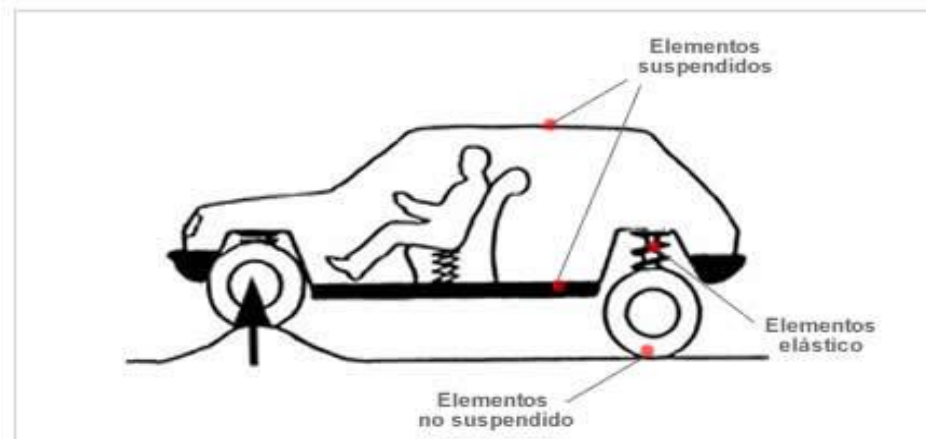


SISTEMA DE SUSPENSIÓN

Se llama suspensión al conjunto de elementos elásticos que se interponen entre los órganos suspendidos (bastidor, carrocería, pasajeros y carga) y los órganos no suspendidos (ruedas y ejes). Tiene como objetivo absorber las desigualdades del terreno sobre el que se desplaza el vehículo a la vez que mantiene las ruedas en contacto con el pavimento, proporcionando un adecuado nivel de confort y seguridad de marcha.

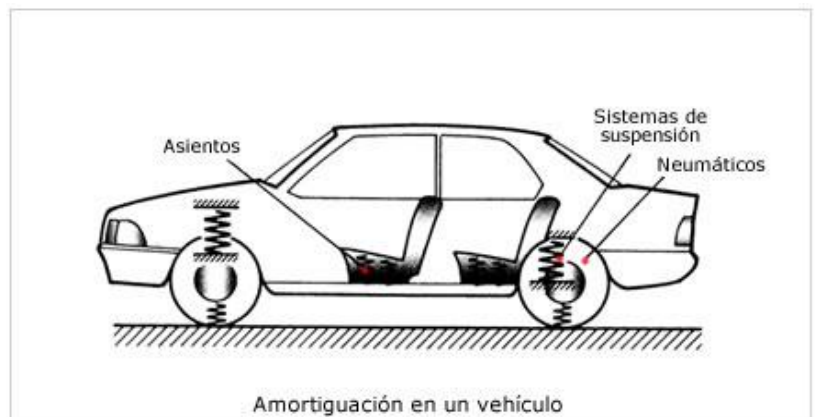
Además también es necesario que cumplan con otras funciones complementarias:

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



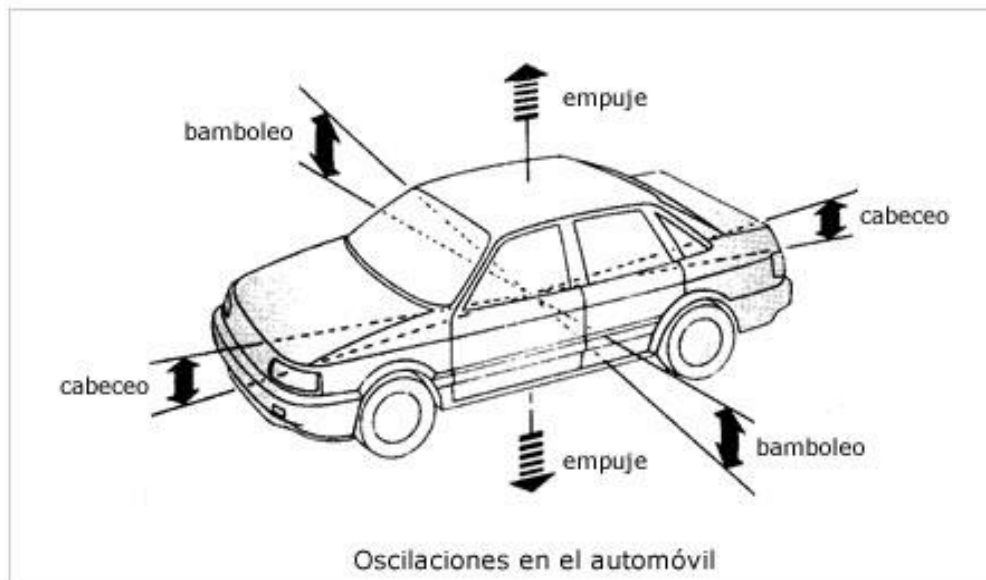
Cuando el vehículo circula por un terreno irregular, las ruedas están sometidas a una serie de impactos que se transmiten a la carrocería a través de los elementos de unión. Si el terreno es llano, las pequeñas irregularidades del mismo son absorbidas por la elasticidad de los neumáticos. Cuando las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

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



TIPOS DE OSCILACIONES EXISTENTES SERIAN:

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



CARACTERÍSTICAS QUE DEBE REUNIR LA SUSPENSIÓN

Deben ser muy elásticos, para permitir que las ruedas se adapten continuamente al terreno sin separarse de él.

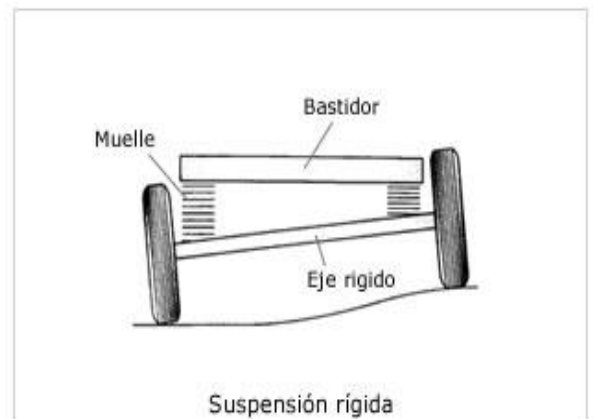
- Un muelle blando tiene gran recorrido y pequeño número de oscilaciones bajo la carga, mientras que.
- Un muelle duro tiene menor recorrido y mayor número de oscilaciones. Este mismo efecto se manifiesta al variar la carga que gravita sobre el muelle.



TIPOS DE MECANISMOS DE SUSPENSIÓN

SUSPENSIÓN RÍGIDA.- Las primeras suspensiones estaban formadas por un "eje rígido" en cuyos extremos se montaban las ruedas. Como consecuencia de ello, todo el movimiento que afecta a una rueda se transmite a la otra del mismo eje. En la figura inferior podemos ver como al elevarse una rueda, se extiende su inclinación al eje y de este a la otra rueda. Como el eje va fijado directamente sobre el bastidor, la inclinación se transmite a todo el vehículo.

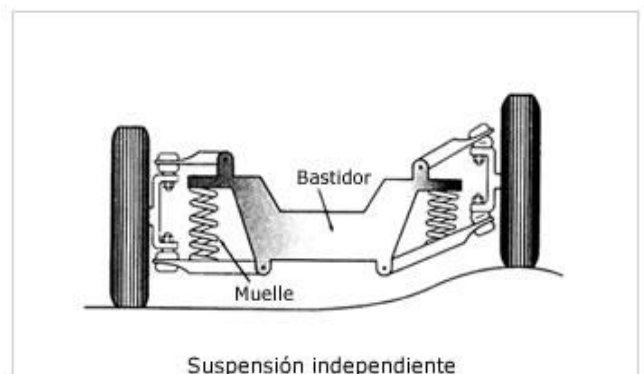
Este montaje es muy resistente y más económico de fabricar, pero tiene la desventaja de ser poco cómodo para los pasajeros y una menor seguridad.



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

CLASES DE SUSPENSIÓN EXISTENTES:

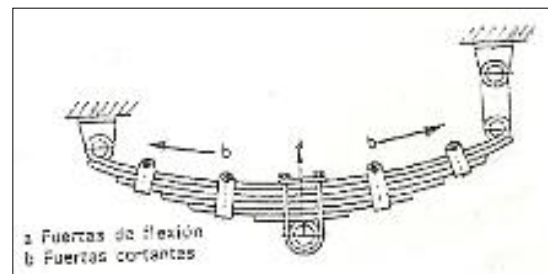
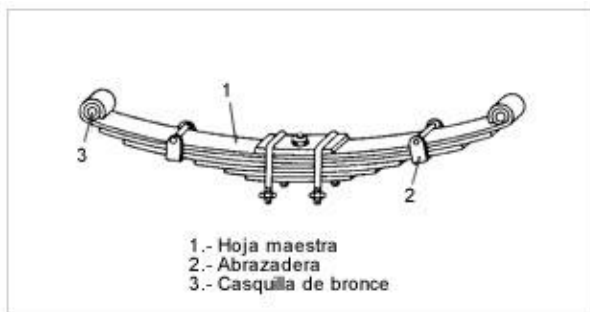
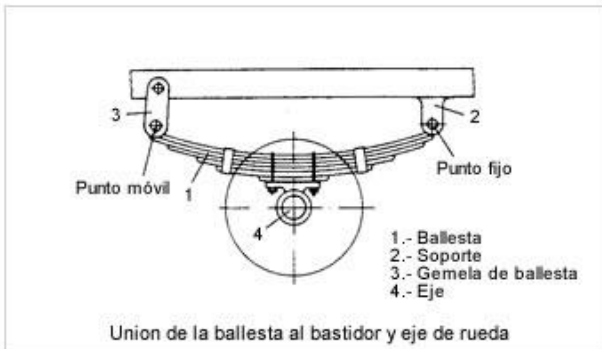
- SUSPENSIÓN HIDRACTIVA
- SUSPENSIÓN ADAPTATIVA
- SUSPENSIÓN ACTIVA Y SEMIACTIVAS
- SUSPENSIÓN MAGNETORREOLÓGICAS



CARACTERISTICA DE LOS MUELLES

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

1. Muelles Tipo Ballesta



1.1. Carga sobre ballesta

- Las ballestas experimentan esfuerzos de flexión y la resistencia a la flexión permisible en las ballestas debe estar entre 50 y 80 kg/mm². Para grandes cargas se requieren varias hojas.
- La carga permisible en el caso de sus extremos apoyados y la carga gravando en su centro, se calcula en función de la sección transversal y la longitud de la ballesta.

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

**$F_b = \text{N}^\circ \text{ de hojas} \times \text{Ancho de hoja} \times \text{Espesor de hoja al cuadrado} \times \text{Resistencia a la flexión}$
Séxtuplo de la longitud de la ballesta**

$$F_b = \frac{n \cdot b \cdot e^2 \cdot \sigma}{6 \cdot l}$$

Donde:

F= Semicarga del muelle en cada extremo.

n= Número de hojas del muelle.

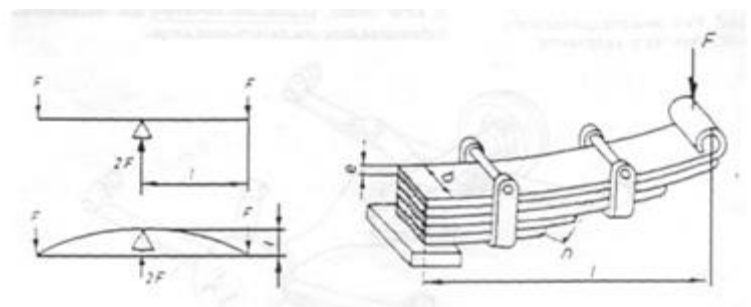
l: Longitud de la semicuerda en mm.

b: Ancho de las hojas en mm.

e: espesor de las hojas en mm.

σ : Esfuerzo de la flexión bajo la carga

F: Su valor oscila entre 40-60 kg/mm² bajo carga estática.

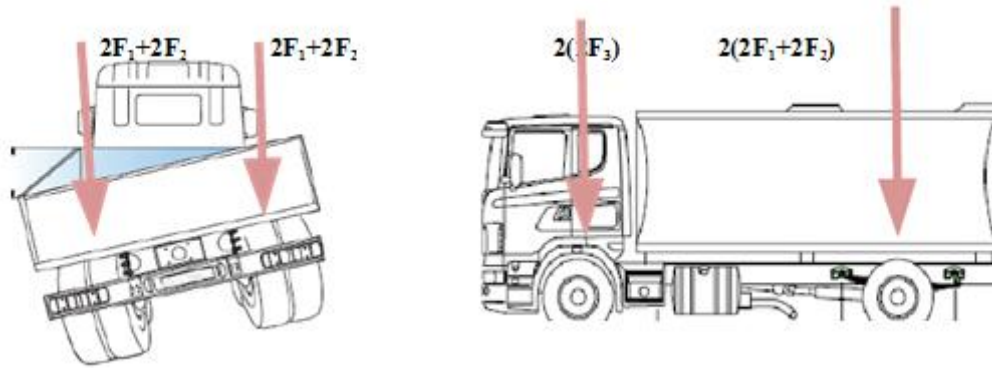


Esta fórmula resulta aplicable bajo las siguientes condiciones:

- La carga total que puede soportar un muelle es igual a $2F$.
- Se considera un muelle simétrico.

Ejercicios:

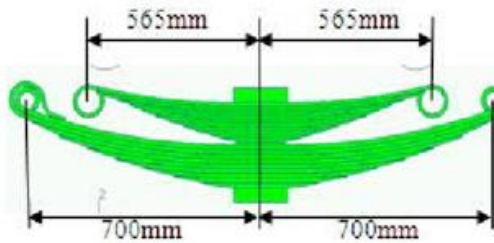
1. Una ballesta está constituida por seis hojas de acero especial de 60x8 mm y una longitud de 1200 mm. ¿Qué carga máxima resulta para $\sigma=80 \text{ kg/mm}^2$?
2. Calcular la carga que pueden soportar cada uno de las ballestas del siguiente camión:



Para nuestros cálculos consideraremos un esfuerzo de la flexión igual a: $\sigma=50\text{Kg/mm}$

a) CARGA EJE TRASERO

Ballestas principales y auxiliares de hojas semielípticas (suspensión trasero)



a. Ballesta principal

- N=7
- l=565mm
- b=75mm
- e=8mm
- $\sigma=50\text{Kg/mm}^2$

$$F1=7*75*82*506*565$$

$$F1=496 \text{ Kg}$$

$$\rightarrow 2*F1=992\text{Kg}$$

b. Ballesta auxiliar

- N=10
- l=700mm
- b=75mm
- e=10mm
- $\sigma=50\text{Kg/mm}^2$

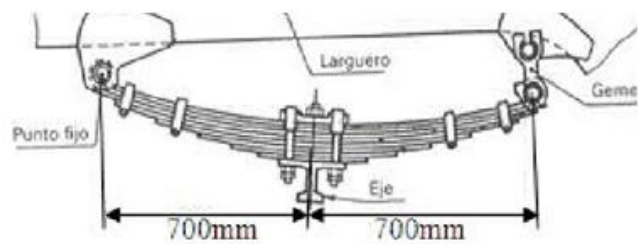
$$F1=10*75*102*506*700$$

$$F2=893\text{Kg}$$

$$\rightarrow 2*F2=1786\text{Kg}$$

POR TANTO: $2*F1+2*F2=992+1786=2778\text{Kg}$ (Cada ballesta)

b) CARGA DEL EJE DELANTERO



N=8

F3=8*75*102*506*700

l=700mm

F3=714Kg

b=75mm

2*F3=1428Kg (Cada ballesta)

e=10mm

 $\sigma=50\text{Kg/mm}^2$

➤ Para el caso del vehículo se estima; una distribución de carga:

➔ Carga eje trasero: 5556Kg 2778Kg (cada ballesta)

➔ Carga eje delantero: 2856Kg 1428Kg (cada ballesta)

 8412Kg

c) CALCULO PARA SOPORTAR LOS ESFUERZOS DE LOS MUELLES

EJE TRASERO

a. Ballesta principal

N=7

 $\sigma=3*992*11302*75*7*82$

L=1130mm

 $\sigma=50.04 \cong 50 \text{ Kg/mm}^2$

b=75mm

e=8mm

P1=992Kg

b. Ballesta auxiliar

N=10

 $\sigma=3*1786*14002*75*10*102$

L=1400mm

 $\sigma=50.008 \cong 50 \text{ Kg/mm}^2$

b=75mm

e=10mm

P2=1786Kg

EJE DELANTERO

N=8

L=1400mm

b=75mm

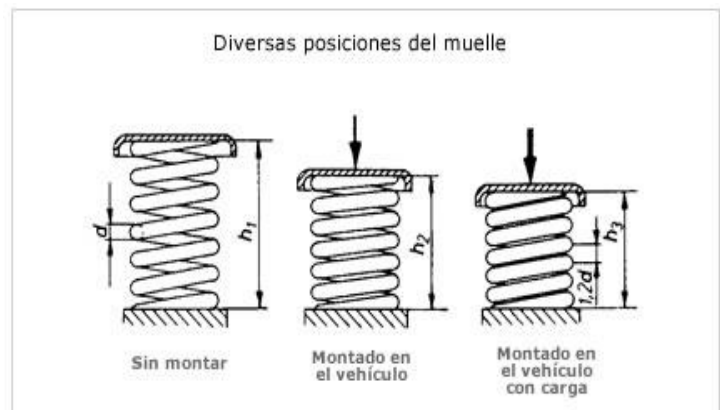
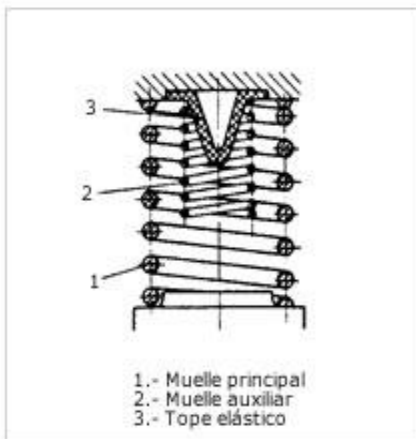
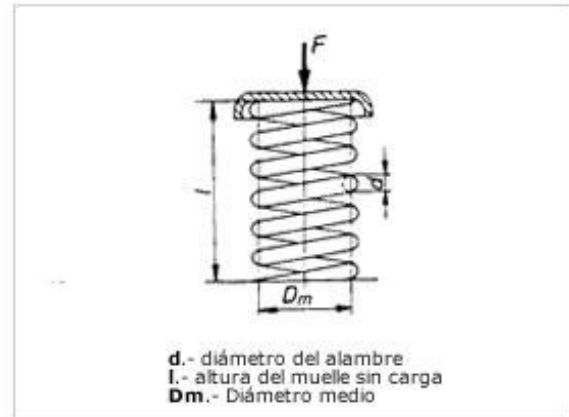
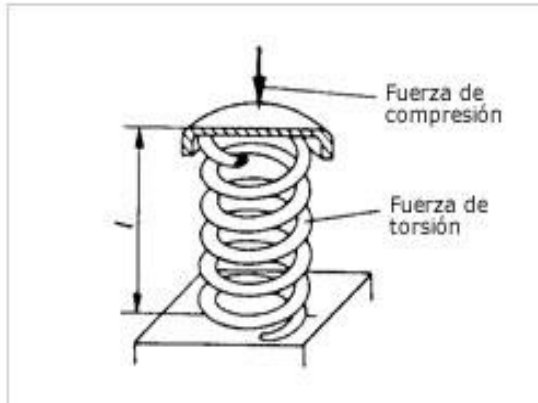
e=10mm

P3=1428Kg

 $\sigma=3*1428*14002*75*8*102$ $\sigma=49098 \cong 50 \text{ Kg/mm}^2$ **CONCLUSIONES**

- El cálculo de la carga total de las ballestas es de 8412 Kg ,que es óptimo para que pueda resistir a su propio Peso Bruto que es de 7750Kg, el cual podrá resistir si a este camión lo exceden en sobre carga.
- En un principio, fueron los camiones y demás vehículos pesados los modelos a seguir para la fabricación de la suspensión. Es así como se adquirieron el sistema de ballesta.
- Queda claro que aunque éste es un sistema robusto y resistente, la comodidad y el confort de los pasajeros quedan a un segundo plano

2. MUELLES HELICOIDALES



2.1. *CONSTANTE ELÁSTICO DE UN MUELLE HELICOIDAL* ($C=k$), es la elasticidad de un muelle, se puede calcular partiendo de su fuerza aplicada y de la deformación del muelle (Ley de Hooke)

$k=c$

$s=x$

$$C = \frac{\text{Fuerza aplicada}}{\text{Deformación}} = \frac{F}{s}$$

Ejemplo 1. Un muelle helicoidal está sometido a una carga de 200 kg. Sufriendo como consecuencia una compresión de 200 mm. ¿Qué valor tiene su característica?

Ejercicio 2. Un muelle se alarga 30 cm cuando ejercemos sobre él una fuerza de 24 N.

- a) Calcula el valor de la constante elástica del muelle.
- b) Calcula el alargamiento del muelle al aplicar una fuerza de 60 N.

Ejercicio 3. Un muelle cuya constante elástica vale 150 N/m tiene una longitud de 35 cm cuando no se aplica ninguna fuerza sobre él.

- a) Calcula la fuerza que debe ejercerse sobre el muelle para que su longitud sea de 45 cm
- b) la longitud del muelle cuando se aplica una fuerza de 63 N.

Ejercicio 4. Un muelle mide 8 cm cuando está en reposo. Al tirar de él con una fuerza de 2 N se observa que mide 90 mm. Calcula:

- a) El valor de la constante del muelle.
- b) La longitud del muelle si la fuerza que se ejerce es de 6 N.

Ejercicio 5. Sobre un dinamómetro de constante elástica $k=200\text{N/m}$ se cuelga una masa $m=4\text{kg}$. Calcular el alargamiento

Ejercicio 6. Si cuando aplicamos a un determinado muelle una fuerza de 20 N le provocamos un alargamiento de 30 cm, calcula:

- a) La fuerza que producirá un alargamiento de 20 cm.

Ejercicio 7. Un muelle alcanza una longitud de 35 cm si tiramos de él con una fuerza de 225 N Si tiramos con una fuerza de 420 N, la longitud es de 48 cm.

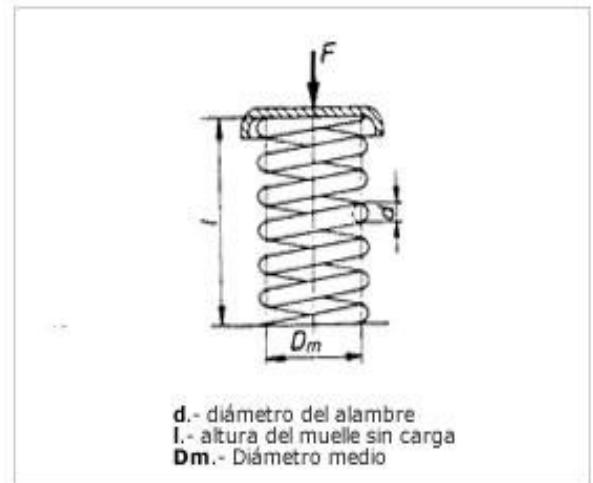
- a) ¿Cuánto mide cuando no actúa ninguna fuerza?
- b) ¿Cuál es el valor de la constante K del muelle?

2.2. Carga sobre muelle helicoidal

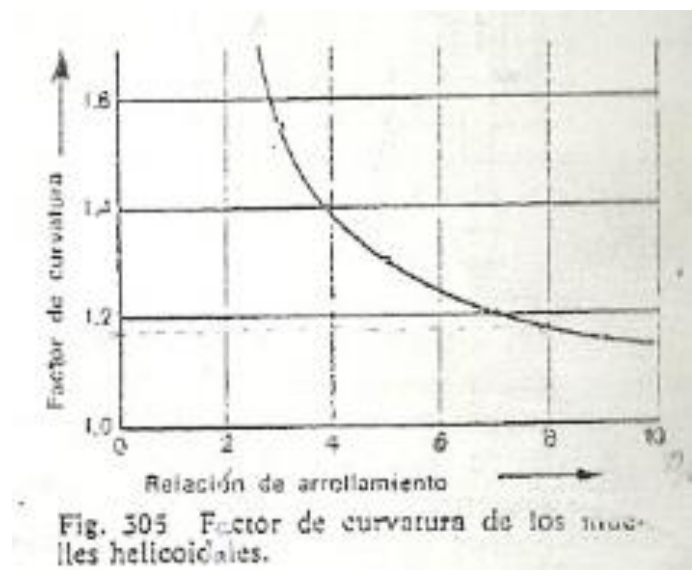
Los muelles helicoidales no pueden soportar cargas transversales, sino solamente según su dirección longitudinal. El hilo de acero experimenta con ello un movimiento de torsión alrededor de su eje longitudinal. Pero un muelle de esta naturaleza puede ser también considerado. Pero un muelle de esta naturaleza puede ser considerado como una barra de torsión arrollada helicoidalmente. La tensión de torsión admisible oscila entre 25 y 35 kg/mm².

$$Fh = \frac{\pi \times \text{Diámetro del hilo al cubo} \times \text{tensión de torsión}}{8 \times \text{Factor de curvatura} \times \text{Diámetro del arrollamiento}}$$

$$Fh = \frac{\pi \times d^3 \times \tau}{8 \times \kappa \times D}$$



Ejemplo 1. Un muelle helicoidal cilíndrico tiene un diámetro de hilo de 12 mm y un diámetro medio de arrollamiento de 96mm. ¿Cuál será la carga máxima con una tensión de torsión de 30kg/mm², siendo el valor del coeficiente de corrección de curvatura obtenido de k=1.17?

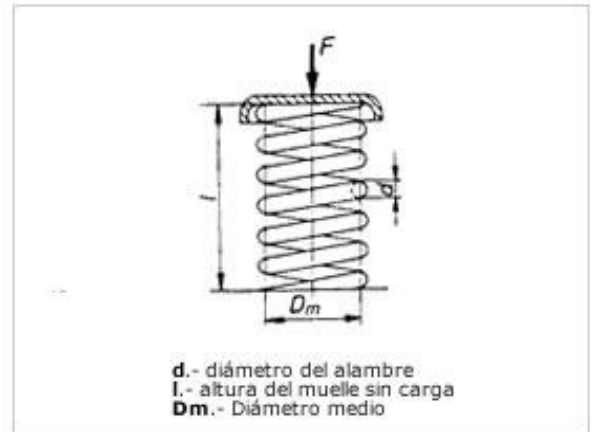


2.3. Altura del muelle helicoidal y longitud del hilo

Las espiras de un muelle helicoidal no deben, en su función elástica, entrar en mutuo contacto, ya que si ocurre ello cesa el efecto de muelle y entonces las sacudidas de la carretera se transmiten de modo directo al chasis. La altura del muelle debe por tanto calcularse de forma que a carga máxima exista todavía una pequeña distancia entre espiras. La altura mínima es función del diámetro del hilo y del número de espiras. Hay que contar también con los efectos de inercia.

$$h = \text{Diámetro del hilo} \times (1,2 \times \text{Número de espiras} + 1,5)$$

$$h_{\min} = d(1,2 \times n + 1,5)$$



$$L = \pi \times \text{Diámetro del arrollamiento} \times (\text{Número de espiras} + 1,5)$$

$$l = \pi \times D(n + 1,5)$$

Ejemplo 1. Un muelle helicoidal de hilo de acero de 10mm tiene un diámetro medio de arrollamiento de 80 mm y 14 espiras. ¿Cuál será su altura y la longitud del hilo?

2.4. OSCILACIONES DEL MUELLE HELICOIDAL

- Un cuerpo suspendido elásticamente efectúa tras una impulsión un movimiento pendular, que tiene igual magnitud de desviación a uno y otro lado y que disminuye gradualmente. El curso de este movimiento oscilante, en función del tiempo, se puede representar mediante una línea ondulada. Un movimiento de ida y regreso constituye una oscilación completa. El tiempo en que ello se efectúa es la duración de la oscilación (T) y la desviación máxima, la amplitud de la oscilación.
- La frecuencia (f) la define el número de oscilaciones por segundo, se mide en hertz.
- El número de oscilaciones depende de la elasticidad del muelle y de la masa del cuerpo suspendido.
- Un hombre puede soportar en un automóvil de 1 a 2 oscilaciones por segundo, en perfectas condiciones. Un número mayor de oscilaciones excita el sistema nervioso, y un número bajo de oscilaciones puede determinar el mareo. Entonces es importante el número de oscilaciones adecuadas.

$$\text{Duración.de.oscilaciones} = T = 2 \times \pi \sqrt{\frac{m}{c}}$$

m = masa del cuerpo
C = coeficiente elástico

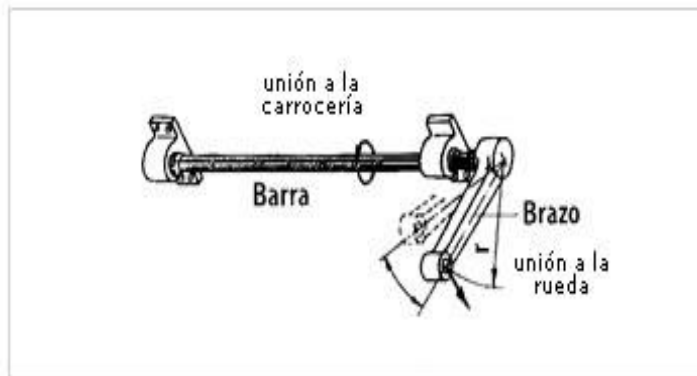
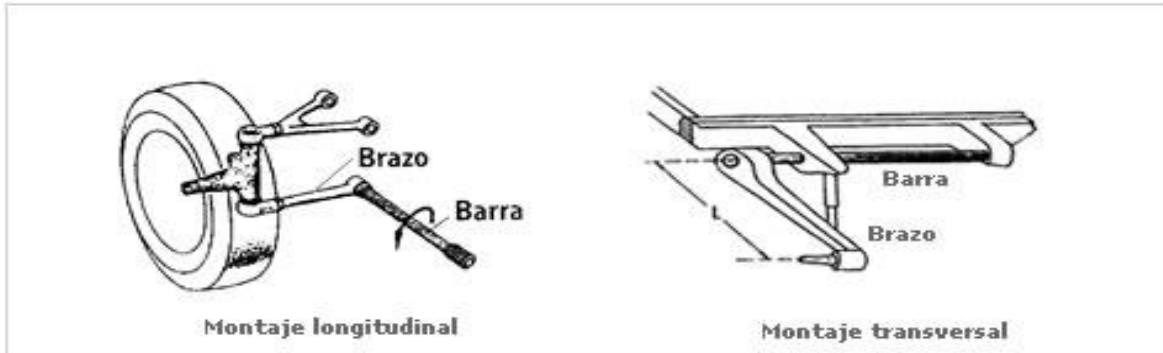
$$\text{Número.de.oscilaciones} = f = \frac{1}{T}$$



Ejemplo 01. Un muelle está cargado con 100 kg. ¿Qué número de oscilaciones tendrá si su característica elástica es de 20 kg/cm?

3. BARRAS DE TORSIÓN

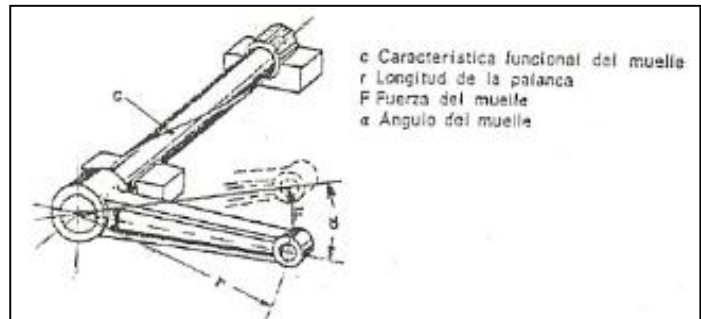
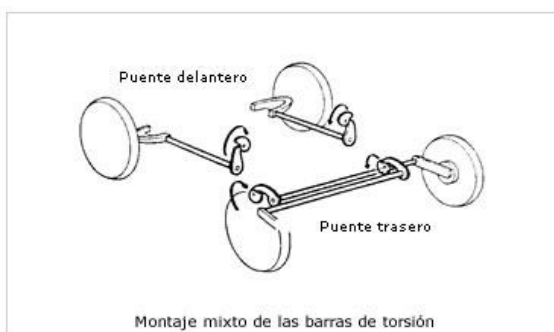
Este tipo de resorte utilizado en algunos turismos con suspensión independiente, está basado en el principio de que si a una varilla de acero elástico sujeta por uno de sus extremos se le aplica por el otro un esfuerzo de torsión, esta varilla tenderá a retorcerse, volviendo a su forma primitiva por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



3.1. CONSTANTE ELÁSTICO DE UNA BARRA DE TORSIÓN (c)

$$C_t = \frac{\text{Momento de torsión}}{\text{Angulo de torsión}} = \frac{F \times r}{\alpha}$$

$$C_t = \frac{F \times r}{\alpha}$$

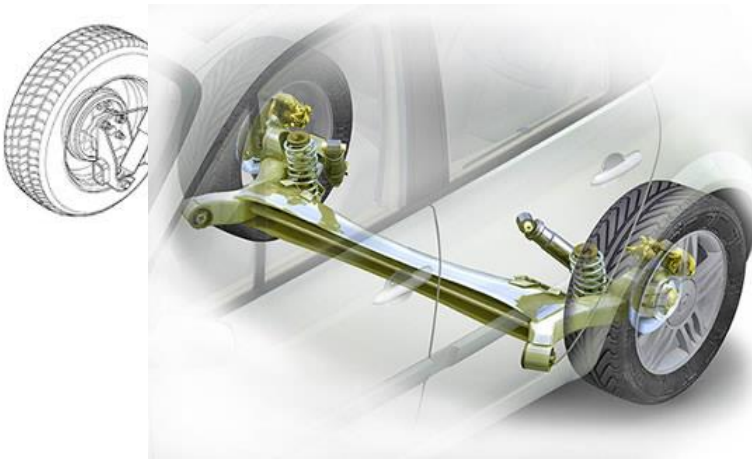


Ejemplo 01. Una barra de torsión se carga con 600kg a una longitud de brazo de palanca de 300mm. ¿Qué valor tiene el ángulo de torsión para una característica elástica de 9000 kpm/grad?

EL "EJE TORSIONAL"

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

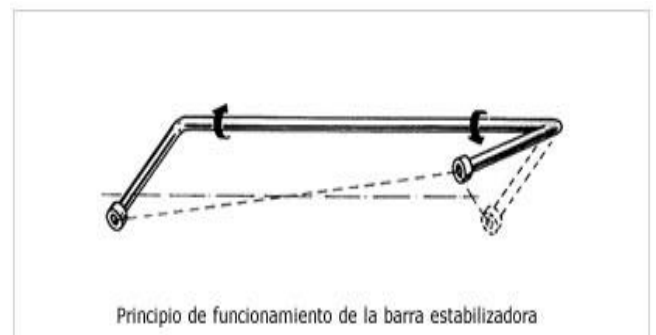
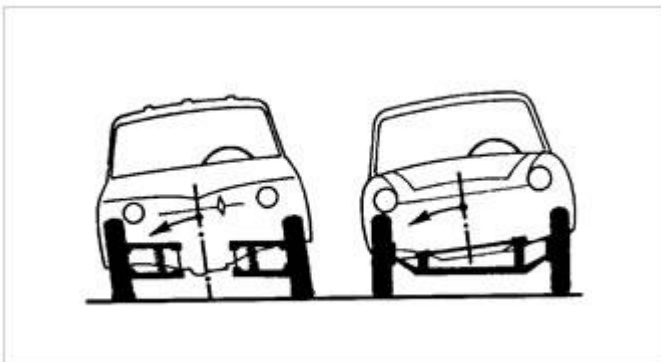
Las ruedas están unidas rígidamente a dos brazos longitudinales unidos por un travesaño que los une y que se tuerce durante las sacudidas no simétricas, dando estabilidad al vehículo. Esta configuración da lugar, a causa de la torsión del puente, a una recuperación parcial del ángulo de caída de alto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

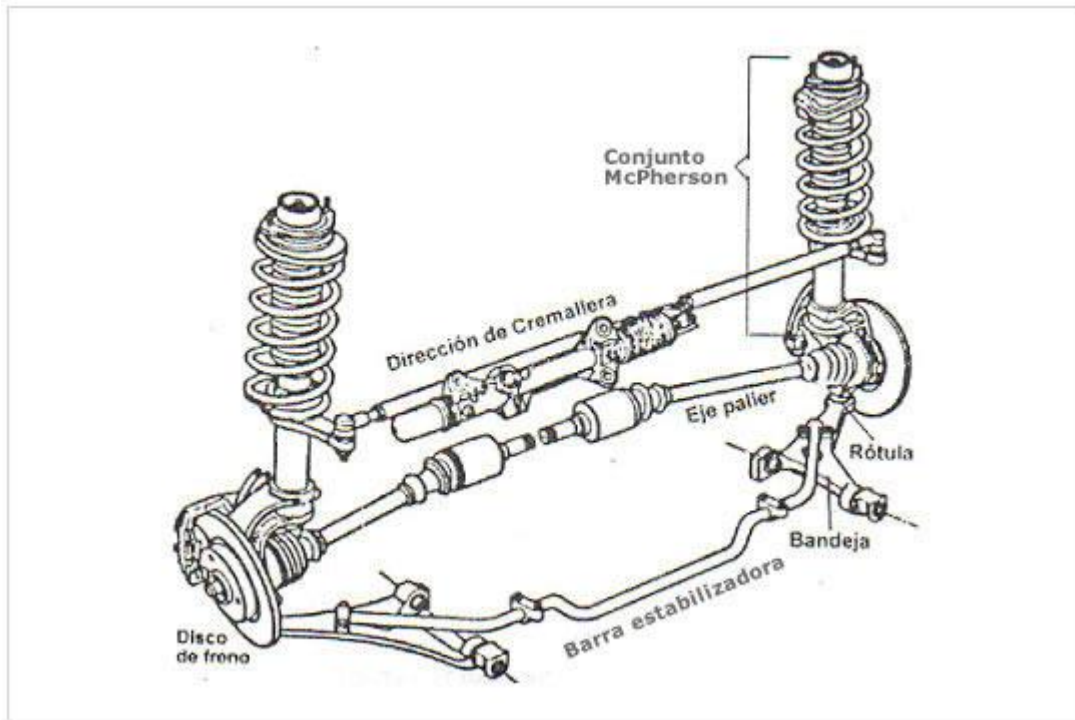


BARRAS ESTABILIZADORAS

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

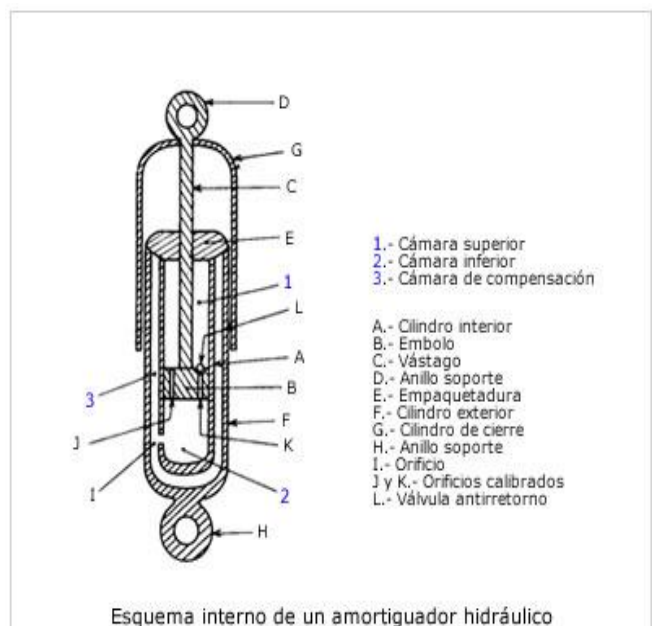
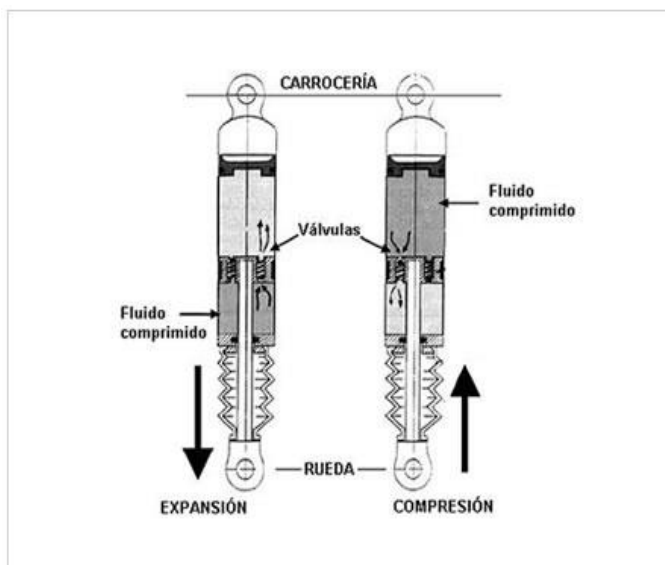
Para evitar estos inconvenientes se montan sobre los ejes delantero y trasero las barras estabilizadoras, que consisten esencialmente en una barra de acero elástico cuyos extremos se fijan a los soportes de suspensión de las ruedas; de esta forma, al tomar una curva, como una de las ruedas tiende a bajar y la otra a subir, se crea un par de torsión en la barra que absorbe el esfuerzo y se opone a que esto ocurra, e impide, por tanto, que la carrocería se incline a un lado, manteniéndola estable.

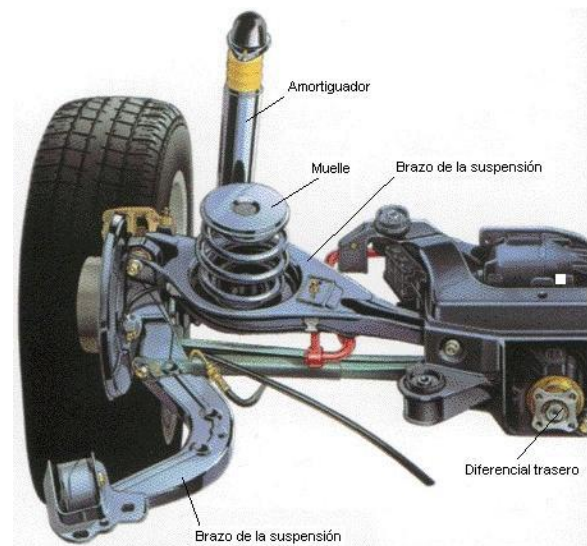
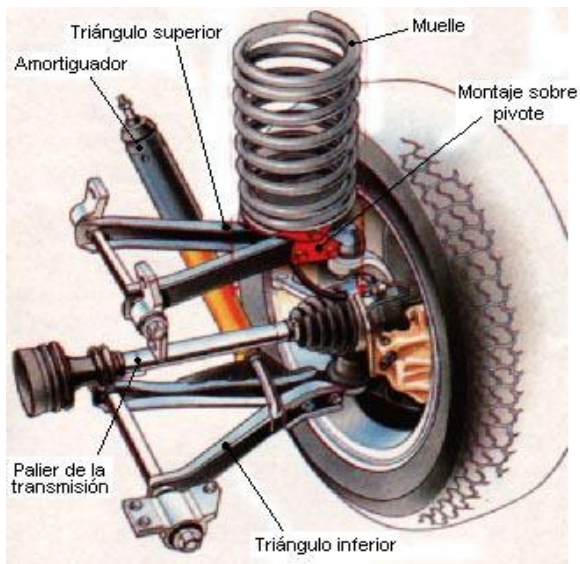
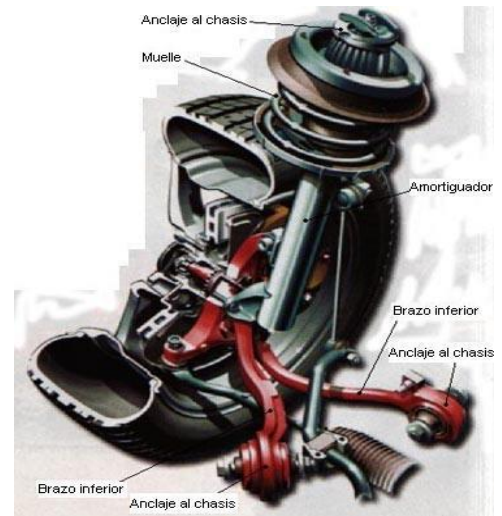
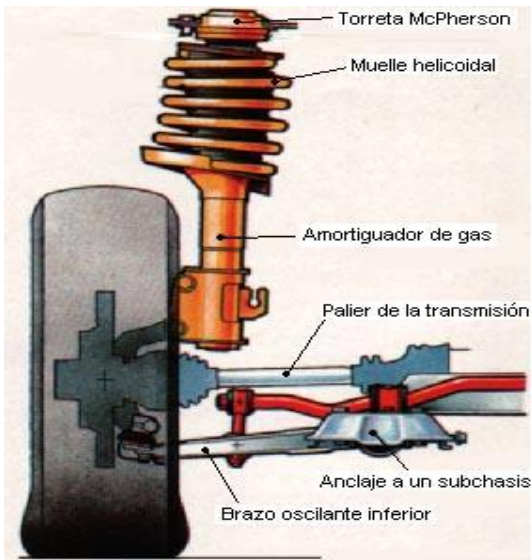




AMORTIGUADORES

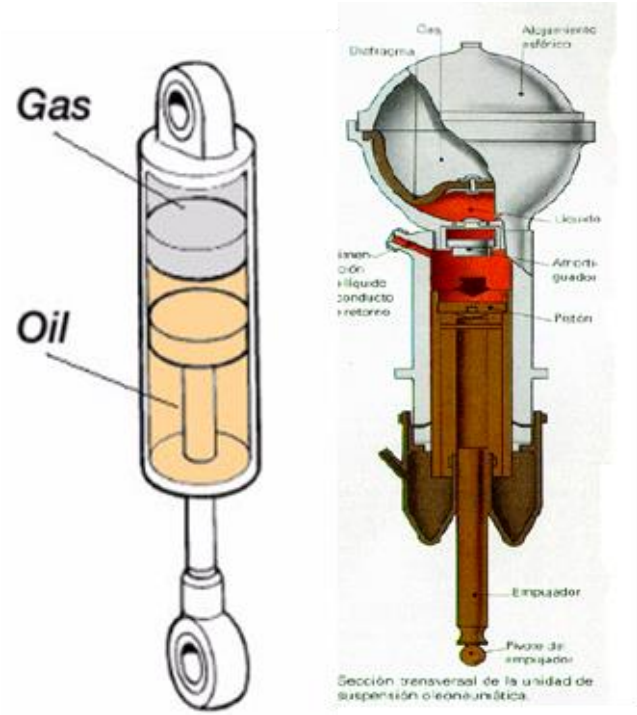
Cuando la rueda encuentra un obstáculo o bache, el muelle se comprime o se estira, recogiendo la energía mecánica producida por el choque, energía que devuelve a continuación, por efecto de su elasticidad, rebotando sobre la carrocería. Este rebote en forma de vibración es el que tiene que frenar el amortiguador, recogiendo, en primer lugar, el efecto de compresión y luego el de reacción del muelle, actuando de freno en ambos sentidos; por esta razón reciben el nombre de los amortiguadores de doble efecto.



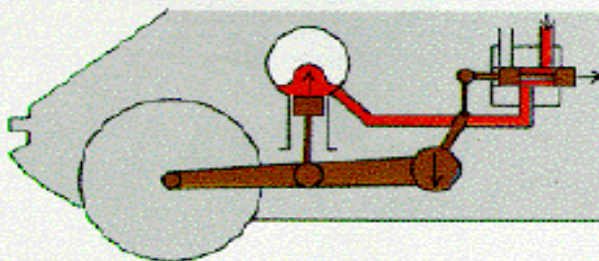


SISTEMAS DE SUSPENSIÓN HIDRACTIVA

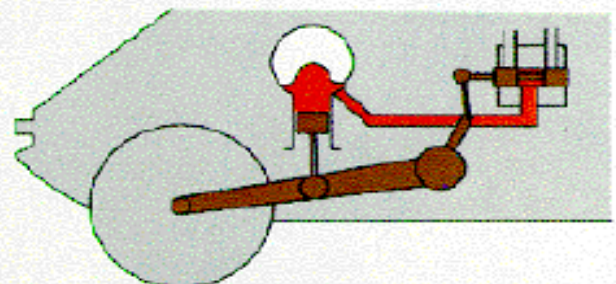
La suspensión hidroneumática es un sistema que poco tiene que ver con los convencionales. Se basa en esferas que sustituyen al conjunto muelle-amortiguador. En su interior contienen aire y un fluido separados por una membrana. El líquido, empujado por una bomba de alta presión, forma parte de un circuito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



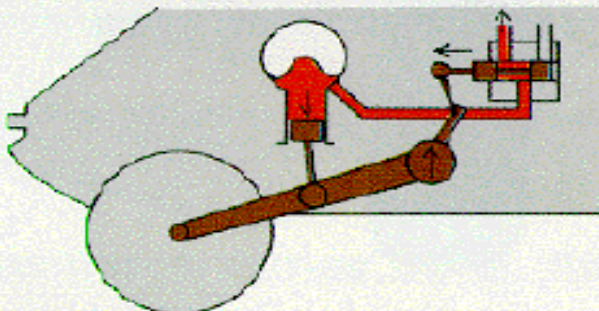
Unidad oleoneumática



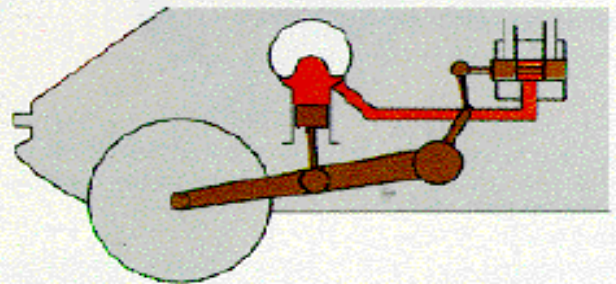
Al aumentar la carga, la carrocería se hunde y opera un dispositivo, que mueve un distribuidor de corredera, que permite el paso de líquido al cilindro.



Al pasar el líquido al cilindro se eleva la carrocería, invirtiéndose el movimiento hasta que el distribuidor alcanza su posición central y se recupera el nivel.



Al disminuir la carga, la carrocería se eleva y permite que el distribuidor de corredera abra el conducto de retorno, por el que fluye el líquido sobrante del cilindro. Al salir el líquido de éste, la carrocería se "asienta" sobre su suspensión.

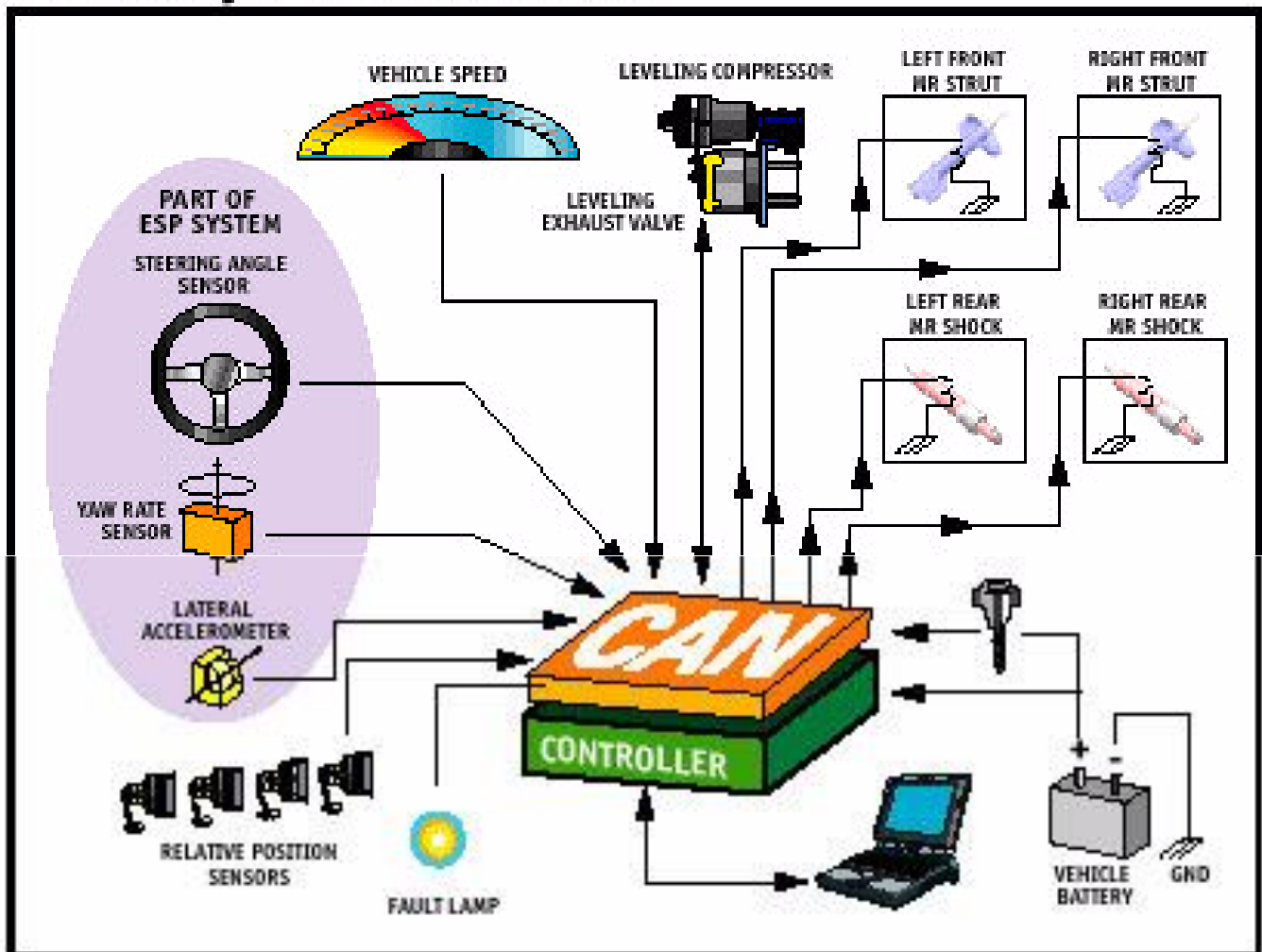


Cuando el distribuidor se encuentra en su posición central, el líquido continúa fluyendo al depósito hidráulico hasta que el coche recupera su altura normal. La posición central se mantiene hasta que vuelve a modificarse la carga del coche.

AMORTIGUDOR MAGNETORREOLÓGICO

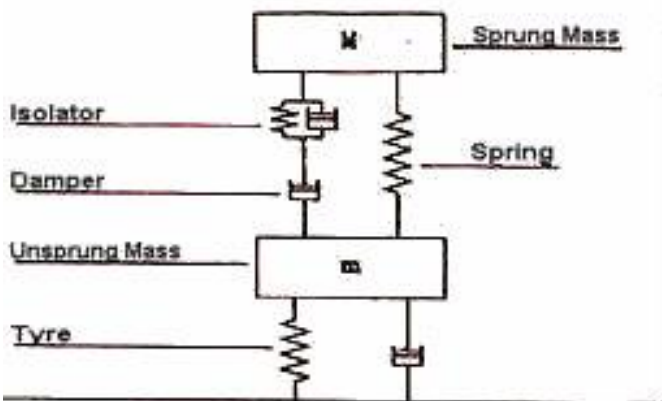
El sistema **MagneRide** de Delphi Automotive es la primera aplicación industrial de un fluido cuya viscosidad varía ante la presencia de un campo magnético. El fluido que utiliza el sistema MagneRide es una suspensión no coloidal, con partículas de hierro con un tamaño de algunas micras en un hidrocarburo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

Control System Architecture

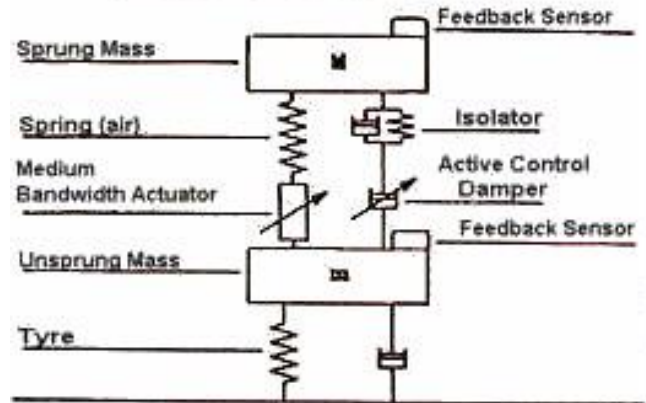


REPRESENTACIÓN SIMBÓLICA DE SISTEMAS DE SUSPENSIÓN

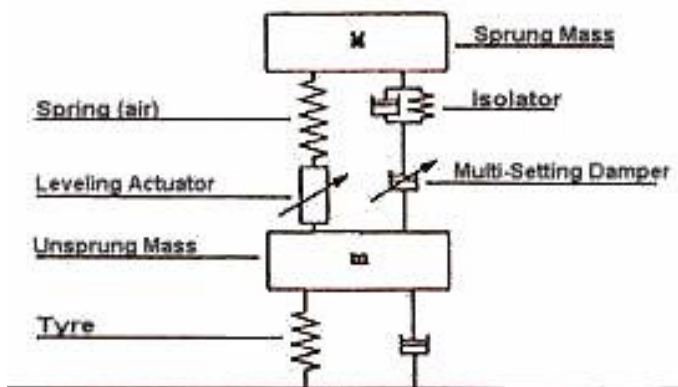
Passive Suspension



Semi-Active Suspension



Adaptive Suspension



Active Suspension

