de "flotar", una gran estabilidad, que hace que apenas se noten las desigualdades del terreno y también un notable agarre de las ruedas al mismo tiempo [1, 4].

Este tipo de suspensión tiene como principio la utilización de unas esferas que tienen en su interior un gas (nitrógeno) que es compresible y que se encuentran situadas en cada una de las ruedas. La función que realiza el gas es la del muelle que es comprimido por la acción de un líquido fluido que recorre un circuito hidráulico que comunica cada una de las cuatro ruedas.

Entre la esfera y el cilindro hay unos pasos calibrados y unas electroválvulas. En condiciones normales hay la misma presión a ambos lados de la membrana debido a los pesos soportados.

La última evolución de la suspensión hidroneumática ha sido denominada por Citroën "Hidroactiva 3". En la figura 2-22 se muestra un esquema de su montaje en un vehículo, donde se han añadido a la suspensión

hidroneumática otros elementos hidráulicos controlados electrónicamente, con esto se consigue un modelo de suspensión pilotada, donde se implanta unas esferas adicionales, provistas de un regulador de rigidez, captadores de altura electrónicos y una electroválvula comandada electrónicamente por el calculador.

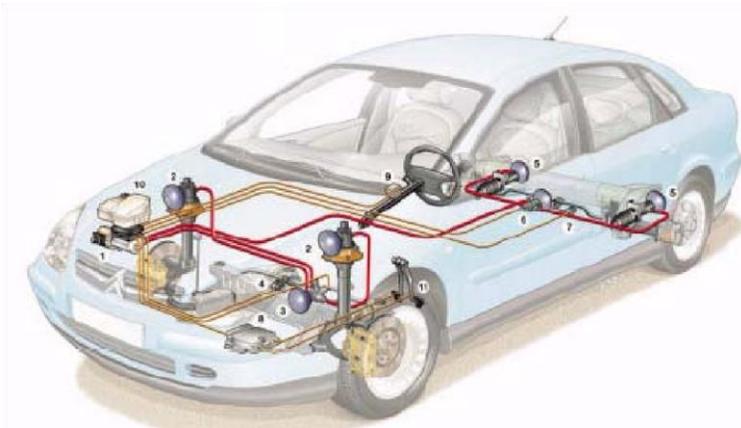


Figura 2-22. Elementos de la suspensión Hidroactiva de Citroën C5

#### g. Suspensión neumática

Las suspensiones neumáticas sustituyen los muelles o ballestas y amortiguadores por unos cojinetes de aire en cada rueda, que permiten los movimientos verticales de las mismas, efectuando en ellos una amortiguación debida a la variación de volumen y presión del aire del cojín [4, 10].

La suspensión neumática se realiza, generalmente, de flexibilidad variable y a ellos se adaptan distintos dispositivos que permiten mantener constante la altura al suelo con independencia del estado del vehículo. Los automóviles que incorporan este tipo de suspensión deben disponer de una bomba neumática para poder modificar la presión interna de los cojines neumáticos.

En la figura 2-23 se muestra un vehículo equipado con una suspensión neumática.



Figura 2-23. Suspensión neumática del Audi A6

#### h. Suspensión conjugada

El sistema de suspensión está conjugado cuando las ruedas delanteras y traseras del mismo lado están intercomunicadas de forma que cuando una rueda sobrepasa un obstáculo la rueda del mismo lado soporta también los esfuerzos generados [7, 11].

Este tipo de funcionamiento hace que este tipo de suspensión tenga las ventajas de las suspensiones independientes, pero consigue mejorar la eficiencia de la suspensión uniendo la suspensión del mismo lado del vehículo.

La suspensión conjugada consigue una gran reducción del cabeceo del coche, que se mantiene más horizontal, lo que se traduce para los ocupantes de una mayor comodidad y seguridad.

La intercomunicación entre las ruedas de un mismo lado puede hacerse mediante una unión hidráulica o bien mecánica:

Suspensión conjugada de unión mecánica por muelles: Es utilizada por Citroën en vehículos pequeños y consiste en unir los brazos de la suspensión de las ruedas de cada lado, mediante un cilindro central lateral unido al bastidor con unos apoyos que le permite deslizar. Entre el cilindro y los apoyos hay unos muelles de láminas helicoidales cónicas, y en el interior otros cilíndricos helicoidales a los que se sujetan las bielas que se unen a los brazos de la suspensión.

Suspensión conjugada de unión hidráulica (Hydrolastic): Por cada rueda va un elemento que hace la función de muelle y amortiguador. Estos elementos van fijos a la carrocería, unidos a la rueda mediante los brazos de suspensión y comunicados los de cada lado mediante una tubería con el fin de que el hidráulico pase de un elemento a otro.

En la figura 2-24 se muestra es esquema de una suspensión conjugada necesario en cada rueda del vehículo.

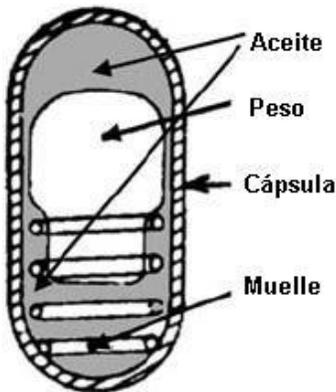


Figura 2-24. Esquema de una suspensión conjugada

## ANEXO 6

### 3.1. INTRODUCCIÓN

El sistema de suspensión es el conjunto de elementos que absorbe las irregularidades del terreno por el que circula un automóvil, camión o motocicleta para aumentar el confort y el control del vehículo. El sistema de suspensión actúa entre el chasis y las ruedas, como se puede ver en la figura 3.1, las cuales reciben de forma directa las irregularidades de la superficie transitada [6].



Figura 3.1. Suspensión McPherson. Seat Ibiza

Las principales funciones del sistema de suspensión de un vehículo son sostener el peso del mismo, absorber las sacudidas de marcha, permitir al conductor dirigir el vehículo eficientemente y proporcionar confort y seguridad a sus ocupantes. Cuando este sistema trabaja correctamente, se ejecutan cuatro tareas básicas:

Mantener el contacto de las llantas con el camino y la altura de marcha.

Soportar el peso del vehículo.

Reducir los saltos del vehículo en el camino y mantener el control.

Mantener las ruedas alineadas.

Además también es necesario que cumplan con otras funciones no menos importantes, como son:

Transmitir las fuerzas de aceleración y de frenada entre los ejes y el bastidor.

Resistir el par motor y de frenada

Resistir los efectos de las curvas

Conservar el ángulo de dirección en todo el recorrido y la perpendicularidad del bastidor.

Proporcionar una estabilidad adecuada al eje de balanceo.

Para que se cumplan estos objetivos, la suspensión debe tener dos propiedades importantes:

Amortiguación, para impedir un balanceo excesivo de la carrocería y mantener los neumáticos en contacto con el terreno.

Elasticidad, para evitar que las desigualdades en el terreno se transmitan al vehículo en forma de golpes secos.

Cuando un automóvil pasa sobre un resalte o sobre un hoyo, se produce un golpe sobre la rueda, que se transmite por medio de los ejes al chasis y que se traduce en oscilaciones.

Una mala conducción o un reparto desequilibrado de las cargas pueden también originar oscilaciones, como se puede ver en la figura 3.2. Estos movimientos se generan en el centro de gravedad del coche y se propagan en distintos sentidos. Los tres tipos de oscilaciones existentes son:

Empuje: se produce al pasar por terreno ondulado.

De cabeceo fruto de frenadas bruscas.

De bamboleo: se genera al tomar curvas a alta velocidad.

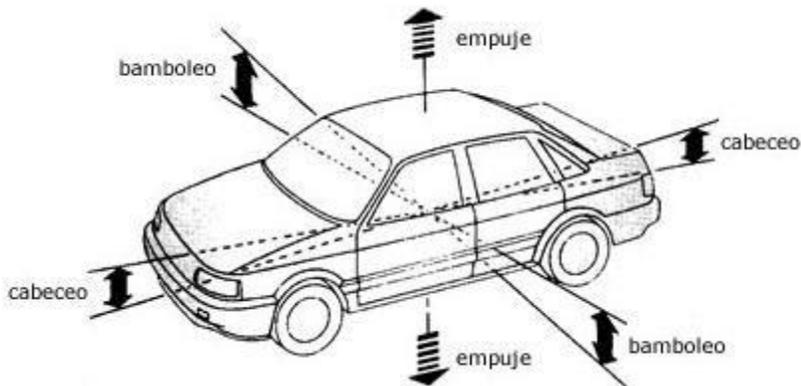


Figura 3.2. Tipos de oscilaciones

Las prestaciones de los automóviles, en la actualidad han ido en constante aumento y los sistemas de suspensión han tenido que adaptarse a las nuevas necesidades. Actualmente las suspensiones deben proporcionar confort, adherencia y estabilidad.

Las carreteras de hoy en día no tienen que ver nada con las de hace cien años, siguen teniendo imperfecciones en su superficie, que provocan que las ruedas a su paso por ellas puedan llegar a perder el contacto temporal con el pavimento. Por lo tanto, si se quiere disponer siempre de la máxima adherencia con la calzada ha de garantizarse que la rueda siga continuamente el perfil de la carretera, sin que se produzcan despegues.

Por otro lado cuando un automóvil frena, acelera o toma una curva experimenta unas aceleraciones, que como consecuencia de su propia masa se traducen en unas fuerzas. Los elementos elásticos que proporcionan adherencia y confort, permiten ahora que la carrocería se incline y se producen una serie de transferencias de masa sobre las ruedas de un mismo eje o las de un mismo lado. Este fenómeno provoca dos reacciones:

Al inclinarse la carrocería, y dependiendo de la geometría de suspensión que se tenga, la posición de la rueda con respecto al suelo cambiará. Estos cambios pueden afectar al contacto neumático-pavimento viéndose reducida la adherencia.

Que unos neumáticos estén más solicitados que otros y no se pueda aprovechar toda la adherencia, que potencialmente serían capaces de desarrollar los cuatro neumáticos juntos.

En una pista ideal, cuya superficie fuera perfectamente plana, la mejor solución sería una suspensión con una rigidez infinita, es decir, que no hubiera suspensión, ya que así se evitarían en parte estos dos efectos negativos. Por lo tanto, la razón de ser de las suspensiones son los baches y las imperfecciones en la superficie de las carreteras [9].

Por esto, se puede observar que los vehículos destinados a rodar por los peores caminos, como los todo-terreno, disponen de suspensiones blandas con mucho recorrido, y los destinados a rodar por las mejores pistas, como los vehículos de competición de circuito, disponen de unas suspensiones muy duras y de escaso recorrido.

Los elementos básicos de un sistema de suspensión son:

Neumáticos

Ballestas o muelles

Amortiguadores

Los neumáticos absorben las pequeñas irregularidades de la calzada. Esto es debido al enlace formado por el caucho y el relleno de aire que consiguen no transmitir ningún tipo de pequeña oscilación al vehículo.

Los muelles se encargan de absorber las grandes irregularidades del terreno. Se valoraran más detenidamente más adelante.

Por último, los amortiguadores limitan las oscilaciones del movimiento de los muelles. Estos se colocan entre el cuerpo suspendido (carrocería) y el apoyo (neumático), y en paralelo con el resorte, limitándole el movimiento oscilatorio natural de un sistema elástico.

Para finalizar, también resulta necesario diferenciar las masas que componen el peso del vehículo:

Masa suspendida: comprende todos los mecanismos cuyo peso es el soportado por el chasis o bastidor.

Normalmente incluye el cuerpo del vehículo, los componentes internos, pasajeros y carga. El chasis es el armazón sobre el que se montan los distintos elementos del coche, como el motor, transmisión y carrocería.

Masa no suspendida: es la parte del vehículo que está permanentemente en contacto con la calzada, como son las ruedas, elementos de suspensión (muelles, amortiguadores, brazos, etc.) y frenos.

### 3.1.1. Historia

En los comienzos de la automoción los automóviles eran extremadamente sencillos y no se pensó en lo que supondría desplazarse velozmente sobre los caminos. Los primeros vehículos, sin suspensión y con ruedas macizas, transmitían a los ocupantes todas las irregularidades de los caminos, por lo que viajar en automóvil a cierta velocidad se hacía incomodo y fatigoso [9].

Antes de que se inventara la suspensión, los primeros mecánicos no preveían suspender cada rueda independientemente de la caja vehículo, sino de los dos. De hecho, el automóvil que hoy conocemos descende del carruaje de caballos, donde debido a la tortura que sufrían los ocupantes se decidió colgar la cabina con unas correas de cuero desde unos soportes de metal que provenían de los ejes. Aunque esto provoco un bamboleo de la cabina, se puede decir que es el primer sistema de suspensión conocido.

Los primeros constructores transfirieron la técnica de la suspensión de los carruajes a los coches. Estas técnicas preveían dos ejes rígidos unidos a la caja del vehículo mediante ballestas longitudinales o transversales. Las ruedas estaban forradas con hierro y faltaban los amortiguadores verdaderos. No obstante, el rozamiento de las hojas de las ballestas entre sí facilitaba un cierto amortiguamiento.

En la figura 3.3 se ve un carruaje de caballos suspendido por ballestas.



Figura 3.3. Carruaje

A pesar de que las primeras suspensiones independientes aparecieran alrededor de 1903, la gran masa de los constructores se orientó hacia soluciones estándar (en general, ejes rígidos con ballestas y asentamiento con notable cámbler positivo delantero), que se mantuvieron en vigor hasta los años treinta, cuando no tuvieron ya una satisfacción clara.

La primera gran revolución, sobre todo respecto al confort de marcha, fue el neumático, que obligó a una puesta al día de las suspensiones alrededor de 1920, cuando se introdujo el tipo balón.

Los cien años de evolución de las suspensiones del automóvil se pueden dividir en tres fases:

La primera va del año 1885 al 1920, y es donde se da el paso del diseño de los carruajes hacia técnicas más adecuadas, por principios de construcción y por prestaciones, a un vehículo de motor.

La segunda fase se encuentra entre los años 1920 y 1955 y en ella se comienza con la búsqueda de soluciones con prestaciones crecientes y una estabilidad que hacía poco que se había convertido en una fundamental exigencia. En este período fue cuando se produjo la progresiva diferenciación de los esquemas de las suspensiones en función del tipo de coche (posición del motor, tipo de propulsión, condiciones de carga, etc.). En el sector de los coches de prestigio y de competición se produjo el desarrollo de esquemas nuevos, más complejos, en búsqueda del confort y las prestaciones más sofisticadas.

La última fase comprende desde el año 1955 hasta los años setenta: donde ya se adoptan soluciones ya formuladas teóricamente y consideradas de nuevo con esquemas de construcción adecuadas a las grandes series (menor coste, mayor fiabilidad, menor mantenimiento); con los mismos objetivos se actuó en la búsqueda de soluciones nuevas. También se propusieron algunos esquemas antiguos originales, como el de subrayar que un cierto esquema de suspensión difícilmente tiene de por sí unas dotes de estabilidad y de confort superiores a cualquier otro tipo, en el sentido de que el diseño de aplicación

de cada esquema y otros numerosos factores (asentamiento, elasticidad, amortiguadores y, sobre todo, la geometría) pueden modificar completamente el comportamiento.

En particular, para este proyecto, la suspensión independiente McPherson, recibe este nombre debido al ingeniero que la diseñó para su uso en 1951, Earl S.

McPherson, en el modelo Ford Consul y después en el Zephyr.

### 3.2. COMPONENTES DE UN SISTEMA DE SUSPENSIÓN

El sistema de suspensión está compuesto por un elemento flexible o elástico (ballesta, muelle helicoidal, barra torsional, cojín neumático, etc.) encargado de absorber la energía generada en los impactos debido a las irregularidades del terreno y un elemento de amortiguación (amortiguador), cuya misión es neutralizar las oscilaciones de la masa suspendida originadas por el elemento flexible al devolver la energía acumulada del impacto [6, 7,8].

Los sistemas de suspensión incorporan elementos que mejoran el comportamiento dinámico del vehículo, como barras estabilizadoras, tirantes de reacción o barras transversales.

A continuación, se describen los distintos elementos que componen el sistema de suspensión en la mayoría de los automóviles.

#### 3.2.1. Elementos elásticos

La misión de los elementos elásticos es impedir que las oscilaciones del terreno lleguen a la carrocería en forma de golpes, mejorando el confort y la seguridad del vehículo al asegurar el contacto de las ruedas con el terreno, mejorando así la estabilidad y la capacidad para dirigir el vehículo.

##### 3.2.1.1. Elementos neumáticos

El neumático formado por cápsulas herméticas de caucho con estructura metálica, como se muestra en la figura 3.4 y rellenas de gas a presión, es uno de los elementos más importantes del automóvil. Esto es debido porque es el que debe soportar el peso del vehículo, las fuerzas de inercia producidas en las aceleraciones y las frenadas, deben transmitir el par producido por el motor al suelo y además es el encargado de mantener la trayectoria del vehículo en las ruedas directrices.

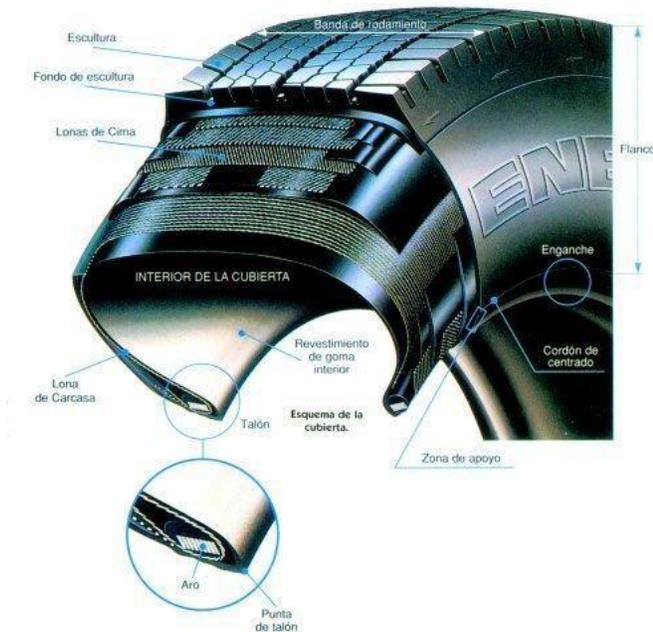


Figura 3.4. Sección de un neumático

Debe de estar siempre en contacto con el suelo, por ello son los primeros elementos en estar en contacto con todas las irregularidades del terreno y su baja elasticidad solo absorbe las pequeñas irregularidades.

Otros componentes neumáticos, serían los cilindros neumáticos o “bolsas de aire”, mostrados en la figura 3.5, que se utilizan sobre todo en vehículos industriales y se utilizan como elementos flexibles debido a que son más resistentes los cauchos y las fibras de refuerzo. Estas bolsas de aire proporcionan una suspensión muy suave y suficientemente duradera.



Figura 3.5. Cilindro neumático

La ventaja principal de las bolsas de aire comparadas con el resto de los muelles es que su presión interior puede ser modificada de acuerdo a la carga y con ello mantener la misma altura con el vehículo cargado. Este sistema es el empleado en las suspensiones hidroneumáticas.

#### 3.2.1.2. Las ballestas

Están compuestas por una serie de láminas de acero resistente y elástico, de diferente longitud, superpuestas de menor a mayor a partir de la hoja más larga denominada “maestra”, y sujetas por un pasador central llamado “perno-capuchino”. Para mantener las láminas alineadas llevan unas abrazaderas, denominadas abarcones, a ambos lados del eje que une ambas ruedas, y atornilladas en sus extremos al mismo. Las ballestas convencionales van sujetas a la carrocería por medio de la hoja maestra, que posee en sus extremos dos curvaturas formando un ojo por el cual, y por medio de un silentblock de goma, se articulan en el bastidor. Mediante los abarcones, se sujetan al eje de la rueda. En uno de sus extremos se coloca una gemela, que permite el desplazamiento longitudinal de las hojas cuando la rueda coja un obstáculo y, en el otro extremo va fijo al bastidor. Se puede ver en la figura 3.6 una ballesta y sus diferentes fijaciones al chasis:



### Figura 3.6. Ballesta

Si la ballesta es muy flexible se llama blanda, y, en caso contrario, dura; usándose una u otra según el peso a soportar. Las ballestas pueden utilizarse como elemento de empuje del eje al bastidor. Para evitar que el polvo o humedad, que pueda acumularse en las hojas, llegue a “soldar” unas a otras impidiendo el resbalamiento entre sí y, por tanto, la flexibilidad, se recurre a intercalar entre hoja y hoja láminas de zinc, plástico o simplemente engrasarlas.

Las ballestas permiten absorber las irregularidades grandes del terreno, evitando que se transmitan a la carrocería. Cuando el vehículo pasa por una irregularidad, la ballesta convierte ese “golpe” en una oscilación.

Suelen tener forma sensiblemente curvada y pueden ir colocadas longitudinalmente o en forma transversal:

**Montaje longitudinal:** es el más utilizado en vehículos industriales. Se coloca una ballesta por cada rueda dispuestas en el sentido de avance del vehículo. La ballesta se une por un lado a un punto fijo y por el otro a uno móvil para permitir los movimientos oscilantes.

**Montaje transversal:** utilizado principalmente en turismos y vehículos todo-terrenos. Se realiza uniendo los extremos de la ballesta al puente, mediante gemelas, y la base de la ballesta al bastidor o carrocería. Tiene como inconveniente que anula la capacidad de guiado.

Las principales ventajas que aportan las ballestas son:

Sólo se deforman en un sentido (vertical), esto permite prescindir de otros elementos de guiado, siendo las mismas ballestas las que proporcionan ese guiado.

Transmiten la propulsión y tracción.

Son de fácil construcción y baratas, permitiendo ser separadas y/o volverlas a dar la curvatura necesaria.

El propio rozamiento de las hojas, permite dar al conjunto un cierto efecto amortiguante.

Sin embargo, su principal inconveniente es que en el eje delantero (montadas longitudinalmente) limitan el ángulo de orientación de la rueda y son relativamente pesadas, además requieren limpieza y lubricación en los extremos de las hojas para que no se endurezca la suspensión ni se oxide.

Las ballestas pueden clasificarse en dos grandes grupos:

**Semi-elípticas:** Se denominan así porque sus hojas forman parte de una elipse imaginaria. Se caracterizan y distinguen por tener las hojas unas en contacto con las otras formando un paquete, que precisa de lubricación periódica.

**Parabólicas:** las ballestas parabólicas tienen las hojas con forma de parábola. Se distinguen porque sus hojas no se tocan entre sí, existiendo un espacio importante entre ellas. Estas ballestas tienen una mayor flexibilidad y no requieren mantenimiento.

#### 3.2.1.3. Muelles

Los muelles tienen la misma misión que las ballestas, absorber las irregularidades del terreno. La sustitución de las ballestas por los muelles es debido a que estos presentan la ventaja de presentar una elasticidad blanda debido al gran recorrido del resorte sin apenas ocupar espacio ni sumar peso excesivo. En la figura 3.7, se puede ver el resorte de una suspensión McPherson.



Figura 3.7. Resorte helicoidal

Los resortes están constituidos por un hilo de acero, cuyo diámetro oscila generalmente entre 8 y 20 mm arrollado en forma de hélice, cuyas espirales extremas se hacen planas para conseguir un buen asiento tanto en la carrocería como en el amortiguador.

Las características del muelle, vienen dadas por muchos factores: la longitud, el diámetro de las espiras, el coeficiente elástico del acero y el número de espirales y su diámetro, y del comportamiento del vehículo. De todos estos factores se calcula la característica más importante de todas, la dureza, es decir, la resistencia a ser deformado.

Los muelles helicoidales trabajan por torsión del hilo que lo constituye, bajo el efecto de una carga, las espiras se aproximan entre ellas, conservando intervalos idénticos.

El inconveniente que presentan los muelles helicoidales es la que poseen una rigidez transversal muy pequeña, por lo que es necesario completar la suspensión con dispositivos destinados a impedir los desplazamientos de la carrocería con relación a los ejes.

#### 3.2.1.4. Barra de torsión

La barra de torsión funciona de manera similar al muelle helicoidal: mientras la barra está sujeta por uno de sus extremos, como se muestra en la figura 3.8, se le aplica por el otro extremo un esfuerzo de torsión, entonces la varilla tenderá a retorcerse. Y volverá a su forma primitiva cuando cese el esfuerzo de torsión debido a su elasticidad.



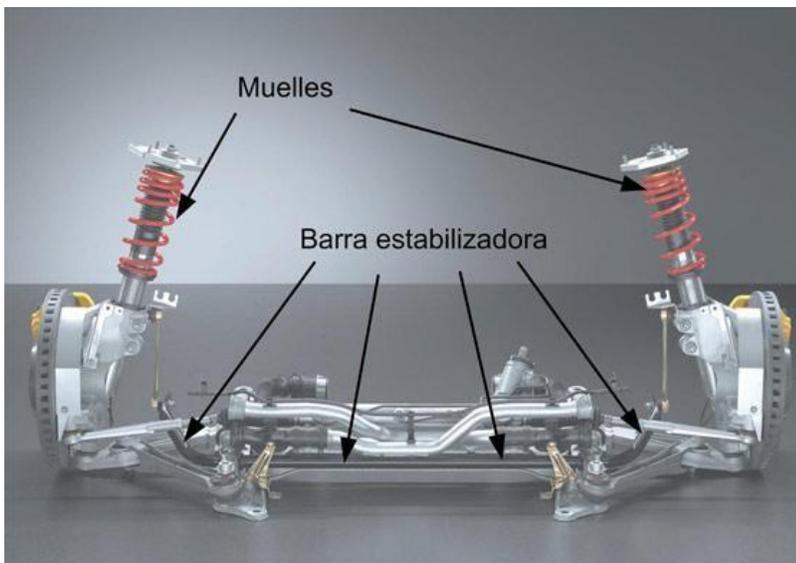
Figura 3.8. Barra de torsión

El montaje de las barras de torsión sobre el vehículo se realiza fijando uno de sus extremos al chasis o a la carrocería, de forma que no pueda girar en su soporte. En el otro extremo se coloca una palanca solidaria a la barra, unida en su extremo libre al eje de la rueda. Cuando esta sube o baja por el efecto de las desigualdades del terreno, se producirá en la barra un esfuerzo de torsión, cuya deformación plástica permite el movimiento de la rueda.

Se pueden disponer de dos formas: Paralelo al eje longitudinal del vehículo. O de forma transversal al eje longitudinal del vehículo.

### 3.2.1.5. Barras estabilizadoras

Consisten en una barra redonda de acero elástico generalmente curvadas en forma de “U” cuyos extremos se fijan a los soportes de suspensión de las ruedas. A continuación, en la figura 3.9, se ve como la barra estabilizadora de una suspensión McPherson se fija a los tirantes.



### Figura 3.9. Barra estabilizadora

Existen dos tipos:

Barras estabilizadoras transversales o barras anti balanceo: se utilizan para evitar oscilaciones laterales (balanceo). Por ejemplo, al tomar una curva la carrocería tiene tendencia a inclinarse hacia el lado de fuera, cuando un lado del coche está más alto que el otro, la barra se retuerce y la resistencia a torsión de la barra se opone al balanceo manteniendo la carrocería estable.

El mismo efecto se produce cuando una de las ruedas encuentra un bache u obstáculo, creando, al subir o bajar la rueda, un par de torsión en la barra que hace que la carrocería se mantenga horizontal.

Barra estabilizadora longitudinal: su misión es regular los desplazamientos originados entre la masa suspendida y no suspendida ante esfuerzos de aceleración y frenado.

#### 3.2.2. Elementos de amortiguación

Los elementos de amortiguación tienen como misión absorber el exceso de fuerza del rebote del vehículo eliminando los efectos oscilatorios de los muelles y evitando así que se transmitan a la carrocería, lo cual permite que las oscilaciones producidas por las irregularidades de la marcha sean más elásticas.

Cuando el vehículo encuentra alguna irregularidad en el terreno, la rueda hace que se comprima o alargue el muelle, recogiendo éste la energía producida en la oscilación, pero al no tener capacidad de absorción, devuelve la energía inmediatamente rebotando sobre la carrocería.

Este rebote en forma de oscilaciones es el que tiene que frenar el amortiguador, recogiendo en primer lugar el efecto de compresión del muelle y luego el de tracción, actuando de freno en ambos sentidos y disminuyendo la amplitud de las oscilaciones progresivamente. Los amortiguadores se clasifican según:

El sentido de trabajo: en amortiguadores de simple efecto (un solo sentido) y amortiguadores de doble efecto (dos sentidos: tracción y compresión).

La diferencia que existe entre amortiguadores de simple y doble efecto radica en que los de simple efecto sólo amortiguan en un sentido porque cuando se produce el efecto de expansión o compresión, el aceite situado en las cámaras no circula a través de los pasos calibrados por lo que no amortiguan en uno de los sentidos.

El número de tubos que lo forman: en monotubo o bitubo.

- Monotubo (figura 3.10): De aparición más tardía que los amortiguadores bitubo, aunque cada vez tienen una mayor implantación, consta de dos cámaras principales, una con aceite y otra con gas (normalmente nitrógeno) que están separados por un pistón flotante. El volumen de la cámara es variable, según la compresión que sobre el gas ejerzan las fuerzas que actúan sobre el pistón.

Solamente hay válvulas en el pistón.

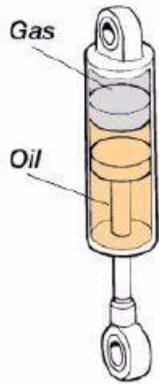


Figura 3.10. Amortiguador monotubo

- Bitubo (figura 3.11): son los más extendidos en la actualidad. Se dividen en presurizados (aceite) y no presurizados (aceite y gas). El pistón y el cilindro se encuentran en el interior de una cámara mayor. El aceite fluye por el cilindro a través del pistón y también a la segunda cámara a través de una válvula situada entre ambas.

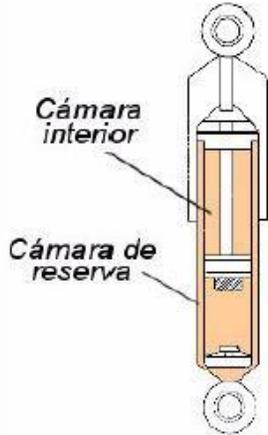


Figura 3.11. Amortiguador bitubo

□ El fluido de amortiguación: en amortiguadores hidráulicos, de gas o mecánicos.

- Amortiguadores hidráulicos (figura 3.12): cuyo funcionamiento está basado en la retención producida al hacer pasar un líquido de viscosidad determinada por uno o más conductos de pequeño diámetro. Al intervenir un líquido en su funcionamiento se les puede catalogar como hidráulico, el citado líquido resulta ser un aceite cuyo grado de viscosidad es muy alto. Dentro de estos se encuentran: los amortiguados telescópicos (se dispone de un cilindro lleno de aceite por el cual se desliza un pistón solidario a un vástago, estando este último amarrado a la carrocería y el cilindro a la rueda); los amortiguadores giratorios (en este caso las cámaras donde se producen las variaciones de volumen son circulares, donde cada cámara es semicircular, y están separadas por unas válvulas unidireccionales); y los amortiguadores de balancín (se dispone de una palanca solidaria a la rueda la cual acciona un embolo que se desplaza en una cámara ubicada a ambos lados de la palanca).

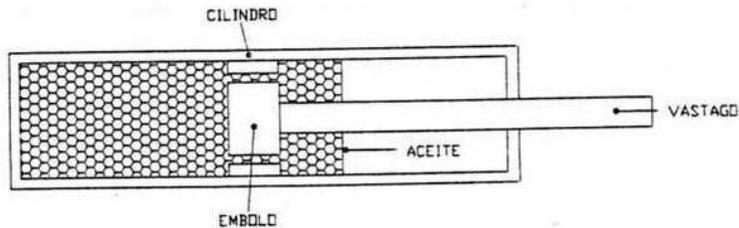


Figura 3.12. Amortiguador hidráulico

- Amortiguadores de gas (figura 3.13): son similares a los hidráulicos, con similar disposición, pero se diferencian en la aparición de un embolo flotante en el extremo opuesto al cilindro deslizante y el cual retiene un depósito de gas (nitrógeno normalmente) a una presión en torno a 25 atmosferas.

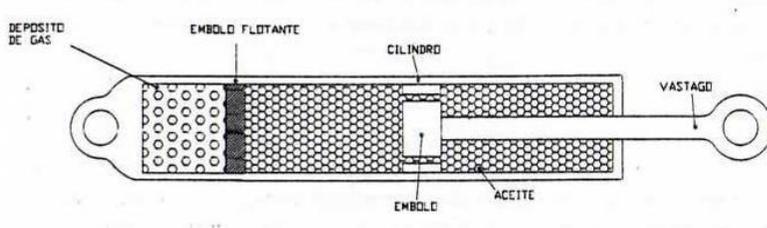


Figura 3.13. Amortiguador de gas

Presenta una serie de ventajas sobre la hidráulica: absorbe las variaciones de volumen en la cámara inferior, resultantes de los distintos volúmenes desalojados por el embolo, dada la presencia del vástago en la cámara superior; y se evita la formación de burbujas en el aceite al estar sometido a presión, reduciendo así comportamiento irregulares.

Amortiguadores mecánicos: muy poco utilizados hoy en día. Y pueden ser de fricción y de inercia.

Los amortiguadores más utilizados actualmente son los amortiguadores de doble efecto y los hidráulicos telescópicos.

El amortiguador lleva a cabo dos movimientos (figura 3.14):

Expansión (el amortiguador se abre): Para que el amortiguador se abra, el pistón necesita subir y esto solo se logra si el aceite que está arriba del pistón fluye a través de este. Para controlar el paso del aceite, están los barrenos ubicados en el cuello del pistón y las ranuras que se hacen (codificados) en el asiento de la válvula de expansión. Además de los barrenos y las ranuras, está también el resorte de expansión que mantiene la válvula bajo presión controlada. El actuar de estos tres elementos, proporciona las fuerzas del amortiguador que se conocen como resistencias hidráulicas.

Compresión (el amortiguador se cierra): Para que el amortiguador se cierre, el pistón necesita bajar y esto solo se logra si el aceite que está en la parte inferior del pistón fluye a través de este. Para controlar el paso del aceite, están los barrenos ubicados en el cuerpo del pistón y las ranuras que se hacen

(codificado) en la cabeza de compresión donde se ubica la válvula de reposición. Además de los barrenos y las ranuras, está también el resorte de compresión ubicado en la cabeza de compresión que mantiene la válvula controlada.

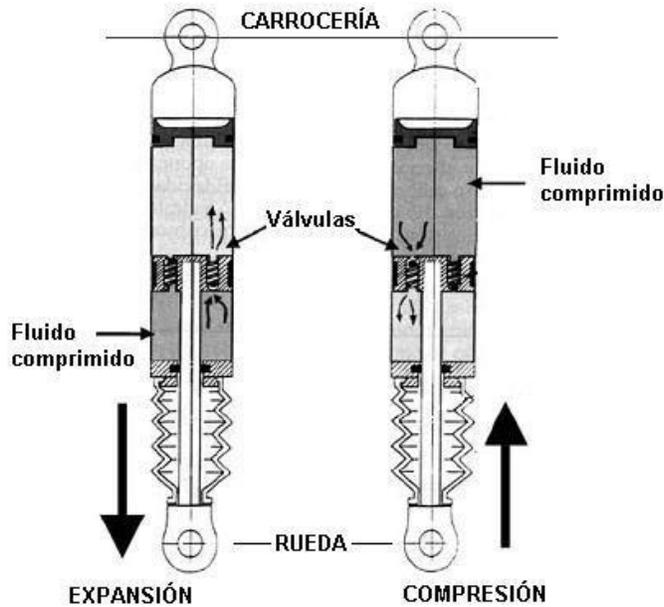


Figura 3.14. Movimientos del amortiguador

### 3.2.3. Elementos estructurales y de guiado de la suspensión

Para que un vehículo se encuentre suspendido sobre las ruedas y no apoyado en ellas, es necesaria la utilización de estos elementos. Son aquellos que servirán de guiado y de sujeción a la rueda en su desplazamiento, haciendo posible el funcionamiento de la suspensión y de la amortiguación, e interrelacionándolos con los dispositivos de tracción y dirección.

Estos elementos también sirven de soporte y fijación de los elementos citados anteriormente, como son muelles y barras de torsión.

#### 3.2.3.1. Triángulo

Es un elemento de unión con tres extremos. Normalmente tiene dos en el bastidor y uno en la mangueta. Sirven de soporte y fijación de la mangueta a través de una rótula, y la fijación y pivotamiento de estos se consigue con dos articulaciones a través de la cuna mediante silentblocks. Se construyen en chapa de acero, en acero macizo e incluso en fundición de aluminio. Se pueden distinguir dos tipos de triángulos: en L y en A.



Figura 3.15. Triángulo en L

En la distribución en L, figura 3.15, el triángulo teórico que forman las tres articulaciones tiene un ángulo recto y un lado paralelo (o casi) al eje de las ruedas.

En la distribución en A, figura 3.16, el triángulo puede tener formas y ubicaciones más variadas. En unos casos tienen la articulación de la rueda entre las dos articulaciones del bastidor y en otros, las dos articulaciones del bastidor están por delante de la de la rueda el triángulo.

El triángulo en A puede estar abierto con forma de ángulo, denominado por los británicos whisbone, por su analogía al “hueso del deseo”. También puede estar cerrado con una unión intermedia entre los lados.

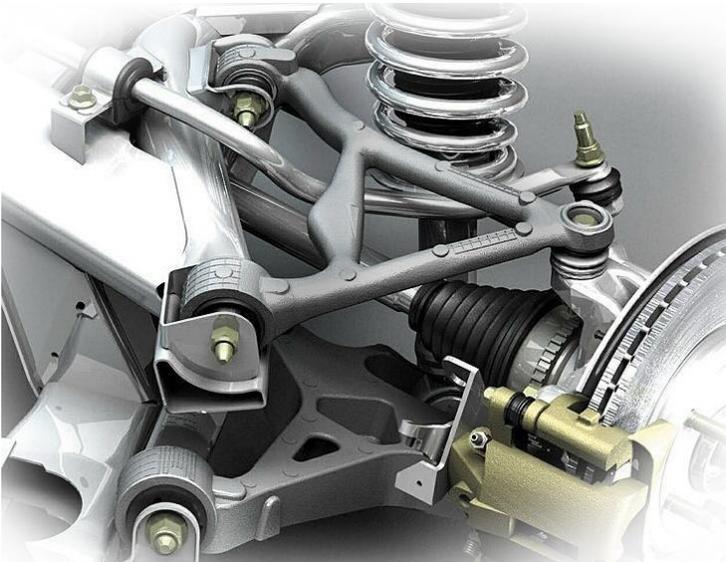


Figura 3.16. Triángulo en A

#### 3.2.3.2. Trapecio

Es un elemento de unión con cuatro extremos, apropiado para soportar grandes esfuerzos longitudinales y transversales. A diferencia de un brazo o un triángulo, un trapecio tiene necesariamente dos y solo dos ejes de giro (uno en el bastidor y otro en la mangueta). Este tipo de elemento de unión se ha usado sólo en ejes motores.

Hay elementos de unión con forma de triángulo que equivalen funcionalmente a un trapecio, porque tienen pernos en sus dos extremos que impiden cualquier movimiento que no sea en sus dos ejes.

En la figura 3.17, se muestra un trapecio situado en eje trasero de un vehículo.



Figura 3.17. Trapecio

### 3.2.3.3. Brazos

Es un elemento de unión con dos extremos. Un brazo está hecho para soportar esfuerzos en la dirección del propio brazo, en ambos sentidos (tracción o compresión). Por su forma y por el tipo de articulaciones que tiene normalmente, no está hecho para soportar esfuerzos laterales.

Los brazos pueden ser rectos (figura 3.18) o curvos, rígidos o flexibles, y pueden provenir de una pieza de fundición (de hierro o aluminio) o de chapa de acero estampada.

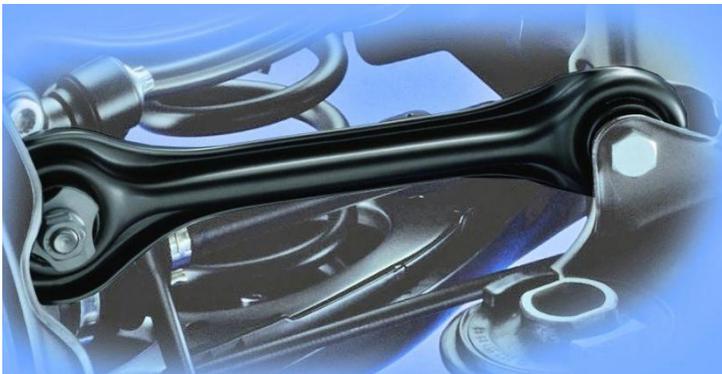


Figura 3.18. Brazo recto y rígido

Un tipo especial de brazo son los tirantes: que sirven como complemento a ciertos elementos de la suspensión, con los que no se consigue un guiado y sujeción efectivo. Con su disposición se evitan alteraciones en la

geometría de la misma y sus ángulos. En algunos casos disponen de un extremo roscado, para efectuar correcciones en la geometría de la rueda y en otros se emplean como reenvíos de la barra estabilizadora.

Otro brazo especial, sería el brazo telescópico (figura 3.19), que es el elemento de unión característico de la suspensión McPherson, que tiene un tubo interior que corre dentro de un tubo exterior. Normalmente es el amortiguador.



Figura 3.19. Brazo telescópico

#### 3.2.3.4. Manguetas

La mangueta de la suspensión es aquella en la que se fijan, directa o indirectamente, la mayoría de los elementos de los sistemas de suspensión (tirantes, trapecios, amortiguador, etc.) y dirección, incluyendo la rueda. Se fabrica en acero con excelentes propiedades mecánicas. La mangueta va fijada a través del buje, que es el elemento giratorio al que también va fijada la rueda, el disco o el tambor de freno. En el interior del buje se montan los rodamientos o cojinetes que garantizan el giro de la rueda.

En la figura 3.20 se puede ver la mangueta de un Seat León, que es la que se ha utilizado para el diseño 3D.



Figura 3.20. Mangueta

#### 3.2.3.5. Rótulas, silentblocks y articulaciones

Las rótulas (figura 3.21) constituyen un elemento de unión y fijación de la suspensión y de la dirección, al permitir el pivotamiento y giro manteniendo la geometría de las ruedas. Se trata de una esfera, a cuyo extremo es solidario uno de los elementos de la unión articulada. El alojamiento de la citada esfera, posee la misma forma interior que ésta, de tal forma, que sin dejar de ser solidarios, pueden adoptar diversas posiciones angulares entre sí.



Figura 3.21. Rótula

Los castillos o silentblock (figura 3.22) son elementos de caucho vulcanizado u otro material elastómero que se utilizan unir las suspensiones al chasis, de forma que no existan piezas móviles metálicas en contacto. Su misión es conseguir un buen aislamiento y amortiguar los golpes existentes entre dos elementos en los que existe movimiento relativo. Suelen montarse a presión o atornillados. No necesitan mantenimiento pero son sensibles a la temperatura, inclemencias del tiempo, a los productos químicos y al aceite.



Figura 3.22. Silentblock

En ciertos vehículos deportivos, para mejorar la precisión en las articulaciones, se sustituyen los casquillos por las rótulas “uniball”, que lo que las diferencia de las rótulas normales es que la esfera es atravesada por un tornillo pasante, absorbiendo así las torsiones generadas por las reacciones mecánicas, y con el inconveniente de que transmiten al conductor todos los ruidos y vibraciones.

#### 3.2.4. Otros elementos

El bastidor o chasis no forma parte del sistema de suspensión en sí, pero es el armazón metálico sobre el que se montan y relacionan todos los elementos del automóvil: la carrocería, el motor y la transmisión por la parte superior y la suspensión con las ruedas por la parte inferior. Sus principales funciones son las de soportar el peso de todos los elementos del vehículo, soportar todas las cargas dinámicas que puedan generarse durante la conducción y las originadas por el funcionamiento de los distintos sistemas (motor, dirección, transmisión, etc.). Esto se puede ver en la figura

#### 3.23.

La concepción clásica de los bastidores era una estructura formada por dos travesaños longitudinales con refuerzos transversales, sobre los que se anclaban suspensiones, carrocería y motor. En la actualidad se siguen utilizando muchos vehículos todo-terrenos por su robustez.



Figura 3.23. Chasis

Su estructura se diseño para deformarse en caso de colisión, dejando así que el chasis sea el que absorba la energía del impacto en vez de los ocupantes del vehículo. Se utiliza la carrocería auto portante, en la cual el bastidor como tal desaparece y se integra mediante refuerzos específicos en la propia carrocería.

### 3.3. CLASIFICACIÓN DE LAS SUSPENSIONES SEGÚN LA GEOMETRÍA

Dentro de las diferentes clasificaciones que podemos dar a los sistemas de suspensión, en este proyecto se van a desarrollar dos: la primera atiende a los diferentes sistemas según su geometría, y la segunda, atenderá a los diferentes tipos de control de actuación sobre el sistema de suspensión.

Otras clasificaciones posibles serían según el elemento amortiguador, las componentes que conforman la amortiguación, etc.

La clasificación según su geometría, engloba a tres grandes grupos de suspensión principales: suspensiones rígidas, suspensiones semirrígidas y suspensiones independientes.

#### 3.3.1. Suspensión rígida

Se llama suspensión rígida a aquella suspensión que tienen como elemento de unión entre las ruedas de un mismo eje, un elemento rígido (barra). También es denominado sistema “dependiente”, ya que una rueda transmite todo el movimiento a la otra. En la figura 3.24 se puede observar un sistema rígido, y vemos como al elevarse una rueda, la inclinación de esta, se trasmite al eje y a su vez a la otra rueda. Debido a que el bastidor va fijado a los ejes, la inclinación del suelo afecta a todo el vehículo [5].

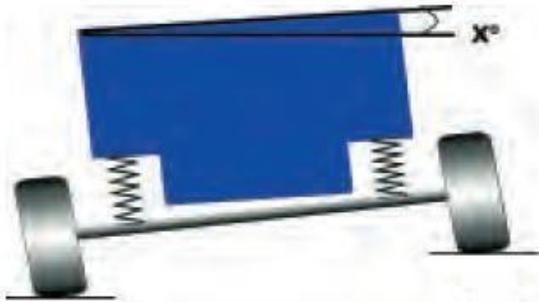


Figura 3.24. Suspensión rígida

Las suspensiones rígidas presentan pocas ventajas frente a las otras dos, y son su menor coste de diseño y fabricación, que no producen variaciones significativas en los parámetros de la rueda, y sobre todo destaca su sencillez. Se trata de una buena suspensión para soportar grandes cargas, debido esto a su rigidez y esto hace que sea típico verlos en ejes traseros de todoterrenos y camiones de bajo y gran tonelaje.

Dentro de los inconvenientes, cabe destacar, que al encontrarse unidas las ruedas, las vibraciones producidas por la acción de las irregularidades del pavimento, se transmiten de un lado al otro del eje, 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. Esto hace que sean incómodas en la conducción y que sean menos seguras.

### 3.3.2. Suspensión semirrígida

Las suspensiones semirrígidas se diferencian de las rígidas en que transmiten de forma parcial las irregularidades del terreno. En cualquier caso aunque la suspensión no es rígida total, tampoco es independiente.

En la figura 3.25 se muestra una suspensión de este tipo, es la llamada suspensión con “eje de Dion”, en ella las ruedas van sujetas mediante soportes articulados al grupo diferencial. De esta manera se transmite el giro a las ruedas a través de dos semiejes (palieres), y a su vez las ruedas van unidas entre sí mediante el tubo de Dion. Este sistema presenta ventajas frente al rígido de que disminuye la masa no suspendida, manteniendo así los parámetros de la rueda prácticamente constantes.

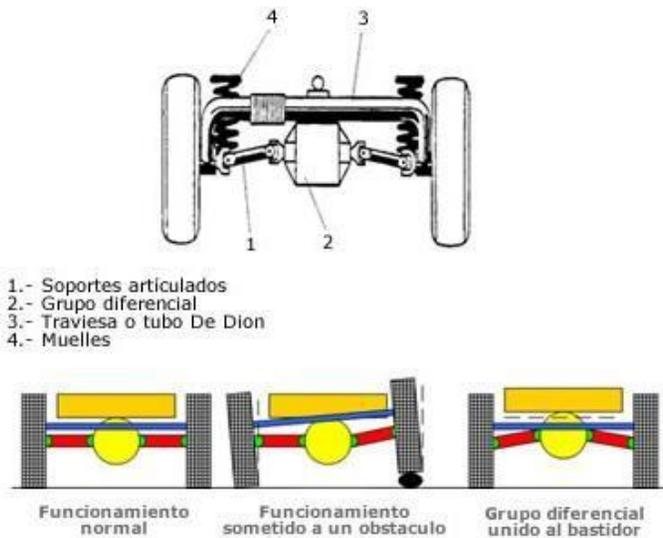


Figura 3.25. Esquema de una suspensión De Dion

El "eje torsional" es otro tipo de suspensión semirrígida utilizada en las suspensiones traseras, en vehículos que tienen tracción delantera, tiene forma de "U", por lo que es capaz de deformarse elásticamente un cierto ángulo cuando una de las ruedas encuentra un obstáculo.

Este sistema mediante la torsión del puente permite, una recuperación parcial del ángulo de caída de alto efecto de estabilización, características que junto al bajo peso, al bajo coste y al poco espacio que ocupan la hacen ideal para instalarla junto con otros componentes debajo del piso.

### 3.3.3. Suspensión independiente

Actualmente este tipo de suspensión es el que se utiliza más debido a que es la más óptima desde el punto de vista del confort y la estabilidad al reducir de forma independiente las oscilaciones generadas por el pavimento. Además posee menor peso frente a las otras [4].

En la configuración de eje independiente las ruedas están conectadas al cuerpo del vehículo mediante un sistema articulado que les permite desplazarse verticalmente sin afectar a la rueda opuesta. Esto se muestra en la figura 3.26.

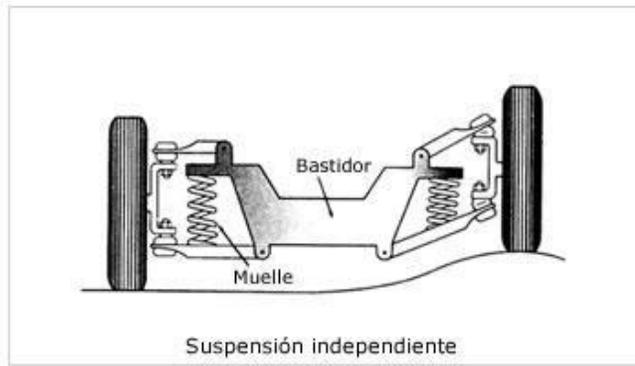


Figura 3.26. Suspensión independiente

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

Por contra las suspensiones independientes tienen la desventaja de tener un mayor coste, presentar una mayor complejidad del sistema y para cargas elevadas esta suspensión puede presentar problemas.

A continuación se describen las características más relevantes de los principales tipos de suspensión independientes así como sus características frente al resto de suspensiones:

#### 3.3.3.1. Suspensión de eje oscilante

La peculiaridad de la suspensión mediante eje oscilante, figura 3.27, se encuentra en que el elemento de rodadura y el semieje son solidarios (salvo el giro de la rueda), de forma que el conjunto oscila alrededor de una articulación 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 altera notablemente la caída de las ruedas en las curvas.

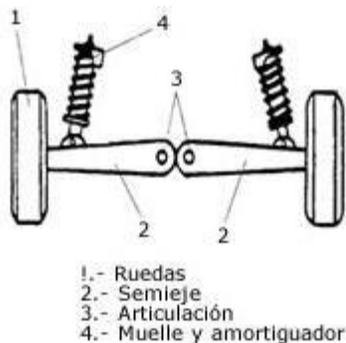


Figura 3.27. Esquema de una suspensión de eje oscilante

#### 3.3.3.2. Suspensión de brazos tirados o arrastrados

La suspensión de brazos tirados realiza la unión de la rueda y el bastidor mediante una articulación por delante del eje, mediante un brazo que en su parte anterior está unido al bastidor y en la posterior a la rueda. En cualquier caso, las ruedas son tiradas o arrastradas por los brazos longitudinales que pivotan en el anclaje de la carrocería.

El elemento de unión puede ser más complejo que un brazo, bien un triángulo (dos puntos de unión al bastidor en lugar de uno) o bien varios brazos independientes. También puede haber diferencias en el sistema elástico utilizado.

En la figura 3.28 se muestra una figura que ilustra una suspensión de "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.

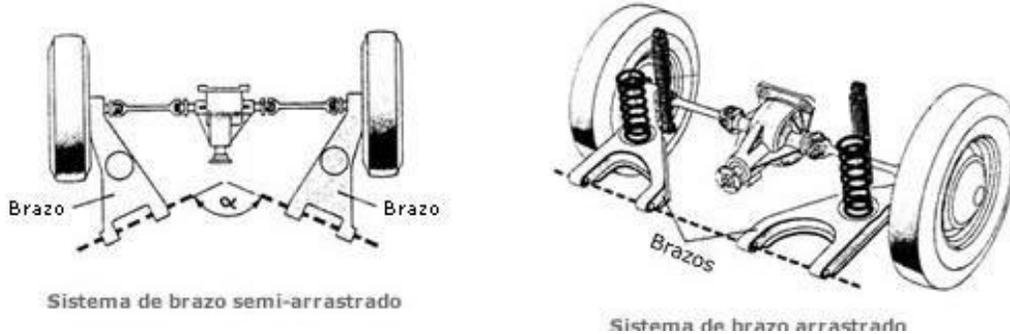


Figura 3.28. Sistema de brazos arrastrados

### 3.3.3.3. Suspensión McPherson

Esta es la suspensión que se va a diseñar, simular y estudiar en el presente proyecto, por ello se ahondará más en su explicación.

La suspensión McPherson es el sistema más compacto y liviano. Actualmente es el sistema de suspensión más utilizado en el eje delantero de los automóviles, permite un menor consumo de gasolina y un menor número de componentes en el sistema logrando así ahorro de espacio del motor. Por último, permite un sistema de tracción delantera más sencillo.

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.

Se trata de una suspensión en la que el amortiguador está solidariamente unido al buje de la rueda, de manera que el movimiento del bastidor con relación a la rueda tiene la misma dirección que el eje perpendicular del amortiguador. Vemos un esquema y un despiece de dicha suspensión en la figuras 3.29, 3.30 y 3.31.



Figura 3.29. Suspensión McPherson

Como elementos de unión entre rueda y bastidor, la suspensión McPherson necesita además del amortiguador, articulaciones en la parte inferior del buje. La versión original tenía un brazo transversal y la barra estabilizadora en función de tirante longitudinal. En versiones posteriores se reemplaza la estabilizadora por otro brazo, o ambos brazos por un triángulo. En ruedas que no son motrices, hay versiones de la suspensión McPherson con dos brazos transversales y uno oblicuo o longitudinal.

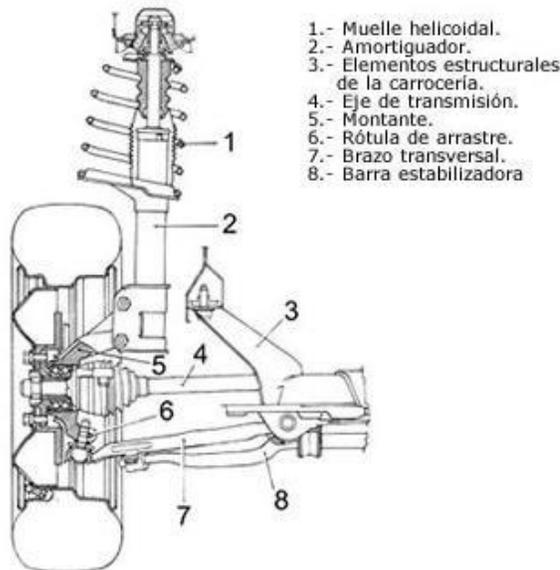


Figura 3.30. Esquema de una suspensión McPherson

Despiece de una suspensión McPherson

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

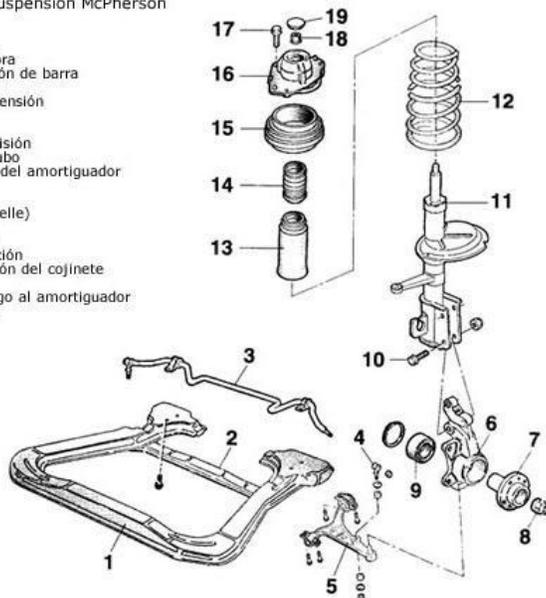


Figura 3.31. Despiece de una suspensión McPherson

La suspensión perpendicular o McPherson es en realidad una variante de la de movimiento transversal de dos planos, en la que el elemento superior es una columna telescópica casi perpendicular.

El movimiento de la rueda nunca es perfectamente perpendicular al suelo por dos razones: primero, los elementos de unión inferiores describen un arco y el amortiguador se desplaza lateralmente para seguirlo.

Segundo, el amortiguador tiene una orientación siempre hacia delante en las rueda delantera y normalmente hacia afuera en las cuatro ruedas. Estos ángulos se muestran en la figura 3.32.

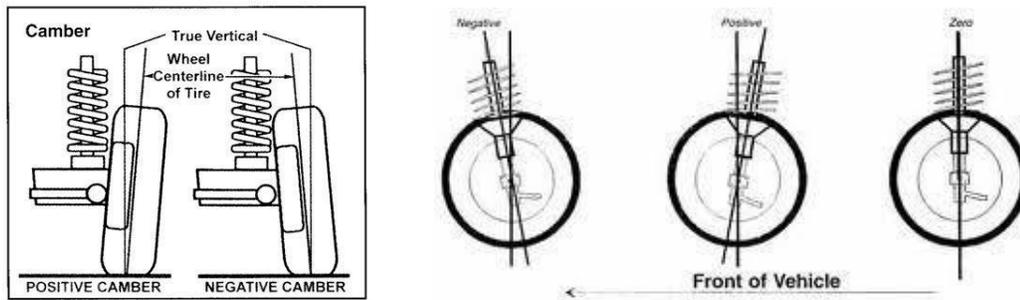


Figura 3.32. Ángulos de caída y avance

Se puede distinguir una suspensión McPherson porque el amortiguador es solidario con el buje, bien porque va embutido dentro o bien sujeto con tornillos. El muelle de la suspensión McPherson siempre es helicoidal, pero no necesariamente es concéntrico con el amortiguador. Los casos en los que el amortiguador está fuera del muelle helicoidal son muy raros.

El funcionamiento de la suspensión McPherson depende en gran medida de la calidad del amortiguador. Al ser un tubo telescópico sujeto a esfuerzos transversales a su eje, sus dimensiones y el acabado de sus superficies son determinantes para que, por ejemplo, los tubos no se acúñen, lo que hace que una suspensión sea seca incluso con un amortiguador de ajuste blando. A igualdad de calidad, un amortiguador para una suspensión McPherson suele ser más caro que uno para otro tipo de suspensión.

El diseño original de Earle McPherson tenía el amortiguador como elemento de guiado en la parte superior del buje y, en la inferior, dos elementos: un brazo transversal para soportar los esfuerzos trasversales, y el brazo de palanca de la estabilizadora para soportar los esfuerzos longitudinales. Este tipo de suspensión se ha utilizado hasta los años 80. Hay quien llama «falsa McPherson» o «pseudo» McPherson a cualquier variante de este tipo de suspensión.

La suspensión McPherson se usa en los dos ejes, pero es más frecuente en el delantero. Según el eje en el que esté tiene ciertas características:

McPherson en el eje delantero. Cuando una suspensión de tipo McPherson está en el eje de la dirección tiene como sujeción inferior, bien un triángulo o bien dos brazos que forman un triángulo.

McPherson en el eje trasero. Cuando hay una suspensión McPherson en

un eje que no tiene dirección, lo normal es que haya tres elementos inferiores de unión: dos brazos transversales y uno oblicuo o longitudinal.

#### 3.3.3.4. 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 o suspensión de triángulos superpuestos.

En este sistema de suspensión, la unión entre la rueda y la carrocería son elementos transversales, colocados en diferentes planos. Toma su nombre de los primeros sistemas de este tipo, en los que hay dos elementos superpuestos paralelos que, junto con la rueda y la carrocería, forman la aproximadamente la figura de un paralelogramo. Al moverse la rueda con relación a la carrocería, ese paralelogramo se «deforma». No todos los paralelogramos deformables son tan simples, los hay con varios elementos (hasta cinco) y no todos ellos transversales, también alguno oblicuo. El paralelogramo deformable es fácilmente visible en la suspensión delantera de un auto de Fórmula 1, como se muestra en la figura 3.33.



Figura 3.33. Suspensión de paralelogramo deformable

El paralelogramo deformable más común inicialmente tenía como elementos de unión dos triángulos superpuestos. Hay variantes de este sistema en el que se reemplaza un triángulo por otro elemento de unión; en esta suspensión, el plano inferior lo forman un brazo transversal (que hace de soporte para el muelle) y un brazo casi longitudinal. En esta suspensión hay un brazo curvo como elemento superior y un trapecio en el plano inferior.

En la figura 3.34 se muestran los paralelogramos deformables del tren posterior de un vehículo.

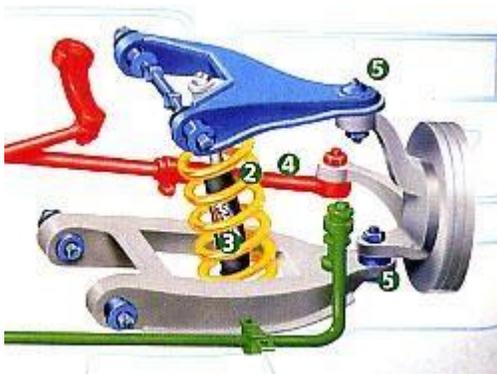


Figura 3.34. Paralelos deformables

### 3.3.3.5. 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 pueden tener anclajes elásticos mediante manguitos de goma. Gracias a esta variante, las multibrazo permiten modificar tanto los parámetros de la rueda, (la caída o la convergencia), de la forma más apropiada de cara a la estabilidad en las distintas situaciones de uso del automóvil.

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.

La figura 3.35 muestra una vista en planta del tren posterior de un vehículo equipado con un sistema de suspensión de tipo multibrazo.

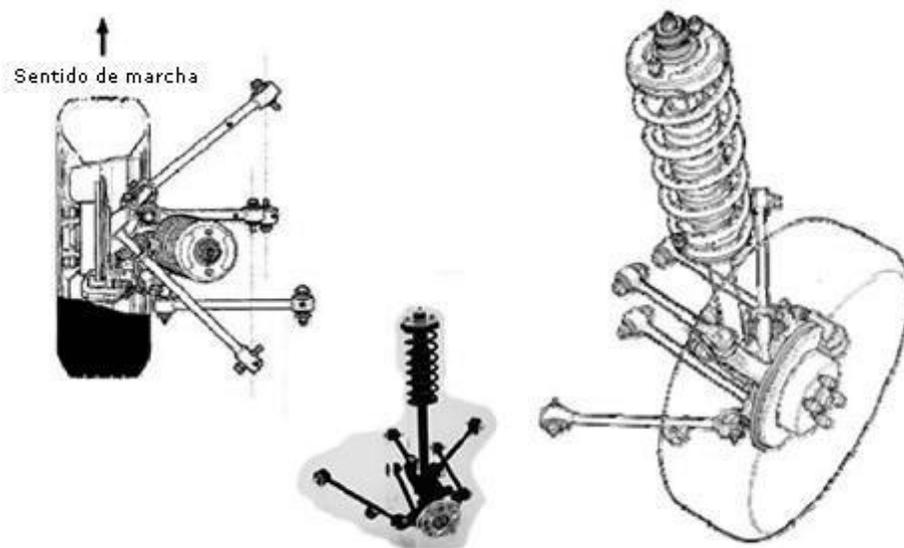


Figura 3.35. Suspensión multibrazo

## ANEXO 7

### 1.- INTRODUCCIÓN

---

El sistema de suspensión es una de las partes más importantes de cualquier vehículo. Afecta principalmente, al confort de los pasajeros, al fácil manejo, a la maniobrabilidad, al control del vehículo y a la capacidad de carga. De éstos los más importantes son: el confort de los pasajeros y el control del vehículo. Este último influye de manera importante en la seguridad.

La suspensión tiene seis funciones básicas:

1.- Reducción de las fuerzas provocadas por la irregularidad del terreno.

- 2.- Control de la dirección del vehículo.
- 3.- Mantenimiento de la adherencia de los neumáticos a la carretera.
- 4.- Mantenimiento de una correcta alineación de las ruedas.
- 5.- Soporte de la carga del vehículo.
- 6.- Mantenimiento la altura óptima del vehículo.

## 2.- SISTEMAS DE SUSPENSIÓN

---

Entre los distintos sistemas de suspensión, se pueden destacar las suspensiones pasivas y las activas.

### 2.1.- SUSPENSIONES PASIVAS: PROBLEMÁTICA

Tradicionalmente el tipo de suspensión que se monta en los vehículos es la suspensión pasiva. A grandes rasgos consiste en un sistema de muelle-amortiguador que trata de absorber las irregularidades del terreno. Ahora bien, este tipo de suspensión no alcanza un resultado suficientemente satisfactorio. Esto se debe a que, así como a nivel de confort de los pasajeros una suspensión blanda es la idónea, no lo es tanto a nivel de seguridad ya que se produce un balanceo excesivo en curvas y se favorece el cabeceo durante la frenada. Esto puede resultar peligroso para la seguridad de los pasajeros.

La solución a esta falta de seguridad pasaría por la utilización de una suspensión más rígida, que controlaría mucho mejor el balanceo en curva y el cabeceo, pero que, disminuiría en gran manera el confort de los pasajeros.

Este problema se resuelve parcialmente por un sistema de suspensión que permita conseguir una solución de compromiso aceptable entre la seguridad y el confort en la conducción.

### 2.2.- SUSPENSIONES ACTIVAS: LA SOLUCIÓN

Para resolver el inherente conflicto entre el soporte de carga efectivo, el confort del vehículo, al mismo tiempo que se mantiene un contacto suficiente entre neumáticos y se elimina el balanceo en curva y cabeceo en la frenada, se desarrolla la suspensión activa.

La suspensión activa ofrece una solución tecnológica muy avanzada para conseguir este reto. Estos sistemas se presentan como una respuesta a la necesidad para desarrollar vehículos seguros y capaces de combinar grandes niveles de confort, control y maniobrabilidad.

Las suspensiones activas constan de un sistema con un actuador hidráulico que puede generar fuerzas para compensar el balanceo y cabeceo del vehículo. Un computador electrónico se encarga de monitorizar constantemente (mediante 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.

Las suspensiones actuales están diseñadas para trabajar de forma progresiva, permitiendo así una mejor adaptación al nivel de carga del vehículo. Generalmente los amortiguadores tienen una característica de amortiguación específica, y por tanto, sus posibilidades de ajuste están limitadas a las diferentes cargas y condiciones de la carretera.

Sin embargo en las suspensiones activas esta característica de amortiguamiento es regulable gracias al sistema hidráulico y se consigue un reposicionamiento de la carrocería casi perfecto.

Uno de los parámetros que indica la calidad de una suspensión activa o semiactiva es el tiempo de respuesta. Cuanto menor sea éste, más rápidamente será capaz de reaccionar la suspensión ante una irregularidad del terreno, un frenazo o un giro brusco.

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. A pesar de que el sistema para altas frecuencias ya se ha diseñado, todavía no ha sido implementado, debido al coste que supone. Lo que se está utilizando ahora son las suspensiones semiactivas, que controlan las bajas frecuencias con elementos activos y las altas con pasivos.

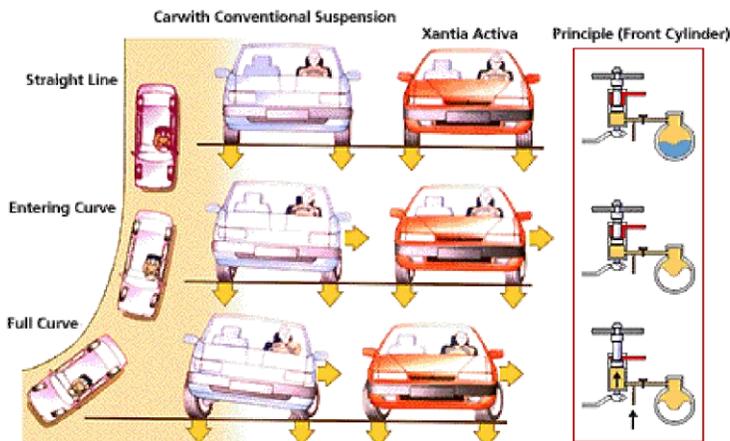


Figura 1: Suspensión pasiva vs. Suspensión activa

### 2.2.1.- Sistemas de ancho de banda a baja frecuencia

Se denominan también slow active, semi active o band-limited.

En general, consiste en un actuador en serie con un amortiguador y un muelle. El sistema permite controlar vibraciones en un rango de frecuencias de hasta 3-5 Hz, que corresponden al balanceo en curva y cabeceo durante la frenada, principalmente.

En rangos de frecuencias más altas el actuador se bloquea dejando en funcionamiento, únicamente, el muelle y el amortiguador, es decir, el nuevo conjunto se transforma en un sistema de suspensión pasiva.

Actualmente existen dos sistemas de ancho de banda a baja frecuencia que se desarrollan en vehículos de serie. Se trata de los sistemas construidos por Citroën (Sistema de Control Activo del Balanceo SC.CAR) y Mercedes Benz (Active Body Control). El primero de ellos consiste en sustituir el muelle y amortiguador por un actuador neumático y, el segundo, no lo sustituye, consta de un cilindro hidráulico dinámicamente regulable alineado con un muelle helicoidal y paralelo a un amortiguador.

Ambos sistemas se controlan, tal y como ya se ha dicho, de forma electrónica.

Para generar las fuerzas de compensación es necesario comprimir los muelles para lo cual se requiere mucha energía.

### 2.2.2.- Sistemas de ancho de banda a alta frecuencia

Se denominan también fully active suspensions. Con este método se puede controlar tanto las altas frecuencias (de 10 a 15 Hz) como las bajas frecuencias (de 3 a 5 Hz), por ello no existe el control pasivo tal y como ocurre en el caso anterior.

Generalmente este sistema consiste en la sustitución del muelle y el amortiguador por un accionador hidráulico que se encarga de ejercer las fuerzas de compensación, tanto para la reposición de la carrocería en el balanceo en curva y el control de balanceo en la frenada, como para aislar la carrocería de las irregularidades del terreno. En el esquema de la figura se muestra el funcionamiento.

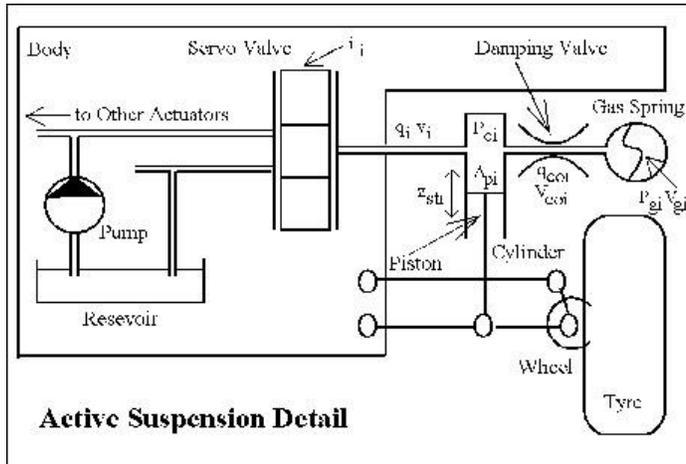


Figura 2: Esquema de suspensión activa de alta frecuencia

Este sistema está poco desarrollado y hoy en día todavía no se comercializa en los vehículos de serie, debido al gran coste de implantación y a que el consumo de energía es demasiado elevado.

### 3.- SISTEMAS ABC Y SC.CAR

#### 3.1.- Sistema SC.CAR

Todos los sistemas de suspensión de Citroën llevan instalados un sistema de suspensión neumática. Cada rueda está conectada a un muelle neumático, el cual tiene forma de esfera de acero presurizada. La esfera está llena de gas (nitrógeno) y de aceite separados por un diafragma de goma que se encuentra flotando. La presión del gas cuando no hay carga está entre 400 y 800 kPa. Cuando la rueda está cargada el aceite comprime al gas. Esto ocurre porque un pistón conectado a las ruedas desplaza el aceite. Entre el pistón y la esfera de gas se encuentra una válvula amortiguadora.

La primera novedad que presenta el sistema SC.CAR, es la conexión de cada rueda a una bomba hidráulica de alta presión (mayor de 2500 kPa) que se mueve gracias al motor. Cada unidad tiene entre ella y la bomba una válvula de control sensible a la altura.

Las válvulas permiten que un fluido circule por esa unidad cuando detectan que la altura de marcha es demasiado baja, debido por ejemplo a un aumento de carga o a un pasajero extra. Cuando la carga se reduce, las válvulas permiten el paso de un exceso de fluido, que en este caso retorna al tanque de reserva.

La capacidad de la bomba no tiene que ser muy elevada, se suele emplear la misma que la utilizada para proporcionar presión a los frenos.

Para una absorción normal de las irregularidades del terreno y de la inercia producida por la carga el sistema opera como si la suspensión fuera neumática simplemente. Ahora bien, para corregir errores de altura elevados y

cambios en la carga estática, entra en juego la parte activa del sistema. Esto permite que las frecuencias de la suspensión sean constantes.

Para evitar los problemas que aparecen al tomar una curva y los de cabeceo al frenar, el sistema SC.CAR ha desarrollado un sistema que reacciona tan rápidamente que es capaz de eliminar estos efectos. Así se consigue una suave amortiguación que favorece el confort de conducción.

En el interior de la válvula de control se encuentran tres elementos: la masa pendular, el amortiguador y el muelle secundario. Estos captan el movimiento de las ruedas, diferenciando si es debido a baches o a giros, para que la válvula actúe en consecuencia.

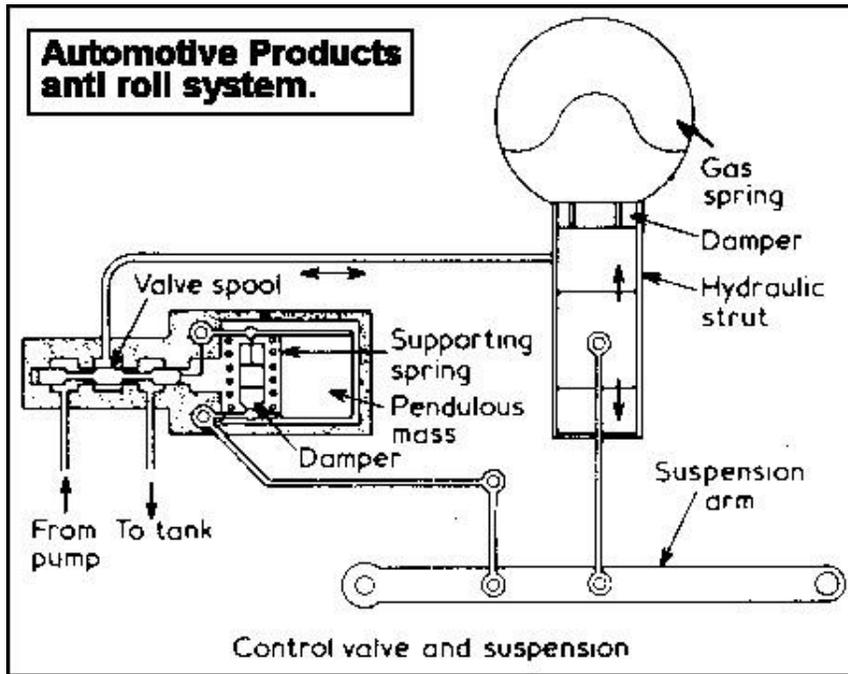


Figura 3: Esquema sistema SC.CAR

### 3.2.-Sistema ABC

El Active Body Control es un sistema activo de suspensión y amortiguación. De toda la parte portante estática y dinámica se encargan cuatro patas telescópicas dispuestas en las ruedas. En cada pata telescópica hay un cilindro dinámicamente regulable (émbolo buzo) alineado con un muelle helicoidal y paralelo a un amortiguador. Los cilindros hidráulicos generan al desplazarse fuerzas que contrarrestan los movimientos de la rueda.

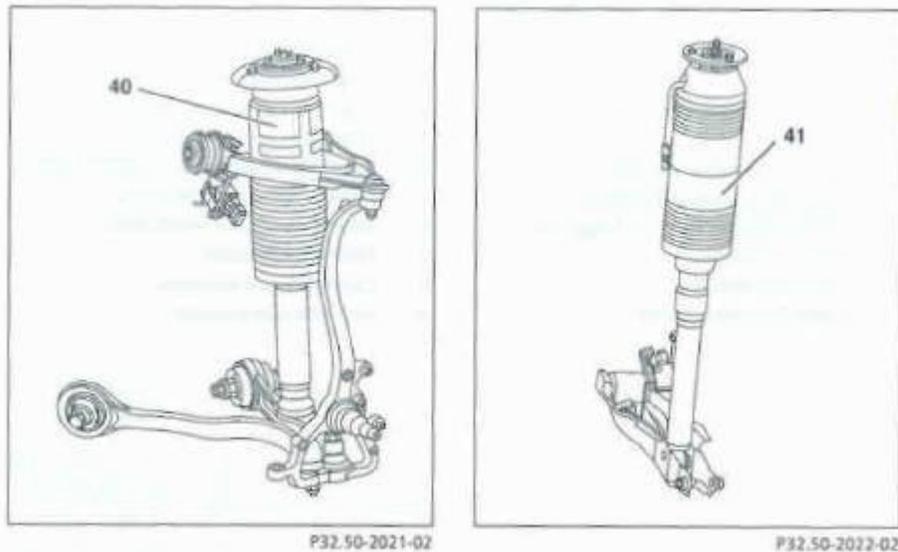


Figura 4: Esquema patas telescópicas de eje delantero (40) y trasero (41)

El ABC incluye las siguientes funciones adicionales:

?? La variación de nivel hace posible una operación manual y automática en función de la velocidad de subida / bajada del nivel del vehículo.

?? La regulación de nivel controla, según el respectivo estado de marcha y carga, el nivel del vehículo en los ejes delantero y trasero, manteniéndolo constante.

El sistema ABC incluye un sistema hidráulico que se encarga de generar las fuerzas de compensación, a través de los cilindros hidráulicos.

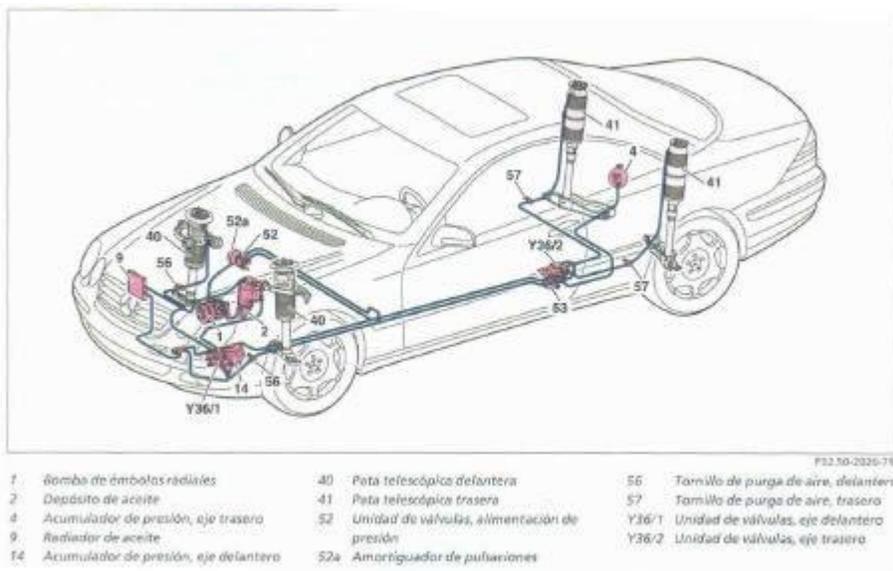


Figura 5: Disposición de componentes hidráulicos

Posee también un sistema electrónico que será el que se encargué de monitorizar las fuerzas de balanceo y realizar el cálculo de las fuerzas de compensación a aplicar por el sistema hidráulico.

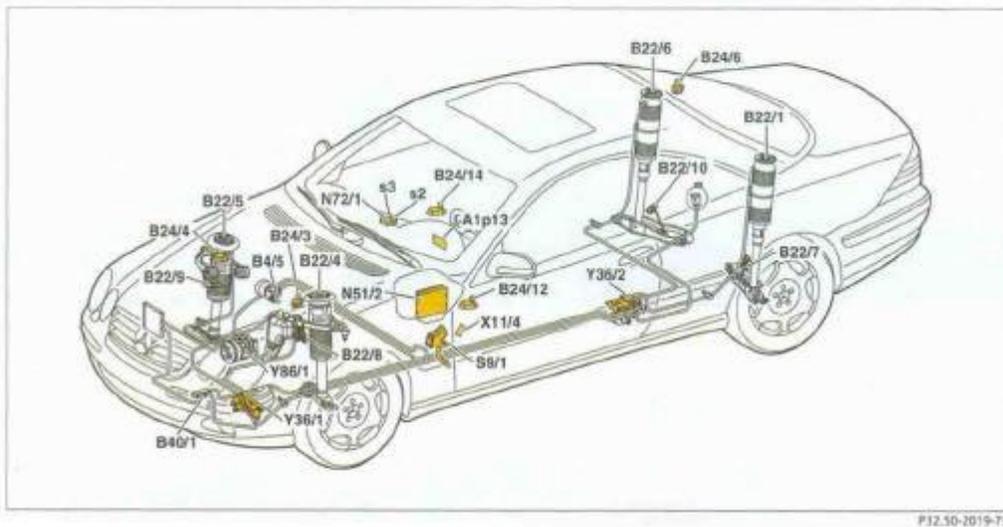


Figura 6: Disposición de componentes electrónicos

### 3.2.1.- Funcionamiento de la suspensión / amortiguación

La suspensión y la amortiguación en el sistema ABC es asumida, para los movimientos de la carrocería de baja frecuencia, (de hasta aproximadamente 5 Hz) por parte de un cilindro regulador hidráulico (cilindro de inmersión) en cada pata telescópica. Este cilindro regula adicionalmente el punto de pie del muelle helicoidal. De esta forma se reducen al mínimo los siguientes movimientos de la carrocería y se amortiguan óptimamente:

?? Movimientos en dirección vertical del eje del vehículo originados sobretodo por las irregularidades de la calzada.

?? Movimientos alrededor del eje transversal del vehículo (cabeceo) originados al frenar y acelerar, así como por ondulaciones de la calzada.

?? Movimientos alrededor del eje longitudinal del vehículo (balanceo) originados sobretodo por la circulación en curvas y por una calzada desigualmente llana a izquierda y derecha.

Las oscilaciones de mayor frecuencia de las ruedas se aíslan y amortiguan respecto a la carrocería, de forma convencional mediante elementos pasivos (muelles de acero y amortiguadores con un ajuste uniforme).

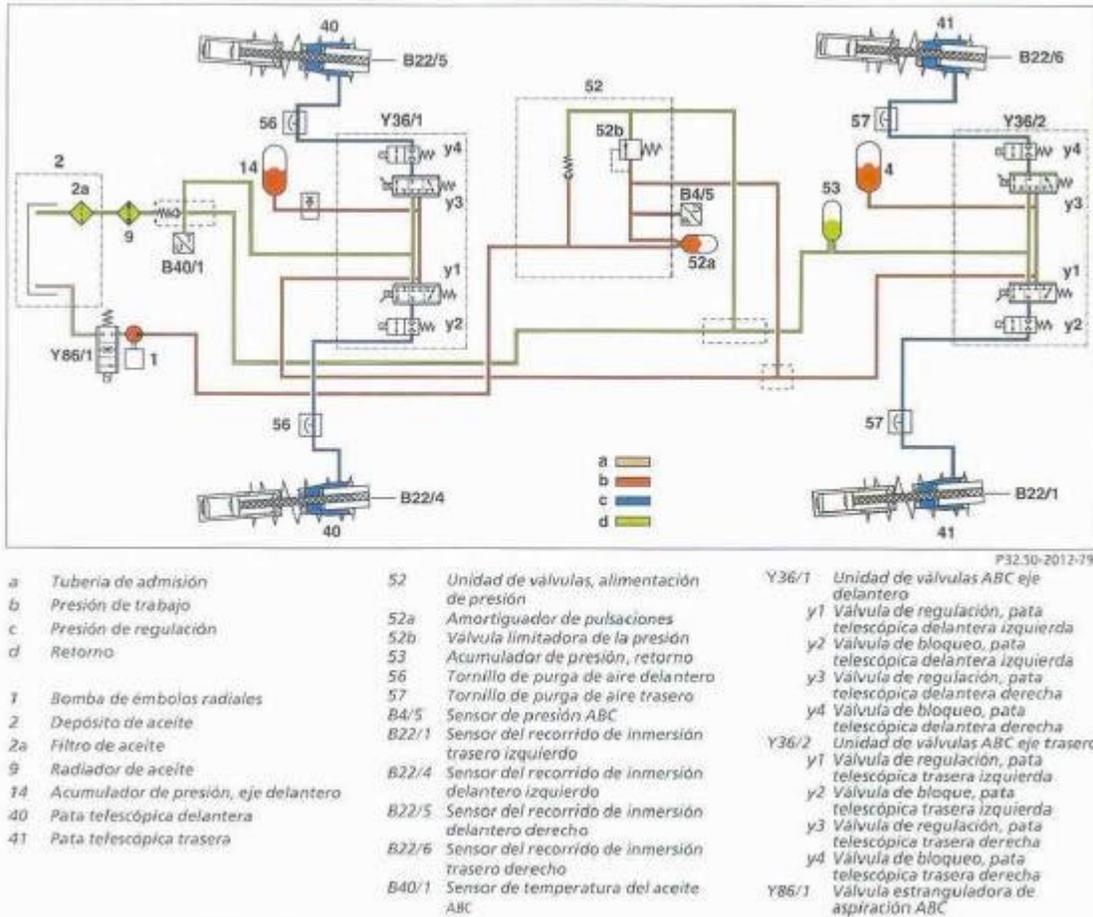


Figura 7: Esquema del circuito hidráulico de presión

Como se puede ver en el esquema anterior se distinguen tres unidades de válvulas diferenciadas correspondientes a los ejes delantero, trasero y la alimentación de presión. Además se pueden observar los circuitos de presión, de trabajo y regulación, así como los circuitos de tuberías de admisión y retorno.

### 3.2.5.- Patas telescópicas

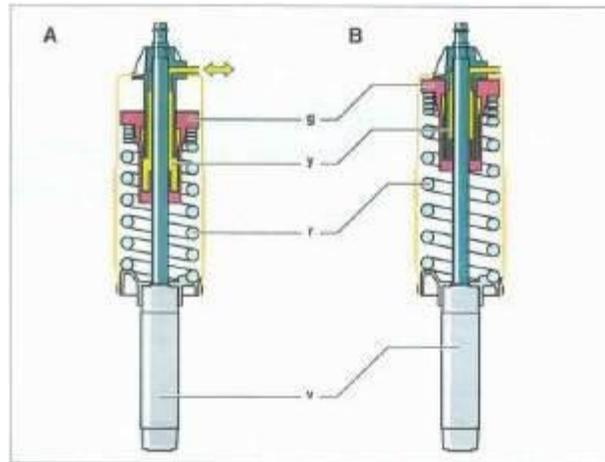
El peso del vehículo es sostenido por el aceite que hay en el cilindro hidráulico y por un muelle helicoidal alineado. Hacia el lado de la rueda, el muelle se apoya en un platino de un resorte firmemente unido al tubo del hidráulico y, hacia el lado de la carrocería, en un cilindro hidráulico de simple efecto (émbolo).

Mediante el desplazamiento del cilindro hidráulico hacia la pata telescópica y al modificarse el largo de ésta, se producen fuerzas adicionales con las cuales se influirá en la suspensión y en la amortiguación en un margen de frecuencia de hasta 5 Hz.

Estado normal

Estado sin presión

g Cilindro hidráulico r Muelle de acero v y Cámara de aceite



Amortiguador

Figura 11: Pata telescópica

La elevación y el descenso del nivel del vehículo tienen lugar al llenarse y vaciarse la cámara de aceite, con lo cual se acorta y se alarga la pata telescópica.

Para la salida o la retracción del cilindro hidráulico se bombea aceite a la pata telescópica o bien fluye aceite desde la pata telescópica al circuito del reflujo.

De la amortiguación de las oscilaciones de alta frecuencia de la rueda se encarga un amortiguador de presión de gas de doble tubo. El cilindro hidráulico se encarga de las oscilaciones de la estructura, de baja frecuencia.

#### 4.- VENTAJAS Y DESVENTAJAS

##### 4.1.- Desventajas

Tanto en el caso de los sistemas de ancho de banda de baja frecuencia, como en los de alta frecuencia, es necesario consumir una energía para producir las fuerzas de compensación. En general, esta energía consumida suele ser demasiado elevada, por ello, la suspensión activa no resulta rentable en vehículos de serie.

Para paliar este problema la Delft University of Technology ha desarrollado un sistema que reduce el consumo de energía al mínimo posible denominado Delft Active Suspension (DAS). Este sistema, en comparación con los sistemas ABC y SC.CAR antes descritos, varía en el sentido de desarrollo tecnológico, pero no así en el concepto funcional de la suspensión activa.

La esencia de este nuevo sistema consiste en un muelle precargado que está conectado a la rueda y una palanca conectada al conjunto.



Figura 12: Sistema DAS en funcionamiento

El coste del conjunto es un evidente problema. Hasta ahora este sistema se utilizaba comunmente en coches de fórmula 1 y prototipos, donde los costes no eran lo más importante. El problema es que en los coches en serie este elevado precio no atrae a suficiente mercado. Para disminuir el coste se han desarrollado actuadores y válvulas de control mucho más baratas. Se utilizan también amortiguadores especiales, equipados con un orificio variable que proporcionan una modulación continua del rango de disipación. Esto hace que sea innecesaria la introducción de energía.

Otros problemas con los que nos podemos encontrar son que pueden llegar a ser muy ruidosos, y tienen un tamaño excesivo, lo que lleva a una difícil colocación.

Ambos campos están hoy en día en vías de desarrollo.

#### 4.2.- Ventajas

Las suspensiones activas permiten la no inclinación del coche durante el giro en una curva, consiguiendo así que el conductor no pierda visibilidad y un mejor control del vehículo.

La capacidad de controlar el reparto de carga entre el eje delantero y trasero permite un mejor manejo del coche. Esto es posible debido a que el control de cada rueda es independiente, distribuyendo las fuerzas de compensación necesarias a cada una de las ruedas y manteniendo el mismo nivel entre el eje delantero y trasero. Este efecto es especialmente necesario en situaciones críticas en la conducción, en las que se necesita una seguridad en el control de la dirección. Así mismo, gracias a que la carga está distribuida en las cuatro ruedas del coche, la tendencia a sobrevirar y a subvirar disminuye.

En los sistemas de suspensión pasiva es necesario la colocación de unas barras estabilizadoras. Estas se encuentran montadas sobre el eje trasero y/o el delantero para evitar la tendencia del vehículo a inclinarse al tomar deprisa las curvas cerradas. Cuando se emplean los sistemas de suspensión activa, estas barras son innecesarias, ya que cada rueda es controlada individualmente. Esto permite una mejora en la conducción cuando el vehículo se encuentra sujeto a excitaciones asimétricas.

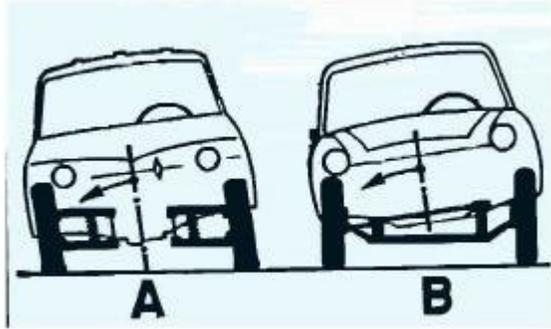


Figura 13: Efecto de barras estabilizadoras

La ausencia de inclinación del coche proporciona al conductor más

información acerca del estado del vehículo. Las fuerzas laterales actúan sobre

Otra ventaja es que el sistema activo permite una mejor adherencia de los neumáticos a la carretera, mejorando así la maniobrabilidad y la seguridad. Lo que se consigue es reducir el deslizamiento.

ANEXO 8

## RESORTE O MUELLE HELICOIDAL

Un resorte helicoidal, también conocido como un muelle helicoidal, es un dispositivo mecánico, que se utiliza normalmente para almacenar energía que posteriormente es liberada para absorber los golpes; es decir, mantienen una fuerza entre superficies de contacto. En otras palabras, se pueden definir como elementos mecánicos que se montan entre dos partes mecánicas de una máquina, con el fin de amortiguar impactos o de almacenar energía y devolverla cuando sea requerida.

Se puede decir, que los resortes helicoidales, soportan el peso de los vehículos y absorben el impacto de la condición de las carreteras; los mismos, aumentan la vida del amortiguador y otros componentes de suspensión incluyendo los neumáticos, junto con los amortiguadores componen el sistema de suspensión de los vehículos que mantienen los cauchos en contacto con la carretera.

De acuerdo con la Norma COVENIN 1103-98 “Automotriz. Resortes Helicoidales para Suspensión” los resortes helicoidales, son elementos que forman parte del sistema de suspensión de un vehículo automotor, que tiene como función absorber las ondulaciones producidas por las irregularidades en la vía. Trabaja únicamente a compresión.

## TIPOS DE RESORTES HELICOIDALES

Los resortes helicoidales se subdividen de la siguiente manera:

–**Resortes de Compresión:** los resortes de compresión son de bobina o espira abierta, destinados a soportar esfuerzos de compresión y choque, propiedad esta que les permite disminuir su volumen cuando se aumenta la presión ejercida sobre ellos, convirtiéndose en los dispositivos de almacenamiento de energía disponibles más



eficientes; representan la configuración más común utilizados en el mercado actual. Su fabricación se realiza a partir de alambre redondo, y sus formas pueden ser: cilíndrica, de barril cónico, convexo y otros tipos de perfil.

–**Resortes de Extensión:** los resortes de extensión se caracterizan por ser de bobina o espira cerrada, destinados a soportar esfuerzos de tracción cuando son sometidos a la acción de fuerzas opuestas que lo atraen, pueden usarse multitud de configuraciones y longitud del gancho, donde las vueltas unidas suministran la tensión inicial en el resorte para ayudar a manipular la carga y la velocidad. Sus aplicaciones varían desde pequeños equipos médicos hasta resortes de frenos para maquinaria pesada o automotores.

–**Resortes de Torsión:** en los resortes de torsión por lo general sus espiras son por lo general cerradas, están destinados a soportar esfuerzos laterales o deformación helicoidal cuando se le aplica un par de fuerzas paralelas de igual magnitud y sentido contrario, ofrecen resistencia a la aplicación de torque externo. Los resortes de torsión de tipo especial incluyen los de doble torsión y los que tienen un espacio entre las vueltas para minimizar la fricción.

De acuerdo con la norma COVENIN 1103-98 “Automotriz. Resortes Helicoidales para Suspensión” los resortes helicoidales se clasifican de la siguiente manera:

–**Según sus espiras de apoyo:**

1. Terminal plano (Con despalmado y sin despalmado)
2. Terminal “Rabo de Cochino” o diámetro reducido
3. Terminal libre
4. Terminal en forma de “J”

–**Según su configuración**

1. Dos terminales planos
2. Dos terminales libres
3. Dos terminales "Rabo de Cochino"
4. Un Terminal plano, un Terminal "Rabo de Cochino"
5. Un Terminal plano, un Terminal libre
6. Un Terminal libre, un Terminal "Rabo de Cochino"
7. Un Terminal "Rabo de Cochino", un Terminal en forma de "J"

**–Según su constante elástica**

1. De constante elástica fija
2. De constante elástica variable

## **MATERIALES DE FABRICACIÓN DE LOS RESORTES HELICOIDALES**

El material ideal para resortes, tiene que poseer una resistencia máxima elevada, así como un elevado punto de fluencia y un módulo de elasticidad bajo; todo esto para proporcionar el máximo almacenamiento de energía. Para ofrecer un servicio ligero los mismos son fabricados de alambre estirado en frío, redondo o rectangular, o de cinta delgada rolada en frío y plana.

Los resortes para servicio pesado como las piezas de suspensión de los vehículos se fabrican de formas laminadas en caliente o forjadas. La resistencia requerida de los materiales para resortes se obtiene por proceso de endurecimiento que puede ser durante estirado o formado en frío (pieza de sección transversal reducida) o con tratamiento térmico. La resistencia del material suele incrementarse conforme se reduce el tamaño de la sección transversal.

Las aleaciones de acero inoxidable, aceros de medio y alto carbono y de aleación (AISI 1050, 1065, 1074 y 1095) son los materiales comunes de resortes, igual que las aleaciones de cobre, cobre al berilio y bronce fosforado. Los resortes se

fabrican de alambre redondo o rectangular doblado según una forma adecuada de espira o con material plano cargado con una viga.

Nombre común	Especificación	Módulo Elástico, E, psi	Módulo de elasticidad cortante, G, psi	Densidad, $\rho$ , lbf/in. <sup>3</sup>	Máxima temperatura de servicio °F	Principales características
<b>Aceros alto contenido en carbono</b>						
Alambre de piano	ASTM A228	30 x 10 <sup>6</sup>	11.5 x 10 <sup>6</sup>	0.283	250	Alta resistencia; excelente vida a la fatiga
Estirado en frío	ASTM A227	30 x 10 <sup>6</sup>	11.5 x 10 <sup>6</sup>	0.283	250	Uso general; pobre vida a la fatiga
<b>Aceros inoxidables</b>						
Martensítico	AISI 410, 420	29 x 10 <sup>6</sup>	11 x 10 <sup>6</sup>	0.280	500	No satisfactorio para aplicaciones sub-cero
Austenítico	AIAI 301, 302	28 x 10 <sup>6</sup>	10 x 10 <sup>6</sup>	0.282	600	Buena resistencia a temperaturas moderadas; baja relajación de esfuerzos
<b>Aleaciones con base cobre</b>						
Latón para resorte	ASTM B134	16 x 10 <sup>6</sup>	6 x 10 <sup>6</sup>	0.308	200	Bajo costo; alta conductividad; propiedades mecánicas deficientes
Bronce fosforado	ASTM B159	15 x 10 <sup>6</sup>	6.3 x 10 <sup>6</sup>	0.320	200	Capacidad para soportar flexiones repetidas; aleación muy común.
Cobre al berilio	ASTM B197	19 x 10 <sup>6</sup>	6.5 x 10 <sup>6</sup>	0.297	400	Alta resistencia elástica y a la fatiga; Templable
<b>Aleaciones con base níquel</b>						
Inconel 600	-	31 x 10 <sup>6</sup>	11 x 10 <sup>6</sup>	0.307	600	Buena resistencia; Alta resistencia a la corrosión
Inconel X-750	-	31 x 10 <sup>6</sup>	11 x 10 <sup>6</sup>	0.298	1100	Endurecimiento por precipitación; para altas temperaturas
Ni-Span C	-	27 x 10 <sup>6</sup>	9.6 x 10 <sup>6</sup>	0.294	200	Módulo constante sobre un amplio rango de temperatura

## REQUISITOS DE LOS RESORTES HELICOIDALES

Los materiales empleados en la fabricación de resortes helicoidales deben ser los apropiados para que el producto final cumpla con todos los requisitos establecidos. A continuación se mencionan algunos de los requisitos que deben cumplir los resortes helicoidales.

**Apariencia:** deben presentar una superficie lisa, libre de exfoliaciones, fisuras, ampollas de oxido, pliegues de laminación, inclusiones no metálicas o cualquier otro defecto similar que afecte su normal funcionamiento.

**Carga:** los resortes helicoidales ensayados según el punto 8.2 de la presente norma, debe presentar una tolerancia de carga nominal en función de la constante elástica.

**Fatiga:** no deben fracturarse y la pérdida de carga no debe ser mayor al 10%, cuando sean sometidos a 100.000 ciclos para el caso de resortes helicoidales usados en automóviles de pasajeros y 70.000 para el caso resortes helicoidales a ser usados en vehículos comerciales.

**Dimensiones:** el diámetro interior o exterior de los resortes helicoidales (según sea el caso) debe cumplir con lo especificado en la siguiente tabla:

<b>Diámetro interior o exterior (mm)</b>	<b>Tolerancia (mm)</b>
≤115	±0,8
>115	±1,5

Fuente: COVENIN 1103-98

## **ESFUERZOS EN RESORTES HELICOIDALES**

**Esfuerzo de compresión:** Hace que se aproximen las diferentes partículas de un material, tendiendo a producir acortamientos o aplastamientos. Cuando nos sentamos en una silla, sometemos a las patas a un esfuerzo de compresión, con lo que tiende a disminuir su altura.

**Esfuerzo cortante:** es el esfuerzo interno o resultante de las tensiones paralelas a la sección transversal de un prisma mecánico como por ejemplo una viga o un pilar. Este tipo de sollicitación formado por tensiones paralelas está directamente asociado a la tensión cortante.

**Esfuerzo de torsión:** Las fuerzas de torsión son las que hacen que una pieza tienda a retorcerse sobre su eje central. Están sometidos a esfuerzos de torsión los ejes, las manivelas y los cigüeñales.

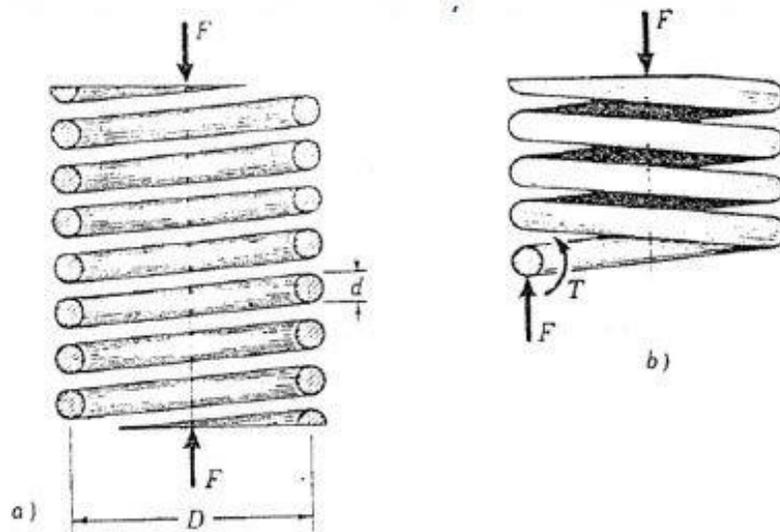
**Esfuerzo de tracción:** Hace que se separen entre sí las distintas partículas que componen una pieza, tendiendo a alargarla. Por ejemplo, cuando se cuelga de una

cadena una lámpara, la cadena queda sometida a un esfuerzo de tracción, tendiendo a aumentar su longitud.

Al comprimir un resorte de compresión mediante una carga axial, el alambre se tuerce. Por consiguiente, el esfuerzo desarrollado en el alambre es un esfuerzo cortante por torsión, y se puede calcular a partir de la ecuación clásica  $t = Tc/J$ .

Cuando la ecuación se aplica en forma específica a un resorte helicoidal de compresión. Se necesitan algunos factores por modificación, para considerar la curvatura de alambre del resorte y el esfuerzo cortante directo que se crea cuando las espiras resisten la carga vertical. También conviene expresar el esfuerzo cortante, en función de las variables de diseño manejadas con los resortes. Se considerara el esfuerzo cuando el resorte trabaje con su carga normal máxima.

En la figura se muestra un resorte helicoidal de alambre redondo con carga axial  $F$ . Si se secciona el resorte se nota claramente que la sección del corte esta sometida a una cortante  $F$  y a un momento de torsión  $T$ .



El esfuerzo máximo en el alambre se calcula por:

$$\tau = \pm \frac{Tr}{J} + \frac{F}{A}$$

Componente de torsión                      Componente de cortante

En donde:

$$T = \frac{FD}{2} \quad r = \frac{D}{2} \quad J = \frac{\pi d^4}{32} \quad A = \frac{\pi d^2}{32}$$

Sustituyendo se tiene:

$$\tau = \frac{8FD}{\pi d^3} + \frac{4F}{\pi d^2}$$

Ahora se define el índice de resorte como una medida de la curvatura.

$$C = \frac{D}{d}$$

Para la mayoría de resortes

$K_s$  está entre 6 y 12

Y la ecuación del esfuerzo cortante queda como sigue:

$$\tau = K_s \frac{8FD}{\pi d^3}$$

En donde:

$$K_s = \frac{2C+1}{2C}$$

## APLICACIÓN DE LOS RESORTES HELICOIDALES

Las aplicaciones de los resortes son muy variadas entre las mas importantes pueden mencionarse las siguientes:

- Como elementos absorbedores de energía o cargas de choque, como por ejemplo en chasis y topes de ferrocarril.
- Como dispositivos de fuerza para mantener el contacto entre elementos, tal como aparece en los mecanismos de leva y en algunos tipos de embragues.
- En sistemas de suspensión y/o amortiguación, percibiendo la energía instantánea de una acción externa y devolviéndola en forma de energía de oscilaciones elásticas.
- Como elemento motriz o fuente de energía, como en mecanismos de reloj y juguetes, dispositivos de armas deportivas, etc.
- Como absorbedores de vibraciones.

Los resortes helicoidales tienen una importante aplicación en casi toda las máquinas o dispositivos, desde los resortes más pequeños como los utilizados en los pines de chapas de llave, hasta los más grandes como los que se utilizan en las locomotoras y máquinas mineras. Sus aplicaciones se pueden clasificar de la siguiente manera:

**Aplicación industrial:** En la industria se requieren los resortes como repuesto de la maquinaria, en la que no se pueden establecer diseños patrones como los tornillos. La industria también requiere de resortes cuando éste es un componente de su producción, como en las fábricas de interruptores eléctricos, en las fábricas de filtros, ganchos de ropa, balanzas tipo romana, electrodomésticos, válvulas reguladoras de gas, cilindros de gas, lapiceros, etc.

**Aplicación automotriz:** En el campo automotriz se requieren los resortes para las aplicaciones en: Suspensión, embragues, frenos, válvulas del motor, capota de la carrocería, sistemas de manijas de las ventanas, limpiaparabrisas, asientos, etc.

**Aplicación militar:** En el campo militar los resortes se aplican en los armamentos ligeros, armamentos pesados y vehículos. En los armamentos ligeros destacan los resortes de las sub-amatrelladoras, pistolas automáticas, escopetas, etc.; en los armamentos pesados se encuentran en los equilibradores de obuses, amortiguadores de retroceso de cañones, entre los más importantes; y en los vehículos ligeros y pesados los mismos que los de la industria automotriz con el adicional del armamento que llevan en sí.

**Aplicación en la Minería y Ferrocarriles:** Se encuentran aquí los resortes mas grandes y también los más exigidos como: Las zarandas vibradoras, molino de conos, chancadoras de quijada; y los menos exigidos como en los carritos mineros, jaula de leona, etc.

En los ferrocarriles se utilizan los resortes principalmente en la suspensión de las locomotoras y de los vagones, en las que normalmente se montan resortes uno dentro del otro (tipo tandem), además se encuentran resortes en los motores, en los sistemas de acoplamiento, etc.

**Otras aplicaciones:** Se puede mencionar otras aplicaciones de los resortes en los sistemas levadizos de las puertas de car-port, como amortiguación de los ascensores; y finalmente vale mencionar la aplicación de los resortes en las electroválvulas y sistemas electrónicos de control de procesos automáticos, donde el resorte trabaja como dinámometro y en la que se requiere una alta precisión para que actúe como elemento mecánico dentro de la sofisticación de la automática.

## ANEXO 9

Motor Giga. (2016). Rótula Uniball. 05 de Octubre del 2018, de Motor Giga Sitio web:

<https://diccionario.motorgiga.com/diccionario/rotula-definicion-significado/gmx-niv15con195437.htm>

### RÓTULA - Definición - Significado

Elemento propio de las suspensiones y del sistema de palancas de la dirección que consiste en una articulación con 3 tipos de movimientos. Permite rotaciones de los brazos unidos a la misma, alrededor de 3 ejes perpendiculares entre sí. En la práctica, dos de las rotaciones tienen un ángulo limitado, mientras que la tercera posee un ángulo de 360°. Además de sus aplicaciones principales ya citadas, se utiliza en los reenvíos de la barra antibalanceo, en tirantes y en otros puntos. La introducción de las rótulas se produjo en los años cincuenta. Anteriormente, se usaban exclusivamente casquillos cilíndricos que permitían la rotación alrededor de un solo eje; por tanto, las manguetas delanteras, para permitir los rebotes de las ruedas y el cambio de dirección, tenían que ir montadas con 2 casquillos cada una, como mínimo, a 90° entre sí, en cada extremo. Generalmente, se empleaban 6 casquillos. Con las rótulas, dicha cantidad se redujo a 2.

La rótula consta de una semiesfera con un vastago cónico roscado por un extremo: la forma de este vastago es semejante a la de un hongo. La parte esférica está encerrada en un casquillo, también esférico, y es lubricada por una capa fina de material autolubrificante, como el PTFE. Generalmente, la parte cónica se introduce en un agujero del brazo de las suspensiones, mientras que el casquillo que protege la parte esférica está sujeto con tornillos en un asiento que lleva la mangueta. Para los demás grupos, las uniones pueden realizarse de una manera diferente.

Una rótula especial es el tipo Uniball, empleado principalmente en los coches de competición por los grandes ángulos de giro que permite.





# **FORTUNER**

**UN TODO TERRENO DE VERDAD**



[www.toyota.com.ec](http://www.toyota.com.ec)



**TOYOTA**

## DISEÑO EXTERIOR



El Fortuner redefine el concepto de un 4x4 REAL, por su performance Off Road gracias a su chasis reforzado. Su diseño conjuga estilo y tecnología hasta en los más pequeños detalles.

Destaca su nueva mascarilla que se combina con los faros delanteros Bi- Halógenos con sistema PES (Projector Ellipsoid System).



Faros delanteros Bi-Halógenos



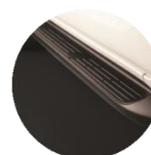
Retrovisores con Luz diurna



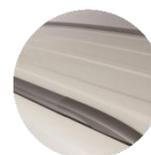
Faros posteriores led high tech



Aleón con tereza Luz de stop



Estribos laterales



Redes en el Techo

## DISEÑO INTERIOR



Espacio interior amplio y cómodo con capacidad para 7 pasajeros en 3 filas de asientos con sistema Space-Up y sistema abatible One Touch.

Versatilidad interior para todo tipo de viaje en la ciudad o fuera de ella, con equipaje o cualquier tipo de carga.



Asientos con sistema Space Up



Asientos abatibles One Touch



Aire acondicionado para las 3 filas

de asientos

## DESEMPEÑO Y EQUIPAMIENTO



Está disponible en 2 versiones: manual de 5 velocidades y automática I-Shift de 6 velocidades optimizadas para todo tipo de terreno.

¡Este vehículo es un 4x4 de verdad! Con chasis reforzado y suspensión preparada para enfrentar caminos difíciles y desafiantes. Incluye un sistema Multimedia de última generación Android, pantalla multi-información **frontal**, sensores de parqueo y cámara de reversa, con sus controles de audio al volante todo lo que le permite versatilidad y seguridad al conducir.



Motor 2.700cc  
DOHC, 16 válvulas  
163 HP DUAL VTI



Controles de audio  
en el volante



Pantalla  
Multi-información  
frontal



Modo de  
conducción ECO  
& POWER



Selector  
automático de 4x4

## SEGURIDAD

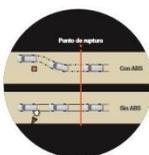


El Fortuner cuenta con sistemas de seguridad avanzados, cómo son frenos ABS (sistema de frenos antibloqueo), EBD (distribución electrónica de frenado) junto con el BA ( asistente de frenado) logran detenerse por completo en una distancia menor, EBD (Distribución electrónica de frenado), control de Estabilidad VSC, control de Tracción TRC, control de balance de remolque TSC y asistente de arranque en pendiente HAC.

Cuenta con 11 airbags: 2 frontales, 2 laterales, 6 de cortina, y 1 de rodilla para el conductor.



Anclajes para asiento  
infantil ISOFIX



Frenos ABS con EBD



11 Airbags



Control de Tracción (TRC)

## VERSIÓN 4.0 V6



**VERSIÓN 4.0 V6:** El Fortuner cuenta con una versión de 4.000 cc y 6 cilindros en V, brindando la potencia ideal para un todo terreno de verdad además de incluir un equipamiento especial para una conducción cómoda y segura.

Faros delanteros con luz led de alto alcance

Llave inteligente con sistema smart entry y smart start

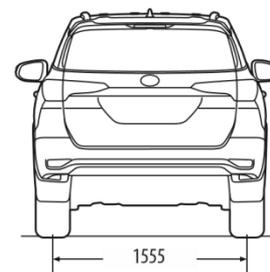
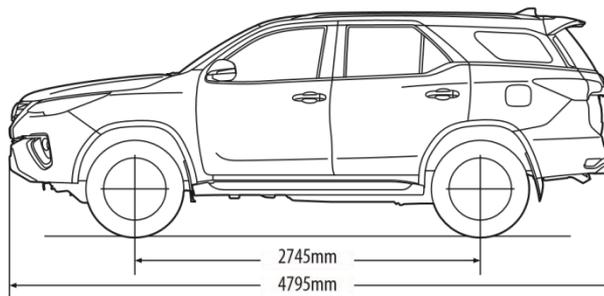
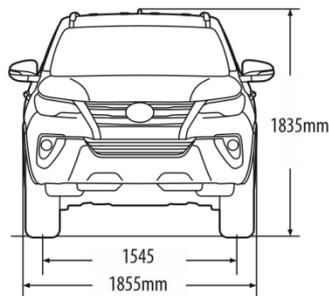
Ganterera con sistema coolbox

Pantalla multi-información TFT a color de 4.2"

Climatizador automático

Volante de madera y cuero con paletas de cambio

Puerta posterior de apertura y cierre automático



**Servicio**  
 **TOYOTA**



En Toyota "El Cliente siempre es lo primero" y en base a esta filosofía trabajamos para brindar el mejor servicio, buscando la satisfacción de nuestros clientes.

El **mejoramiento continuo**, tanto de los vehículos Toyota como del servicio que se brinda a los clientes, se fundamenta en un personal especializado, capacitado periódicamente, tanto para dar un correcto mantenimiento a los vehículos como para brindar soluciones proactivas y satisfacer necesidades.

Los talleres Toyota están equipados con la más alta tecnología de la industria automotriz, garantizando que el trabajo realizado a su vehículo sea de su total satisfacción.

## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Modelo	TOYOTA Fortuner 2.7 4x4 TM	TOYOTA Fortuner 2.7 4x4 TA	TOYOTA Fortuner 4.0 4x4 TA
Cilindraje (cc)	2694		3956
Mecanismo Valvular	DOHC, 16 válvulas, 4 cilindros en línea, DUAL VVT-i		DOHC, 24 válvulas, 6 cilindros en V, VVT-i
Potencia (Hp@rpm)	163 @ 5200		235 @ 5200
Torque (Nm@rpm)	245 @ 4000		376 @ 3800
Tipo	Manual de 5 velocidades + Reversa	Automática de 6 velocidades + Reversa	Automática de 6 velocidades + Reversa
Tipo	4x4 con caja reductora		4x4 con caja reductora
Delanteros	Discos Ventilados 17'		Discos Ventilados 17'
Posteriores	Discos Ventilados 15'		Discos Ventilados 15'
Delantera	Independiente McPherson de doble horquilla con barra estabilizadora		Independiente McPherson de doble horquilla con barra estabilizadora
Posterior	Eje rígido con espirales y brazos múltiples		Eje rígido con espirales y brazos múltiples
Alerón Posterior	Si, color carrocería		Si, color carrocería
Apertura Compuerta Trasera	Manual		Eléctrica
Espejo Retrovisor Exterior	Eléctricos abatibles color carrocería con luz direccional incorporada		Eléctricos abatibles color carrocería con luz direccional incorporada y luz de bienvenida
Estribos	Si		Si
Llantas	265 / 65 R17 AT		265 / 65 R17 AT
Manijas Puertas	Color Carrocería		Cromado
Neblineros	No (Opcional - Accesorio)		Si
Sistema de Luces	Bi-Halógeno con función AUTO		Bi-LED con función AUTO
Aire Acondicionado	Si, Control Manual para las tres filas de asientos		Si, Control Automático para las tres filas de asientos
Asientos Delanteros	Conductor regulable en altura, deslizable y reclinable		Conductor regulable en altura, deslizable y reclinable
Asientos Posteriores	60:40 Reclinables, deslizables y abatibles sistema "One Touch"		60:40 Reclinables, deslizables y abatibles sistema "One Touch"
Bloqueo Central Inalámbrico	Si, en la llave tipo navaja		Si, Smart Entry
Controles en el volante	Si, Teléfono y Audio		Si, Teléfono, Audio y Pantalla Multinformación
Encendido sin Llave	No		Si, Smart Start
Pantalla Multinformación	Si, monocromática		Si, pantalla TFT a color de 4,2'
Parlantes	6		6
Sistema de Audio	Radio Pantalla Touch, MP3, USB, AUX, DVD		Radio Pantalla Touch, MP3, USB, AUX, DVD



Tercera Fila de Asientos	Si, Reclinables con sistema abatible "Space-Up"	Si, Reclinables con sistema abatible "Space-Up"
Tomacorrientes 12V	Si (3)	Si (3)
Volante Material	Uretano	Cuero y madera
<b>SEGURIDAD</b>		
Airbags	11	11
Anclaje para Asiento Infantil (ISOFIX)	Sí	Sí
Asistente de arranque en pendientes (HAC)	Sí	Sí
Bloqueo de Diferencial	Sí	Sí
Carrocería con deformación programada (GOA)	Sí	Sí
Control de Balance de Remolque (TSC)	Sí	Sí
Control de Tracción TRC	Sí	Sí
Control electrónico de estabilidad (VSC)	Sí	Sí
Inmovilizador	Sí	Si, con botón de pánico
Sistema de Frenos ABS+EBD+BA	Sí	Si
Capacidad Tanque de Combustible (litros)	80	80
Capacidad de Pasajeros	7	7
Peso Bruto (kg)	2620	2650

## COLORES DISPONIBLES

BLANCO

BLANCO PERLA

PLATEADO

PLOMO

NEGRO

BRONCE

CAFÉ

A



Imágenes referenciales de uso exclusivo para fines publicitarios. Especificaciones pueden variar sin previo aviso.



/ToyotaEcuador



@ToyotaEcuador



/ToyotaEcuadorTV

CONOCE MÁS DE FORTUNER,  
INGRESA A:



[www.toyota.com.ec](http://www.toyota.com.ec)

