

# Proyecto Fin de Carrera

## Ingeniero Industrial

### Diseño de suspensión hidráulica para un vehículo todo terreno

Autor: Francisco Javier García  
Pablo

Tutor: Johan Wideberg

Dep. de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y  
del Transporte  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Sevilla, 2016





# Contenido

1. Objetivo .....	4
2. Introducción y fundamento teórico .....	5
2.1 Conceptos básicos de las suspensiones.....	5
2.1.1 Masa suspendida y masa no suspendida.....	6
2.2 Historia .....	7
2.3 Elementos de la suspensión. ....	8
2.3.1 Elementos elásticos. ....	8
2.3.2 Elementos hidráulicos y/o neumáticos. ....	12
2.3.3 Elementos de amortiguación.....	12
2.3.4 Elementos de unión o y estructurales .....	14
2.3.5 Neumáticos.....	14
2.3.6 Silentblock .....	15
2.3.7 Otros.....	16
2.4 Tipos de suspensiones .....	17
2.4.1 Según la geometría.....	17
2.4.2 Según el mecanismo de control.....	23
2.5 Funcionamiento de la suspensión. Ángulos de suspensión.....	25
3. Toma de datos.....	31
3.1 Medidas y condiciones del vehículo .....	32
3.2 Pesaje.....	34
4. Cálculos.....	37
4.1 Cálculo del centro de gravedad del vehículo. ....	37
4.2 Cálculo de equipos hidráulicos.....	39
4.2.1 Cálculo de cilindros hidráulicos.....	39
4.2.2 Cálculo de la bomba hidráulica .....	43
4.2.3 Cálculo del acumulador de presión .....	44
5. Circuito hidráulico .....	47
5.1 Circuito hidráulico simple para un solo eje .....	47
5.2 Circuito hidráulico simple para un solo eje con acumulador de presión.....	48
5.3 Circuito hidráulico con cilindro de doble efecto y acumulador de presión....	49
5.4 Lista de elementos necesarios.....	51
5.5 Montaje.....	51
6. Conclusiones .....	57
7. Resumen .....	58
8. Bibliografía.....	59



# 1. Objetivo

El proyecto tiene como objetivo dotar a un vehículo todo terreno de una suspensión hidráulica junto con su instalación y mandos, para un posterior estudio de la dependencia de los ángulos de suspensión con respecto al recorrido de la dicha suspensión.

Dicho equipamiento servirá para realizar clases prácticas en el departamento de transporte. De esta manera, se pretende facilitar la comprensión del comportamiento de la suspensión en los vehículos de cuatro ruedas. Para ello, se ensaya un vehículo y se analiza cómo cambian los ángulos de la suspensión al variar el recorrido de la misma.

El alcance del proyecto en un principio consistía en el diseño de la suspensión, selección de componentes, instalación y puesta en marcha de la instalación. Debido a cambios se elimina la instalación y puesta en marcha del equipo. Estas fases deben quedar bien definidas para ser realizadas en a posteriori.

En este proyecto se ofrecen distintas configuraciones posibles, y todas ellas están completamente definidas para una correcta instalación y uso.

## 2. Introducción y fundamento teórico

### 2.1 Conceptos básicos de las suspensiones

El sistema de suspensión es el conjunto de elementos que absorbe las irregularidades del terreno por el que circula un vehículo para aumentar el confort, la integridad de la carga y el control del vehículo.

El sistema de suspensión actúa entre el chasis y las ruedas. Por un lado, las ruedas están siempre en contacto con el suelo, este, al no ser perfectamente liso, provoca que reciban de forma directa las irregularidades de la superficie transitada. La parte donde se aloja la carga, los ocupantes y la mayor parte de los elementos mecánicos es la que queda suspendida, concentrando la mayor parte de la masa del vehículo.



Figura 2.1 Suspensión Eje rígido

Las principales funciones del sistema de suspensión de un vehículo son: sostener el peso del mismo, absorber los movimientos bruscos de la superficie por la que se circula, permitir al conductor dirigir el vehículo eficientemente y proporcionar confort y seguridad a sus ocupantes. Un buen funcionamiento de la suspensión debe conseguir las siguientes cuatro funciones básicas:

1. Mantener el contacto de las ruedas con el camino y la altura de marcha.
2. Soportar el peso del vehículo.
3. Reducir los saltos del vehículo en el camino y mantener el control

4. Mantener las ruedas en una posición correcta para todo el recorrido de la suspensión y giro del volante en el caso de las ruedas directrices.

Además, es necesario que cumplan estas funciones manteniendo su integridad estructural. Por lo tanto, los elementos de una suspensión deben transmitir y resistir las fuerzas de aceleración y de frenada entre los ejes y el bastidor, además de los esfuerzos generados al tomar las curvas.

Para conseguir que un vehículo tenga un fácil manejo por parte del conductor, cobra especial importancia los elementos amortiguadores que disipan la energía de los movimientos verticales del vehículo. Los amortiguadores tienen una importancia

Se concluye entonces, que una suspensión debe tener elasticidad y amortiguación. La primera de ellas permite absorber las irregularidades del terreno y la segunda logra que los movimientos del vehículo estén controlados y el vehículo sea de fácil manejo para el conductor.

Existen soluciones muy variadas según el eje sea directriz o no, tractor o no, según las características del vehículo en cuanto a peso, capacidad de carga, terrenos que va a transitar, etc. La mayoría de las distintas configuraciones más representativas se van a mostrar en este capítulo introductorio.

### *2.1.1 Masa suspendida y masa no suspendida.*

Para el estudio de una suspensión es importante diferenciar entre masa suspendida y masa no suspendida.

*Masa suspendida:* comprende todos los mecanismos cuyo peso es el soportado por el chasis o bastidor. Normalmente incluye la carrocería del vehículo, los componentes internos, pasajeros y carga. El chasis es el cuerpo suspendido y sobre él se montan los distintos elementos mecánicos del coche, como el motor, transmisiones y caja de cambios.

*Masa no suspendida:* es la parte del vehículo que sigue el perfil de la carretera, y principalmente son las ruedas, que están permanentemente en contacto (o debe estarlo) con el perfil de la superficie transitada. Además de las ruedas, se incluyen otros elementos como son los frenos y los elementos de suspensión (muelles, amortiguadores, brazos, etc.).

Cabe señalar que dentro de la suspensión hay elementos que están parcialmente suspendidos porque no describen el movimiento del terreno ni tampoco el del chasis. Se encuentran entre las ruedas y el chasis, por lo tanto, su movimiento es relativo entre ambos y su consideración es de masa parcialmente suspendida.

Algunos elementos del motor o la transmisión también pueden estar a su vez suspendidos de la carrocería o el chasis mediante elementos elásticos. Un claro ejemplo de esto lo podemos apreciar en los voluminosos y pesados sistemas anticontaminación de los vehículos modernos. Esta técnica se hace para evitar que se transmita por todo el vehículo hasta el habitáculo las vibraciones que se generan por los gases que pasan a través de los mismo, Su movimiento relativo respecto al chasis influye en la dinámica de la suspensión. Para calcular el comportamiento de un vehículo de manera muy precisa habría que tener en cuenta todos estos elementos parcialmente suspendidos.

En el diseño de una suspensión se intenta minimizar las masas no suspendidas, para que el control se realice con los elementos elásticos y amortiguadores, y no con la influencia perjudicial de la inercia de los elementos móviles.

## 2.2 Historia

La suspensión en vehículos es anterior a al automóvil, pues en los carruajes ya se usaban elementos de suspensión para mejorar el confort de marcha.

Antes del uso de suspensión en vehículos, las ruedas de un mismo eje no se disponían independientemente entre ellas, Los primeros vehículos no disponían de suspensión y las ruedas eran macizas, de esta forma, se transmitían a los ocupantes y/o la carga todas las irregularidades del piso y el vehículo era menos manejable.

En automóviles se han usado sistemas de suspensión desde sus inicios. El “Benz Patent-Motorwagen”, que es considerado el primer automóvil de la historia <sup>[nota]</sup>, ya usaba una suspensión de ballesta en el eje trasero. Al llevar varias décadas de desarrollo de suspensiones, fueron incluidas desde en el automóvil desde su nacimiento.

En la figura 2.2 se aprecia la suspensión de ballesta del Benz Patent-Motorwagen en ambas ruedas del eje trasero. El eje delantero es menos rígido y está desprovisto de suspensión por tener una sola rueda.



Figura 2.2. Réplica del Patent-Motorwagen Benz Nr. 2

En los comienzos de la automoción las velocidades que se alcanzaban eran bastante modestas. Por lo que la suspensión se incluía para asimilar las regularidades de la calzada o camino.



En los primeros diseños, los automóviles tomaron los sistemas de suspensión que se usaban en los carruajes. Las ballestas fueron el elemento más extendido y se disponían longitudinal o transversalmente. Pero a medida que las exigencias de confort y la velocidad a la que se desplazaban iban creciendo, las suspensiones fueron evolucionando, incorporando nuevos elementos elásticos, estructurales, amortiguadores, etc. Por lo tanto, se puede decir que la suspensión ha estado presente en los vehículos desde los inicios de la automoción.

## 2.3 Elementos de la suspensión.

La suspensión de un vehículo está formada principalmente por un elemento flexible o elástico que suspende el vehículo y un elemento amortiguador que controla los movimientos del elemento flexible. A parte de estos elementos existen otros de unión entre ambos, las ruedas y el propio vehículo.

### 2.3.1 Elementos elásticos.

Los elementos elásticos se encargan de que la unión entre las masas suspendidas y no suspendidas no sea completamente rígida. Así, las irregularidades del terreno son seguidas por las ruedas, pero no se transmite completamente al resto del vehículo. Esto es gracias a que la conexión entre masas no suspendidas (ruedas) y las masas suspendidas (chasis) es flexible.

#### 2.3.1.1 Muelles (Resortes helicoidales)

El muelle o resorte helicoidal, como su nombre indica, consta de un alambre enrollado en forma de helicoides. Dicho alambre trabaja a torsión cuando el resorte se comprime o tracciona en la dirección de su eje. Su rigidez tiene un carácter lineal si el alambre tiene un diámetro y sección constantes.



Figura 2.3. Muelle helicoidal.

En cambio, como podemos ver en la figura 2.3, si la distancia entre espiras o el diámetro del muelle no es constante, la rigidez del resorte no se mantiene lineal. En

figura anterior podemos ver tres muelles construidos de con un alambre similar, pero con comportamientos completamente distintos.

Esta es la forma de dar progresividad a un muelle helicoidal. Su rigidez aumentará con la deformación y la suspensión se mostrará más flexible o “blanda” en la parte inicial de su recorrido y para pequeñas amplitudes asimilar alteraciones como son los pequeños baches, y más firme para contener las grandes oscilaciones provocadas por la inercia de la masa del vehículo, como por ejemplo en una curva pronunciada o una frenada fuerte. Entre una fase y otra el muelle se comporta de forma no lineal, pasando de una rigidez a otra de forma progresiva.

### 2.3.1.2 Ballestas

Las ballestas están constituidas por un conjunto de hojas o láminas de acero superpuestas. Unas hojas son más largas que otras, la hoja principal es la de mayor longitud y se denomina maestra, y une los dos puntos fijos del chasis con el eje de la rueda.

Las hojas se unen entre sí mediante abrazaderas y la flexión de las mismas aporta la rigidez a la suspensión.

En la siguiente figura se muestra los elementos que componen una ballesta. Es un tipo de suspensión con unas características muy interesante: Es un sistema muy completo debido a su simplicidad, puesto que une un eje rígido con el chasis directamente, y a sus grandes aportes, porque aúna elasticidad, amortiguación y sustentación en un mismo elemento.

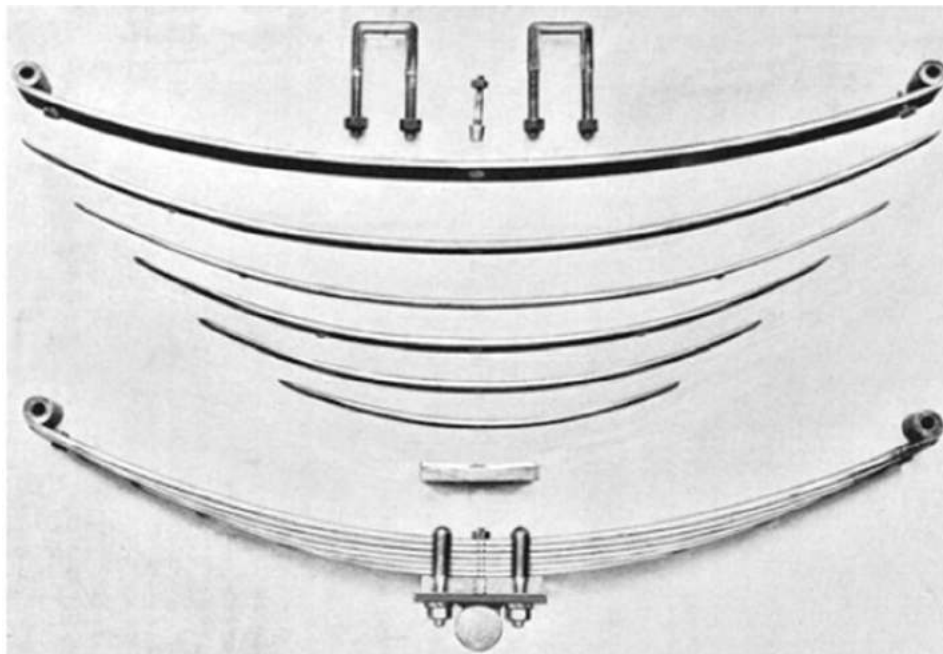


Figura 2.4. Ballesta

Las ballestas hacen la función de elemento elástico y estructural al mismo tiempo, por este motivo se usa mucho en vehículos de carga y todoterreno. Esta característica se explica a continuación.

Los resortes de ballesta tienen una gran rigidez transversal y longitudinal, es decir, que soportan los movimientos que no se pretenden liberar en una suspensión. Los esfuerzos de aceleración o frenada son absorbidos por las propias ballestas, por lo tanto, no se requieren más elementos en la suspensión. En la dirección del eje (rígido en este caso) o transversal al vehículo, los esfuerzos son transmitidos por el lado de mayor inercia de la ballesta, por lo tanto, la deformación no es relevante en esta dirección

Es decir, la ballesta permite una deformación elástica en la dirección normal al plano de apoyo, y aporta suficiente rigidez tanto en la dirección longitudinal del vehículo como en la transversal.



Figura 2.5. Ballesta anclada a eje rígido.

En la deformación de una ballesta compuesta por varias láminas, se genera un rozamiento entre las mismas que genera cierto grado de amortiguación. Este efecto resultaba de interés en suspensiones simples que carecían de amortiguadores.

### 2.3.1.3 Barras de torsión

La barra de torsión es un elemento que trabaja mediante el giro alrededor de su eje, por lo tanto, trabaja elásticamente mediante momento torsor. Este elemento aporta ciertas ventajas de espacio y simplicidad. Básicamente es una barra de metálica con en un extremo empotrado al chasis y el otro girando solidario con la rueda o con un extremo de un brazo de suspensión.



Figura 2.6. Ejemplo de barra de torsión

El brazo de palanca, el diámetro y la longitud de palanca son las variables que influyen en la rigidez de la barra de torsión. Esta rigidez se mantiene constante en el régimen de deformación elástica del material. La rigidez barra se puede conseguir modificando sus parámetros. La barra de torsión se puede elegir maciza o hueca, suele ser un perfil cerrado y hueco porque tiene mejor inercia a la torsión a igualdad de peso.

Este elemento es muy versátil y puede ser usada en vehículos simples, en sofisticados monoplazas de carreras que requieren pequeños recorridos y gran rigidez o en vehículos todoterreno que necesitan grandes recorridos para circular en superficies muy diversas.

Una disposición particular de los resortes de torsión toma el nombre de barra antibalanceo. En ocasiones también llamada “barra estabilizadora”. En este caso, se usa la capacidad de torsión del elemento elástico colocándose en el vehículo transversalmente al sentido de la marcha, uniendo ambas ruedas de un eje y articulándose en el chasis, normalmente mediante una guía.

La barra tiene una forma con brazo de palanca de modo que solo se deforma cuando hay distinto desplazamiento con respecto al chasis de las dos ruedas. Por lo tanto, trabaja a torsión y su deformación depende del desplazamiento relativo entre las dos ruedas de un eje.

Si una rueda se encuentra en una posición distinta que la otra se produce un giro en cada extremo de la barra que la hace deformarse. En cambio, si ambas ruedas se encuentran en una posición de compresión, por ejemplo, con el vehículo muy cargado, no se produce movimiento relativo entre ambas ruedas y la barra antibalanceo no actúa.

Con esta configuración se busca minimizar la inclinación de la carrocería en curvas, pero manteniendo en la medida de lo posible la capacidad de absorción de irregularidades.

#### 2.3.1.4 Elastómeros

Los elastómeros o muelles de goma se usan en vehículos ligeros o bicicletas. El uso más habitual en automóviles es como tope de suspensión. Su coste es reducido pero su escasa deformación limita su uso al que se ha comentado. Su principal desventaja es la baja estabilidad de sus propiedades mecánicas frente a agente externos y el paso del tiempo.

#### 2.3.2 Elementos hidráulicos y/o neumáticos.

Un fluido en un recipiente a presión puede servir de “elemento elástico”. En suspensiones completamente hidráulica, que no poseen elementos elásticos, la función de sustentación y amortiguación la realiza el mismo fluido.

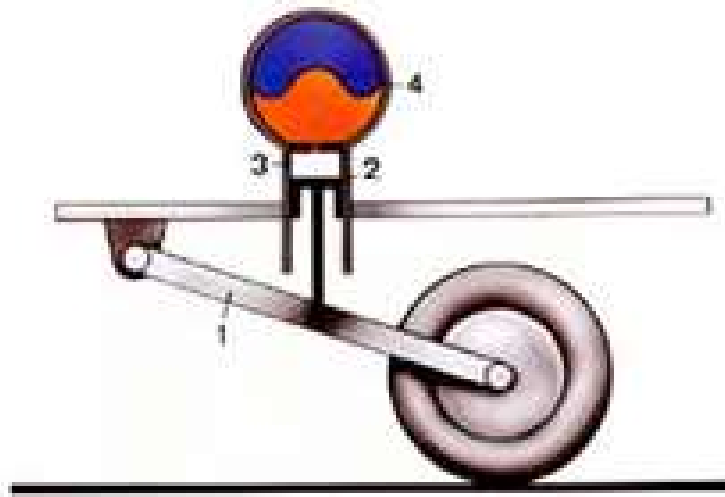


Figura 2.7. Esquema de suspensión hidroneumática

En el caso de suspensiones hidráulica, el aceite es prácticamente incompresible, por lo tanto, se separa mediante una membrana una cantidad de gas a presión que actúe como elemento elástico mediante su compresión y descompresión.

#### 2.3.3 Elementos de amortiguación

Los elementos de amortiguación son fundamentales en el correcto diseño y funcionamiento de una suspensión. Tienen diversas funciones en el control, confort y seguridad. Absorben parte de la energía transmitida a las masas suspendidas en terrenos irregulares y contienen la amplitud de las oscilaciones del vehículo al cambiar de trayectoria o velocidad. Los amortiguadores funcionan tanto en fase de extensión

como en compresión, puede tener distintos valores de coeficiente de amortiguamiento en los dos sentidos.

### 2.3.3.1 Amortiguador bitubo

El amortiguador bitubo o de doble tubo son los más comunes utilizados actualmente en los vehículos A su vez se pueden clasificar en presurizados o no presurizados.

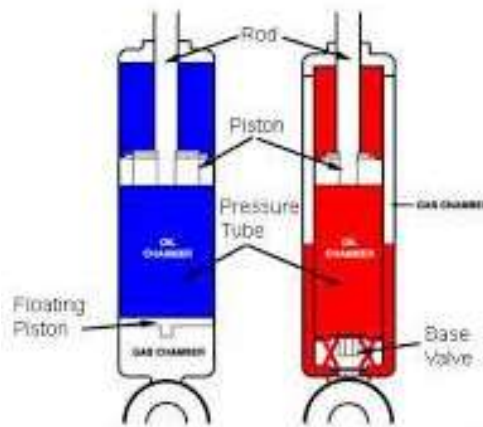


Figura 2.8. Amortiguador monotubo (Izquierda) y bitubo (Derecha)

### 2.3.3.2 Amortiguador monotubo

Una alternativa al amortiguador bitubo apareció en la década de los 50, consiste en un único tubo o cilindro y dos pistones, uno de trabajo y otro llamado flotante. El primero de ellos reproduce el movimiento relativo entre las masas suspendidas y no suspendidas, el segundo se encarga de separar el gas presurizado.

Un amortiguador monotubo no es direccional porque carece de una válvula de compresión, es decir, se podría montar al revés, ya que funciona igual en ambos sentidos. El gas que contiene suele ser nitrógeno a una presión de entre 18 y 25 bar aproximadamente.

Una de las principales ventajas del amortiguador monotubo frente al bitubo es que tiene una mejor refrigeración. Esto se debe a que la cámara está en contacto directo con el aire y se consigue evacuar más calor que es generado por el amortiguador al transformar la energía cinética de los movimientos verticales del vehículo en energía calorífica.

### 2.3.3.3 Otros

Existen también otros tipos de amortiguadores como los magnéticos o reológicos. Estos amortiguadores tienen la capacidad de modificar su capacidad de amortiguamiento. Aunque llevan varias décadas de desarrollo e implantación, es actualmente cuando se están extendiendo por la mayoría de vehículo de gama media y alta.

Estos amortiguadores permiten que se modifique su coeficiente de amortiguamiento continuamente en el tiempo mediante un sistema de control. El fluido de trabajo contiene partículas metálicas que le otorga propiedades magnéticas al reaccionar frente a una corriente eléctrica. Una bobina es la encargada de generar un pequeño campo magnético que se encarga de excitar dichas partículas haciendo el fluido más viscoso en ambas direcciones. La dirección e intensidad del campo magnético es la que determina la viscosidad.

Las ventajas de este tipo de amortiguador son evidentes: permiten un control independiente continuo en cada rueda del vehículo, no requiere mantenimiento y son más fiables al no tener válvulas.

### 2.3.4 Elementos de unión o y estructurales

Cualquier suspensión además de contar con unas masas suspendidas y no suspendidas, amortiguador y elemento elástico, necesita unos elementos de unión entre los mismos. Dichos elementos son de gran importancia en el funcionamiento de la suspensión porque su geometría define el movimiento, y por consiguiente el comportamiento del vehículo.

Estos elementos que, como se ha indicado, unen los elementos suspendidos con los no suspendidos. Normalmente se consideran parcialmente suspendidos, y dependiendo del movimiento relativo con respecto a ruedas y chasis, se le asigna un valor, por ejemplo, un buje tiene un 100% de masa suspendida,

#### Manguetas

La mangueta de la suspensión es una pieza fabricada en un metal o aleación que une el buje de la rueda y la rueda a los elementos de la suspensión, tirantes, trapecios, amortiguador, etc. Por lo tanto, es una pieza de cierta complejidad y debe de tener buena capacidad mecánica a la vez que bajo peso. También debe permitir el movimiento relativo entre varias piezas. Su geometría tiene gran influencia en el diseño de la suspensión y dirección.

#### Brazos

Un brazo de suspensión es un elemento de unión entre chasis y ruedas, suelen estar en las suspensiones independientes. Cada uno de los brazos permite un giro alrededor de sus extremos e impide un movimiento longitudinal. La cantidad de brazos que componen una suspensión suele determinar su complejidad y el comportamiento del vehículo durante su funcionamiento.

#### Bujes

El buje es el elemento que contiene al eje de la rueda, por lo tanto, es la unión entre los elementos que dan vueltas (rueda y disco de freno) y los que no (brazos, pinza de freno, elemento elástico, etc, contiene un rodamiento un rodamiento que permite dicho giro.

### 2.3.5 Neumáticos.

El neumático es una parte fundamental de la suspensión. Su construcción y materiales hacen que éste funcione como elemento elástico y amortiguador

simultáneamente. Influye en el comportamiento general del vehículo ruido, confort, agarre en distintas condiciones, consumo, capacidad de frenado, etc.

Su construcción y materiales determinan el comportamiento del mismo, en la Figura 2.9, podemos ver las distintas capas que tiene un neumático, cables de acero, lonas, caucho, etc.



Figura 2.9. Componentes estructurales de un neumático.

Este elemento, además, es muy sensible a diversos factores, como es la temperatura, estado del terreno que pisa, presión, etc.

### 2.3.6 Silentblock

Dentro de un sistema de suspensión pueden existir algunos elementos con una función de unión o acople entre los distintos elementos. Estos elementos también pueden permitir pequeños desplazamientos, y evitar que se transmitan las vibraciones al chasis.

También se pueden denominar casquillos de goma, porque realizan la misma función del casquillo. En los vehículos también podemos encontrar estos elementos en los soportes del motor con el mismo objetivo de eliminar vibraciones.

La superficie de contacto, que puede ser la interior y/o exterior del cilindro es metálica y la parte más flexible, Suelen estar fabricados con materiales poliméricos elásticos y trabajan a compresión.



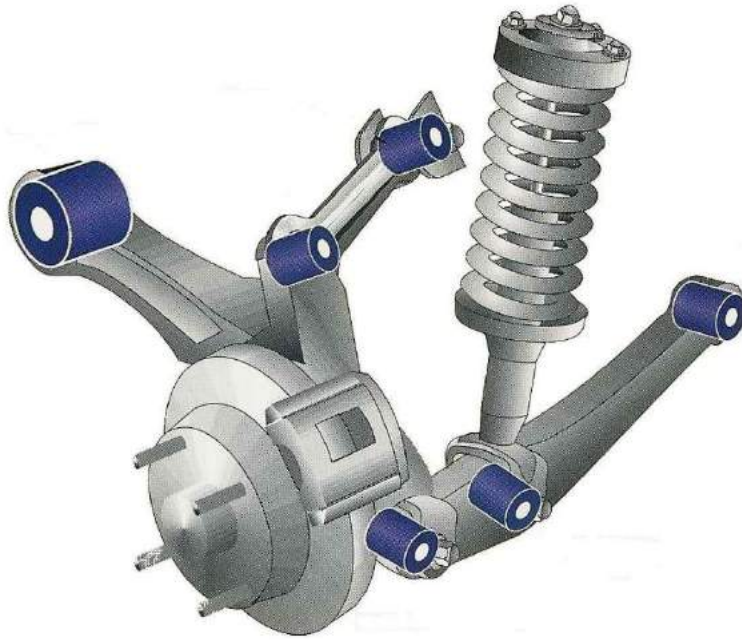


Figura 2.10 Distintos silentblock en una suspensión

En la figura 2.10 podemos ver en azul los distintos silentblocks que puede llevar una suspensión común. Con estos se consigue eliminar las vibraciones que pudieran ser transmitidas al chasis.

En las suspensiones también se incluye como tope de suspensión y suelen ir ubicados en el final del recorrido del muelle.

Además, podemos encontrar estos elementos soportando parte del sistema de escape de los vehículos o incluso el propio motor. Como estos elementos generan vibraciones que son perjudiciales para el confort de un vehículo, se intenta aislarlos de las masas suspendidas.

### 2.3.7 Otros

En una suspensión podemos encontrar otros elementos además de los mencionados anteriormente, éstos son básicamente los elementos de unión que completan el mecanismo y permiten el movimiento de todo el conjunto.

Dentro de esta categoría encontramos elementos como rodamientos o casquillos para asegurar un movimiento de precisión. Un elemento particular son las bieletas, que podemos ver a continuación.

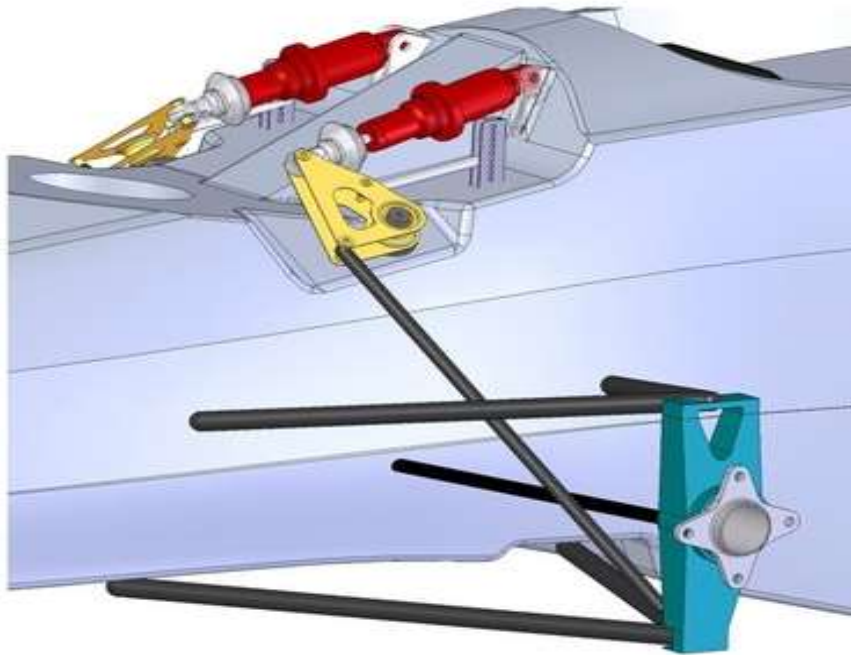


Figura 2.11. Suspensión con bieletas

En suspensiones más elaboradas podemos encontrar elementos intermedios entre los brazos de suspensión y el chasis como son las bieletas. Sirven para modificar el movimiento de la suspensión convirtiéndolo, por ejemplo, en un mecanismo de cuatro barras. En la Figura 2.11 podemos ver una suspensión con este sistema, las bieletas son los elementos triangulares de color amarillo, que encuentran entre el brazo de suspensión y el amortiguador.

El uso de sistemas de suspensión con bieletas tiene varias justificaciones, por un lado, se consigue modificar el movimiento de la rueda con respecto al elemento elástico, no será lineal, por lo tanto, dotará a la suspensión de progresividad. Por otro lado, se puede ubicar la suspensión en una posición distinta a la del movimiento relativo entre rueda y chasis, con esto se consigue vehículos más bajos y/o aerodinámicos.

## 2.4 Tipos de suspensiones

Las suspensiones pueden clasificarse según la geometría, los elementos que la componen o el mecanismo que controle la amortiguación.

### 2.4.1 Según la geometría

Para definir el tipo de suspensión se suele hacer referencia a la geometría de la misma. La geometría define el recorrido de la rueda respecto a la carrocería y es una medida de la complejidad de la misma.

### 2.4.1.1 Eje rígido

Los sistemas de suspensión de eje rígido están compuestos por un elemento que une de forma rígida ambas ruedas de un eje. Por lo tanto, los movimientos o perturbaciones en una rueda son transmitidos a la otra. Según la construcción de la suspensión de eje de rígido se distinguen algunas variantes.

La primera es el eje rígido con el diferencial incluido y soportado por una ballesta en cada rueda, la ballesta al tener una gran rigidez lateral permite que no se requieran más brazos en la suspensión,

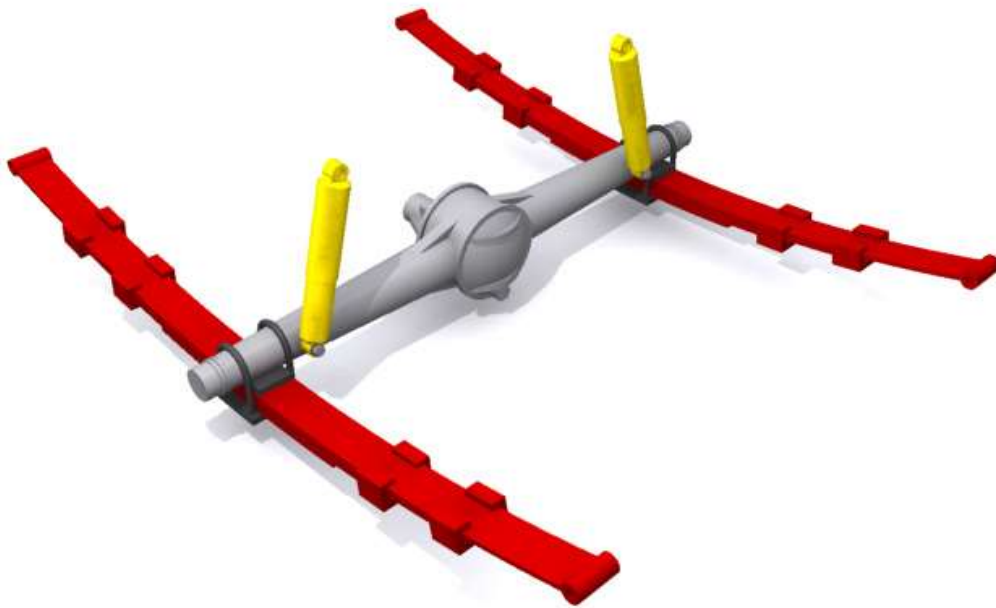


Figura 2.12. Suspensión de eje rígido con ballestas

La configuración de eje rígido con ballesta aún simpleza con robustez, y ha sido ampliamente usado en vehículos todoterreno y de carga.

Un segundo tipo de suspensión con eje rígido es la que usa como elemento elástico el muelle helicoidal y podemos verlo en la Figura 2.13. Esta configuración requiere de unos brazos que fijen el eje rígido en dirección longitudinal y transversal del vehículo porque el muelle no aporta la rigidez suficiente en ninguna dirección que no sea la longitudinal. Esta desventaja hace que la suspensión sea más compleja, perdiendo así su principal valor.

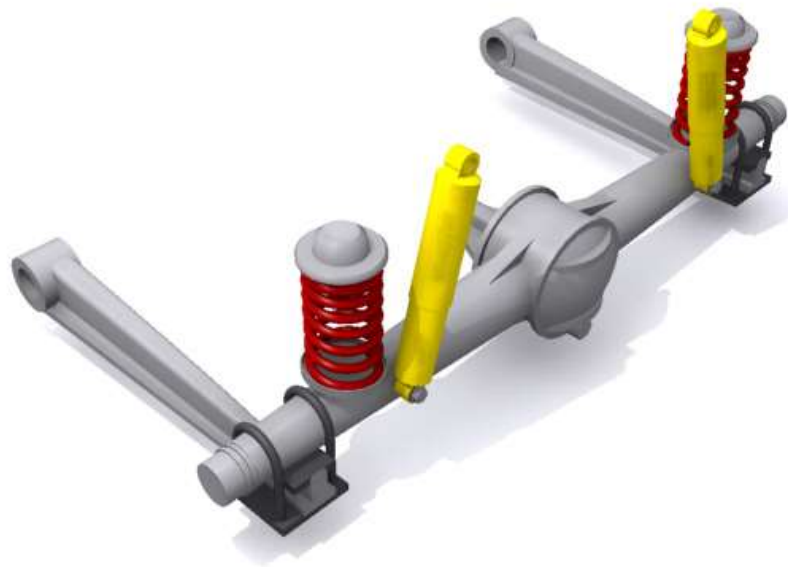


Figura 2.13. Suspensión de eje rígido con resortes helicoidales.

Este sistema sustituye las ballestas por resortes helicoidales, resultando un conjunto más compacto.

También se puede considerar la suspensión De Dion como semiindependiente, porque las ruedas están vinculadas entre sí, pero pueden tener distintos ángulos en su desplazamiento. Esta configuración podemos verla en figura 2.14.

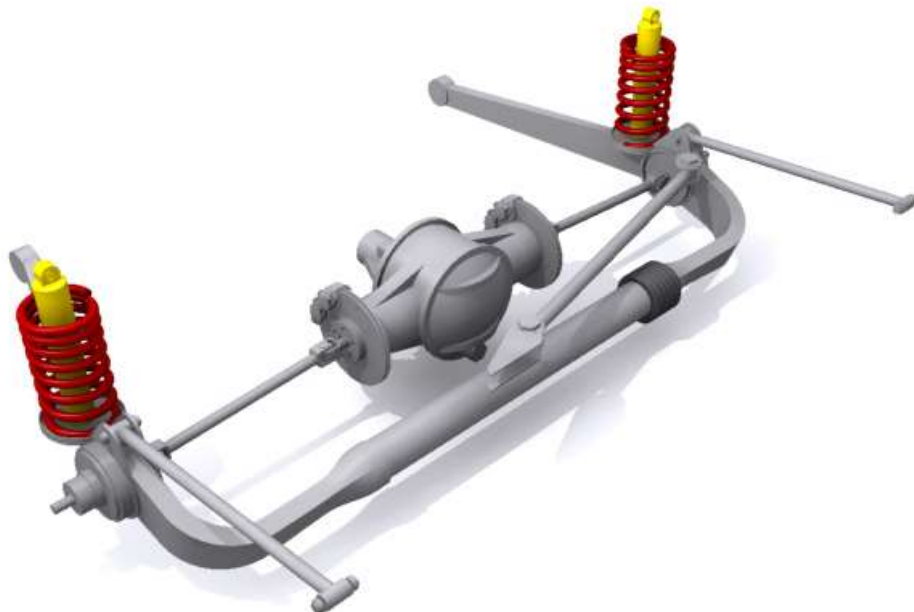


Figura 2.14. Suspensión De Dion.

La configuración con eje De Dion intenta asemejarse en rigidez a una suspensión de eje rígido, pero permitiendo un cambio de inclinación en las ruedas. Los frenos pueden estar montados junto al diferencial y se consigue reducir así las masas no suspendidas.

#### 2.4.1.2 Suspensión independiente

Las suspensiones independientes abarcan los esquemas de suspensión que permiten que una rueda se desplace sin afectar a la otra del mismo eje.

Las suspensiones independientes permiten un mejor control además de una menor masa suspendida en el caso de ejes motrices, por ejemplo. Como inconveniente tiene que la caída de las ruedas puede variar hacia valores no deseados, esto se solventa con un buen diseño y el uso de distintos brazos.

Dentro de la suspensión independiente encontramos diversas configuraciones, algunas de ellas se explican a continuación:



Figura 2.15. Suspensión MacPherson.

Esta configuración que podemos ver en la figura 2.15, es actualmente, sin duda, el sistema de suspensión delantera más ampliamente utilizado en los automóviles de origen europeo y japonés. Es una suspensión simple con buen funcionamiento, básicamente se compone de una combinación de resorte de tipo MacPherson y el amortiguador, que pivota sobre una rótula en el único brazo, que se sitúa en la parte inferior.

En el extremo superior hay una articulación, por ejemplo, un rodamiento de agujas que se puede ver en algunos sistemas más sofisticados.

El buje es el elemento que soporta todas las cargas en este conjunto, con el de muelles y amortiguadores más que cumplir con su deber como se oponen a la tenencia efectiva el coche.

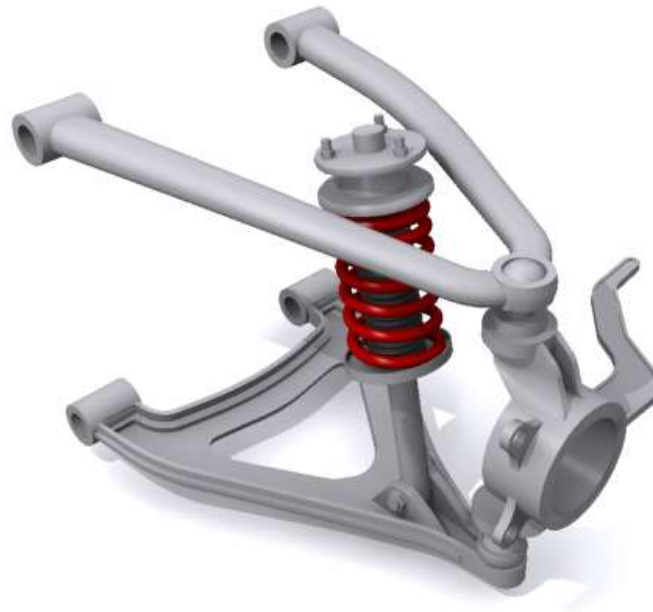


Figura 2.16. Suspensión de doble triángulo.

En la imagen superior, figura 2.16, no se puede ver el amortiguador, ya que está encerrado en el fuelle negro dentro del muelle helicoidal. Con esto se consigue un conjunto de suspensión más compacto.

El engranaje de dirección se puede conectar directamente a la carcasa inferior del amortiguador, o a un brazo de la parte delantera o la parte posterior de la mangueta, que es el caso que podemos apreciar en la figura 2.16. Cuando se gira el volante, la barra de dirección empuja de una mangueta y tira de la otra. Ambas pivotan sobre su eje.

Dentro de esta clasificación que son las suspensiones de doble triángulo o paralelogramo deformable, el brazo inferior lleva la mayor parte de la carga porque alojan la mayor parte componentes y transmiten la mayor parte de los esfuerzos de frenado.



Figura 2.17. Suspensión multi-link.

Un tipo particular de suspensión independiente es el denominado multi-link, podemos apreciarlo en la imagen superior, figura 2.17. Es una configuración con una geometría que permite un gran agarre a la carretera, además puede tener muchos ajustes.

Durante su movimiento también tienen un ligero movimiento de lado a lado ocasionado por el arco que describen los brazos oscilantes alrededor de sus puntos de giro. Este movimiento provoca que los ángulos de la suspensión no permanezcan constantes.



Figura 2.18. Suspensión de doble triángulo.

En esta configuración vuelve a ocurrir que el movimiento de los brazos implica una variación en los ángulos de caída y convergencia. Aunque este efecto se tiene en cuenta en el diseño y se intenta aprovechar de manera favorable, está siempre presente.

Estos dos tipos de movimiento de la rueda con respecto al chasis, ángulo de convergencia "*toe angle*" y el ángulo de caída o "*camber*", se pueden ajustar en la mayoría de los vehículos mediante roscas en los brazos de suspensión y dirección, respectivamente. La convergencia y el ángulo de caída son valores que pueden ser ajustados, y aunque en coches de competición se configuran ángulos bastante altos para lograr grandes rendimientos, en vehículos de calle se configuran valores más conservadores para tener un coche con mejor equilibrio y unos neumáticos que se desgasten menos.

## 2.4.2 Según el mecanismo de control

Se pueden clasificar las suspensiones, según como se controle durante su funcionamiento. Si se actúa o no sobre la misma, si es autónoma o se puede regular durante la marcha. Existen varios tipos de suspensión según su mecanismo de control y se explican a continuación:

### 2.4.2.1 Suspensión pasiva

Este es el mecanismo de control más tradicional y extendido, porque es el más simple y de menor coste. En este sistema, la suspensión trabaja absorbiendo irregularidades del terreno y movimientos del chasis con unos valores prefijados en su



elemento elástico y amortiguador, con un movimiento definido por la geometría de todo el conjunto.

#### 2.4.2.2 Suspensión activa

Si en una suspensión pasiva todos los valores están predefinidos, en la suspensión activa, estos valores pueden cambiar en función de unos sensores y puede adaptarse a cada circunstancia. Esta es la principal ventaja que tienen, poder gestionar cada rueda de forma independiente.

Una suspensión activa se compone de todos unos sistemas que le permite gestionar y controlar de forma independiente la amortiguación de cada una de las ruedas de forma que estas consigan el óptimo contacto con el suelo y con ello, la mejora en la estabilidad y adherencia del vehículo independientemente de las condiciones del piso por el que esté circulando.



Figura 2.19. Williams FW14B.

En la imagen anterior podemos ver una suspensión activa aplicada a un Fórmula 1, la superioridad que le daba esta configuración hizo que se prohibiera en competición esta tecnología.

En algunos vehículos en los que hay grandes variaciones de la carga que se transporta, y para evitar que se desnivele cuando se circula cargado, se utilizan amortiguadores especiales que permiten regular el nivel de la carrocería, de forma que se mantiene la altura al suelo independientemente de las condiciones de carga

La gestión se realiza de forma continua en el tiempo, o mejor dicho de forma discreta, pero con alta frecuencia. Varios sensores situados a lo largo del vehículo (en las ruedas, amortiguadores, sensores giroscópicos) miden los movimientos que realizan el vehículo y envían los datos a una centralita. En función de los parámetros, la centralita envía las órdenes de forma independiente a cada uno de los amortiguadores que en la suspensión activa llevan sistemas neumáticos o hidráulicos en su interior. Estos son los que se encargan de variar la dureza del amortiguador.

También existen suspensiones activas con sistemas que varían la altura total de la carrocería. Esto puede ser de gran utilidad en vehículos todoterreno para mejorar sus cotas de todoterreno o en vehículos deportivos con una altura muy baja para desenvolverse en un entorno urbano.

### 2.4.2.3 Suspensión semi-activa

La suspensión semi-activa se caracteriza por tener amortiguadores cuyo coeficiente de amortiguamiento es modificado por un control externo. Generalmente, estas suspensiones controlan las frecuencias bajas con elementos activos y las frecuencias altas con elementos pasivos.

En las suspensiones semi-activas se suele recurrir a sistemas regulados que permiten la variación de los mecanismos de suspensión y amortiguación de modo que se pueda obtener dos suspensiones en una, optándose por una suspensión blanda en caso de grandes irregularidades en el terreno y cambiándose a una configuración más rígida en el caso de toma de curvas o virajes fuertes

## 2.5 Funcionamiento de la suspensión. Ángulos de suspensión.

El objetivo principal de este proyecto es la construcción de un vehículo enfocado al estudio de los ángulos de suspensión, por lo tanto, se van a exponer los distintos valores que hay dentro de una suspensión y la influencia que tienen en el comportamiento del vehículo y entre ellos.

Estos ángulos que pretenden ser estudiados son: ángulo de salida, convergencia, ángulo de caída, avance:

### *Ángulo de salida*

Se llama ángulo de salida al ángulo ( $A_s$ ) que forman la prolongación del eje del pivote, sobre el que gira la rueda para orientarse, con la prolongación del eje vertical que pasa por el centro de apoyo de la rueda y cuyo vértice coincide en  $A'$ . Este ángulo suele estar comprometido entre  $5$  y  $10^\circ$ , siendo en la mayoría de los vehículos de  $6$  a  $7^\circ$ .

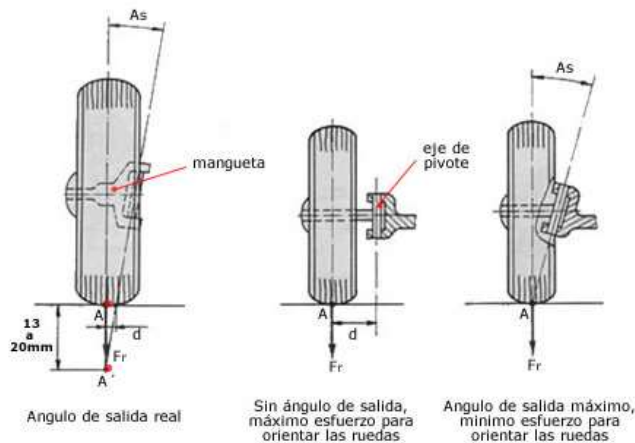


Figura 2.20. Ángulo de salida.

Esta disposición del pivote sobre el que se mueve la mangueta reduce el esfuerzo a realizar para la orientación de la rueda ya que, depende directamente de la distancia "d" (figura inferior) cuanto menor sea "d" menor será el esfuerzo a realizar con el volante para orientar las ruedas. Este esfuerzo será nulo cuando el eje del pivote pase por el punto "A", centro de la superficie de contacto del neumático con el suelo. En este caso solo habría que vencer el esfuerzo de resistencia de rodadura ( $F_r$ ) correspondiente al ancho del neumático, ya que el par de giro sería nulo.

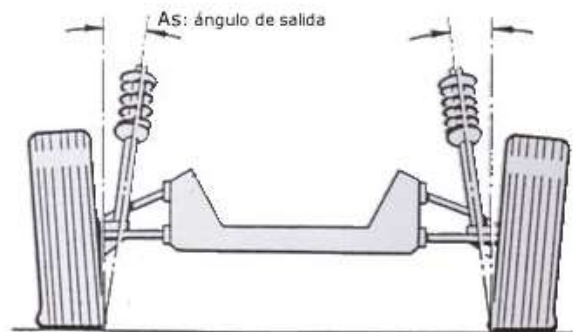


Figura 2.21. Ángulo de salida en un vehículo con suspensión independiente.

En la práctica, el valor de la excentricidad "d" no puede ser cero ya que, entonces la dirección se volvería inestable.

### Ángulo de caída

Se llama ángulo de caída al ángulo "Ac" que forma la prolongación del eje de simetría de la rueda con el vertical que pasa por el centro de apoyo de la rueda. Este ángulo se consigue dando al eje de la mangueta una cierta inclinación con respecto a la horizontal. Tiene por objeto desplazar el peso del vehículo que gravita sobre este eje hacia el interior de la mangueta, disminuyendo así el empuje lateral de los cojinetes sobre los que se apoya la rueda.

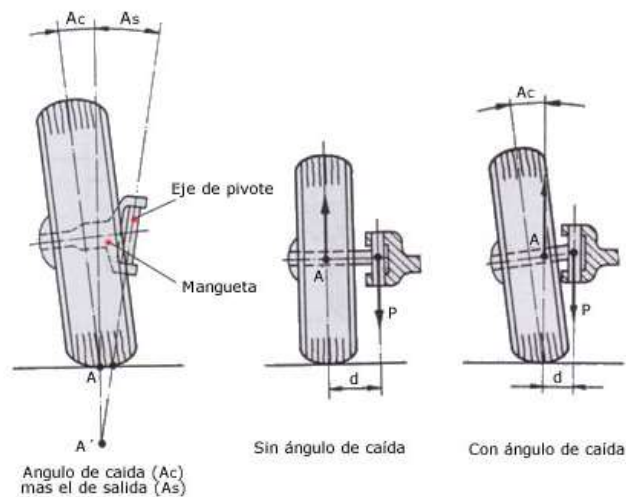


Figura 2.22. Ángulo de caída.

La mangueta está sometida a esfuerzos de flexión equivalentes a peso que sobre ella gravita ( $P$ ) por su brazo de palanca ( $d$ ). Con el ángulo de caída lo que se busca es reducir el brazo de palanca o distancia ( $d$ ), por ello al inclinar la rueda, se desplaza el punto de reacción ( $A$ ) hacia el pivote, con lo que el brazo de palanca o distancia ( $d$ ) se reduce y, por tanto, también se reduce el esfuerzo a que están sometidos los rodamientos de la mangueta.

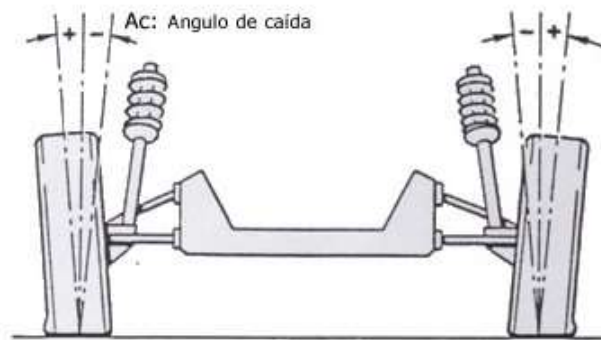


Figura 2.23. Ángulo de caída en un vehículo con suspensión independiente.

El valor del ángulo de caída ( $Ac$ ), que suele estar comprendido entre treinta minutos y un grado, hace disminuir el ángulo de salida ( $As$ ), aunque mantiene se mantiene dentro de unos límites suficientes.

### Ángulo de avance

Se llama ángulo de avance, al ángulo ( $Aa$ ) que forma la prolongación del eje del pivote con el eje vertical que pasa por el centro de la rueda y en el sentido de avance de la misma.

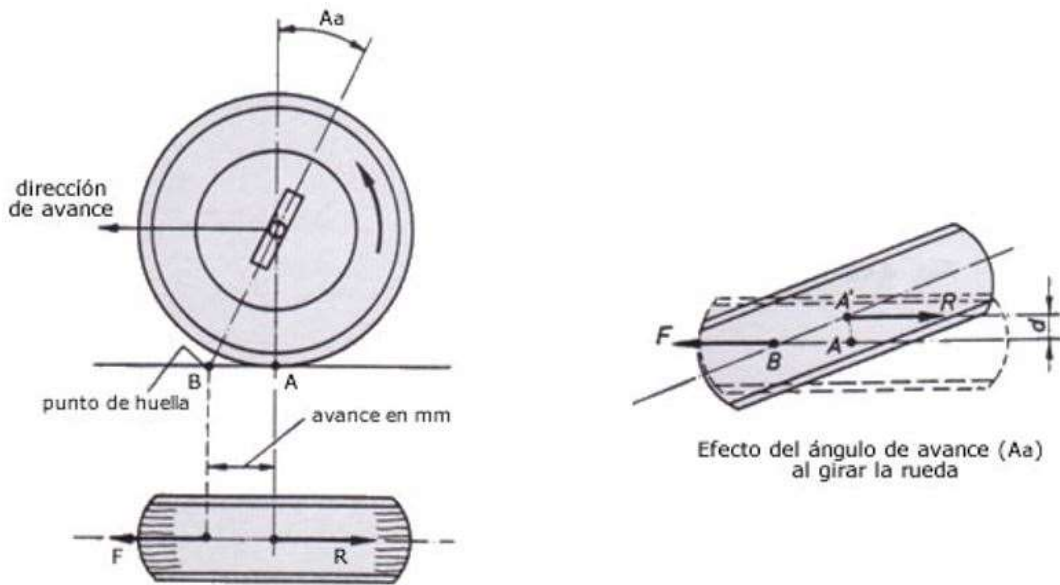


Figura 2.24. Ángulo de avance.

Quando el empuje del vehículo se realiza desde las ruedas traseras (propulsión), el eje delantero es arrastrado desde atrás, lo que supone una inestabilidad en la dirección. Esto se corrige dando al pivote un cierto ángulo de avance ( $Aa$ ), de forma que su eje corte a la línea de desplazamiento un poco por delante del punto (A) de apoyo de la rueda. Con ello aparece una acción de remolque en la propia rueda que da fijeza a la dirección, haciendo que el punto (A) de apoyo tienda a estar siempre en línea recta y por detrás de (B) punto de impulsión.

Al girar la dirección para tomar una curva la rueda se orienta sobre el punto (B) fijado para el avance: esto hace que el punto (A) se desplace hasta ( $A'$ ), creándose un par de fuerzas que tiende a volver a la rueda a su posición de línea recta ya que, en esta posición, al ser ( $d = 0$ ), desaparece el par.

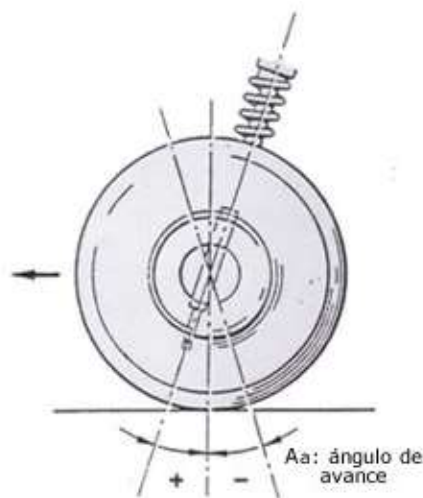


Figura 2.25. Ángulo de avance en un vehículo con suspensión independiente.

De esta forma se consigue dar a la dirección fijeza y estabilidad, ya que las desviaciones que pueda tomar la rueda por las desigualdades del terreno, forman este par de fuerzas que la hacen volver a su posición de línea recta.

El avance debe ser tal, que cumpla la misión encomendada sin perturbar otras condiciones direccionales. Si este ángulo es grande, el par creado también lo es, haciendo que las ruedas se orienten violentamente. Si el ángulo es pequeño o insuficiente, el par de orientación también lo es, resultando una dirección inestable. El ángulo de avance suele estar comprendido entre 0 y 4° para vehículos con motor delantero y de 6 a 12° para vehículos con motor trasero.

### *Convergencia*

La convergencia o paralelismo de las ruedas delanteras es la posición que ocupan las dos ruedas con respecto al eje longitudinal del vehículo. Este valor se mide en milímetros y es la diferencia de distancia existente entre las partes delanteras y traseras de las llantas a la altura de la mangueta; está entre 1 y 10 mm para vehículos con propulsión y cero a menos 2 mm para vehículos con tracción.

El ángulo de caída ( $A_c$ ) y el de salida ( $A_s$ ) hace que la rueda esté inclinada respecto al terreno y que al rodar lo haga sobre la generatriz de un "cono" lo que implica que las ruedas tienden a abrirse. Para corregir esto se cierran las ruedas por su parte delantera, con lo que adelanta el vértice del cono en el sentido de la marcha.

La convergencia también contrarresta el par de orientación que se forma entre el empuje y el rozamiento de la rueda y que tiende a abrirla, siendo esta la razón de que los coches con propulsión tengan mayor convergencia que los de tracción, en efecto: debido al avance y salida, la prolongación del pivote corta al suelo en un punto más adelantado y hacia el centro que el de apoyo del neumático. Si el coche lleva propulsión, la fuerza de empuje se transmite a la rueda delantera a través del pivote y la de resistencia se aplica en el punto de contacto del neumático, esto origina un par de giro que tiende a abrir las ruedas delanteras, cosa que no ocurre en vehículos con tracción ya que la fuerza se aplica en el punto de contacto.

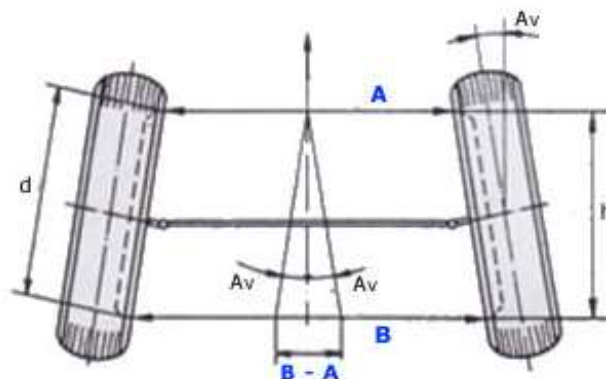


Figura 2.26. Convergencia o ángulo de convergencia.

El ángulo de convergencia ( $A_v$ ) o desviación angular de las ruedas con respecto a la dirección de marcha, se expresa en función de las distancias (A) y (B) y de la cota (h), o bien, del diámetro de la llanta (d). La fórmula para calcular este ángulo es:

$$\text{tg } \Delta v = \frac{B - A}{2 \times h}$$

El que el valor de la convergencia pueda ser positivo o negativo (divergencia) depende de los valores que tengan los ángulos de caída, salida y, además, de que el vehículo sea de tracción delantera o propulsión trasera. El valor de esta convergencia viene determinado por los valores de las cotas de caída, salida y avance.

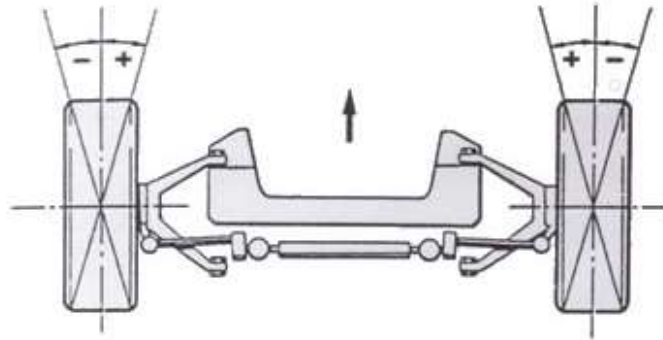


Figura 2.26. Convergencia o ángulo de convergencia.

### 3. Toma de datos

El diseño de la suspensión hidráulica requiere conocer ciertas medidas del vehículo, para poder adaptar los nuevos elementos. Es necesario poder alojar los nuevos componentes, así como tener en cuenta los elementos de suspensión.

El vehículo es un todoterreno marca Santana y modelo 350 del Dpto. de Ingeniería y ciencia de los materiales y del transporte. Este modelo se produjo en la factoría de Santana en Linares, está basado en el Suzuki Vitara, siendo prácticamente iguales ambos modelos, con la única diferencia estética de los faros delanteros y traseros, y muy pocas diferencias mecánicas.

Este modelo tiene el esquema de suspensión delantera MacPherson con barra estabilizadora. El amortiguador se encuentra apoyado sobre el eje y el muelle ligeramente por detrás del palier.

En el tren trasero encontramos un eje rígido con resortes helicoidales. El muelle está encima del eje y el amortiguador se ancla por la parte posterior del eje.

La transmisión original del vehículo es de cinco velocidades con toma directa al eje trasero y conectable al eje delantero sin diferencial central.

El vehículo se encuentra desprovisto de elementos mecánico como motor y sus accesorios, y elementos de transmisión como la caja de cambios, la caja de transferencia o eje de transmisión. No se encuentran tampoco elementos como radiadores, instalación eléctrica o la alimentación de combustible.

Tampoco se encuentran elementos necesarios para su circulación en carretera como son los faros, espejos, paragolpes, parabrisas o ventanas.

Todos los elementos del interior han sido suprimidos a excepción del volante y freno de mano. No cuenta con asientos, tapicería o salpicadero.

Los elementos que son objeto de este proyecto si están presentes, dichos elementos son:

- Chasis
- Ejes delantero y trasero, incluidos diferenciales.
- Suspensiones delantera y trasera, incluidos muelles, amortiguadores y elementos móviles.
- Ruedas, con llantas, neumáticos y equipo de frenos completo en ambos ejes.
- Freno de mano
- Volante y dirección



### 3.1 Medidas y condiciones del vehículo

Para tener un esquema de la suspensión se toman diversas medidas al vehículo en el taller. Dichas medidas nos sirven para conocer el movimiento de toda la suspensión y elegir los componentes adecuados para que tengan un movimiento que alcance todo el recorrido de la suspensión. Además, con las medidas tomadas, se evita que haya interferencias entre los componentes existentes y los nuevos que se instalen.

#### VISTA SUPERIOR DEL VEHÍCULO

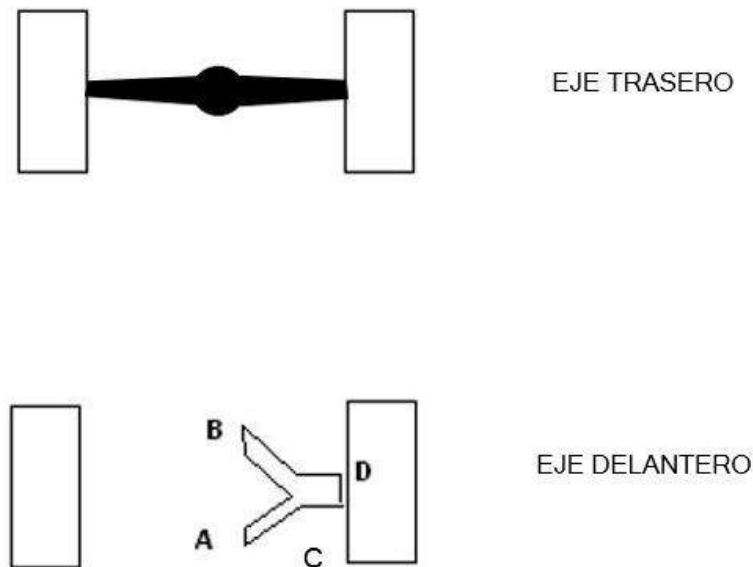


Figura 3.1. Esquema de medidas.

Las medidas se efectuaron con el vehículo en el elevador. Para conseguir unas medidas lo más precisas posibles, situamos una barra en el chasis paralela al suelo. De esta forma alcanzamos todos los puntos de interés con facilidad.

Punto de referencia, distancia al suelo: 67mm respecto barra de apoyo que se coloca apoyado entre los dos triángulos de la suspensión delantera con el objetivo de tomar las medidas:

Para entender el movimiento que describe la suspensión y así poder elegir los elementos hidráulicos se miden ciertos puntos como las articulaciones al chasis del brazo de suspensión (puntos A y B)

- Punto A:

Cota respecto al suelo (Altura del punto A) =281mm

Distancia entre el punto A de ambos lados, A-A':438mm

Medida del punto A con el vehículo suspendido y sin contacto entre las ruedas y el suelo:  $Z_a = 311\text{mm}$ . A partir de este dato y el de la altura con el vehículo apoyado podríamos calcular, si fuese necesario la deflexión estática del vehículo.

- Punto B:  
Cota respecto al suelo (Altura del punto B) =271mm  
Distancia entre el punto B de ambos lados, B-B':438mm
- Punto C, diferencia manguetas en punto inferior (C: tornillo de unión trapecio-mangueta)  
Cota respecto al suelo (Altura del punto C)=125mm  
(141mm desde la mitad de la mangueta)  
Distancia entre el punto C de ambos lados, C-C' :1257mm, esta distancia se refiere a la distancia entre el mismo punto de los brazos del eje delantero.
- Punto D:  
Zd (Altura del punto D) =176mm (233 respecto suelo)  
Con el vehículo suspendido por completo: Zd=257 mm  
Levantado C-C': 1254 mm  
-distancia entre caras internas viga chasis: 700 mm
- Resorte helicoidal: La diferencia tope-base, que sería el recorrido de la suspensión antes de hacer tope, entre 63-64 mm, está medida será útil para calcular el recorrido necesario en el cilindro hidráulico.
- Neumáticos con medida 205/70 R15, que tiene un diámetro de 668mm

A continuación, se muestran varias medidas de las medidas tomadas en el taller de automóviles:



Figura 3.2. Medida del amortiguador trasero.



Figura 3.3. Medida del muelle delantero.

## 3.2 Pesaje

La masa del vehículo en las condiciones de entrega es de 703,5 kg. Para el pesaje se ha utilizado un dinamómetro electrónico MINIDIN de la marca DINAKSA. Tendremos en cuenta que el dinamómetro nos ofrece el valor en kg, es decir, aunque mide la fuerza de tracción entre sus dos presillas, da el valor de la masa, no el del peso que se obtiene multiplicando por la gravedad y tendrá un valor en Newton.



Figura 3.2. Detalle del procedimiento de pesaje.

Se eleva el vehículo usando un puente grúa, el gancho dinamómetro se sitúa entre el cable del puente-grúa y las cintas de sujeción. Mediante este procedimiento también se calcula el centro de gravedad del vehículo en el apartado 4.1.



Figura 3.3. Imagen tomada durante el pesaje.

Como resultado, tenemos que la masa del vehículo tras descontar la de gancho y cinta, es de 703.5kg. Este valor menor que la mitad de una unidad homologada y en condiciones de circulación, la unidad que tenemos disponible para este proyecto está desprovista del motor y sus accesorios, caja de cambio, transmisión delantera, faros, lunas, así como todos los elementos interiores y de confort (asientos, tapicerías, etcétera).

La masa en orden de marcha en ficha técnica del vehículo es de 1492kg en la versión 1.6HDI, que fue una de las últimas versiones puesta a la venta por Santana Motor ([www.arpem.com](http://www.arpem.com)).

Este detalle resulta de interés para conocer la importancia de la masa de todos los componentes del vehículo. Obviamente, el diseño de una suspensión no puede ser el

mismo tomando un dato u otro. En cualquier caso, para el cálculo de la suspensión que alberga este proyecto tomaremos el valor medido en el taller, ya que será el que más se aproxime al uso del sistema en los ensayos.

## 4. Cálculos

### 4.1 Cálculo del centro de gravedad del vehículo.

Como se ha comentado en el apartado anterior, en el proceso de pesaje se utilizó un dinamómetro electrónico modelo MINIDIN, de la marca DINAKSA, con dicho dato podemos calcular varios valores para lograr un mejor dimensionamiento de los componentes de la suspensión. Estos valores de especial interés son: peso del vehículo y distribución de dicho peso en cada una de las cuatro ruedas del Santana 350.



Figura 4.1. Imágenes tomadas durante el pesaje.

Como podemos ver en la imagen anterior el vehículo queda suspendido, y variando la posición de la cinta se consigue dejar el coche suspendido y en posición completamente horizontal, se mide la distancia de la proyección perpendicular este punto de soporte con respecto a dichos ejes.

Sabiendo que la batalla del vehículo es de 2480 mm, y en el momento de pesaje el coche se equilibra en posición horizontal, podemos calcular la posición longitudinal del centro de gravedad del vehículo.

Este dato nos sirve para conocer el reparto de peso del vehículo en ambos ejes, dato importante para dimensionar el cilindro hidráulico en cada eje.



Figura 4.2. Imagen ilustrativa del reparto de pesos

Con dicha distribución de pesos podemos cuantificar la fuerza necesaria que debe ejercer cada cilindro hidráulico, así como una estimación de la potencia necesaria de la bomba hidráulica.

El centro de gravedad podemos considerarlo en el eje longitudinal el vehículo, es decir, las ruedas del lado izquierdo no van a soportar más peso que las del lado derecho o viceversa.

Sabiendo que la batalla del vehículo o distancia entre ejes es de 2480mm y midiendo la posición a la que se eleva podemos determinar que:

Distancia medida=1203mm → 48.5% atrás

Distancia= 2480mm-1203mm → 51.5% delante

Si suponemos que el vehículo tiene una distribución longitudinal simétrica, esto es, que ambas ruedas de un mismo eje soportan el mismo peso, entonces, tenemos la siguiente distribución de peso:

$703.5\text{kg} \cdot 48.5 / 2$  **170.6 En cada rueda trasera**

$703.5\text{kg} \cdot 51.5 / 2$  **181.2 En cada rueda delantera**

Para poder asumir el incremento masa de los equipos extra, vamos a suponer un incremento de la masa total del vehículo. Además, los equipos más pesados se ubicarán en su mayoría en la parte trasera del vehículo, por tanto, podemos que el reparto de pesos en las cuatro ruedas es homogéneo y lo podemos tomar igual a 200kg.

Esta suposición será debidamente comprobada cuando se seleccionen los equipos a instalar, tanto si la masa de los equipos no excede el valor que hemos tomado como si la distribución de peso resultante no se adapta a la hipótesis tomada.

## 4.2 Cálculo de equipos hidráulicos

A continuación, se exponen los cálculos de cada uno de los equipos hidráulicos necesarios para el funcionamiento del sistema con las características que se requieren para cada uno de ellos. Todos los componentes están pensados para trabajar en conjunto.

### 4.2.1 Cálculo de cilindros hidráulicos

Para dimensionar y escoger los elementos hidráulicos que necesitamos vamos a necesitar todos los datos que se ha tomado en taller y que se recogen en apartados anteriores. Vamos a necesitar algunas medidas y la masa del vehículo.

En nuestra instalación tenemos una serie de requisitos como son la transmisión de fuerza, precisión en el posicionamiento, facilidad de manejo y baja sonoridad. Todos estos requisitos están mejor resueltos con una instalación hidráulica que con una instalación neumática.

Vamos a seleccionar los elementos siguiendo un orden que puede ser favorable para una posible iteración en caso de no obtener los resultados deseados, y teniendo siempre en cuenta que se pueden volver a calcular para satisfacer todas las condiciones.

En primer lugar, vamos a tener en cuenta las dimensiones del vehículo, la geometría de la suspensión y las limitaciones geométricas.

Para lograr alcanzar todos los puntos de la suspensión original, el cilindro hidráulico que necesitamos debe tener una longitud en extensión mínima de 400 mm un recorrido útil de 160 mm y una longitud en compresión máxima de 210 mm.

Entonces, con estos datos, podemos escoger un cilindro de 200mm de longitud con un vástago de 200mm de longitud.

Tomamos los valores característicos de presión de funcionamiento de bombas, mandos tuberías, etc. Vamos a elegir los componentes dentro de un rango de valores lo más extendido posible. Por su uso en diferentes aplicaciones industriales vamos a escoger componentes con presiones nominales de 200bar.

Estos equipos tienen un amplio campo de aplicación desde uso industrial hasta maquinaria civil o agrícola. Las características de estos se adaptan al uso que queremos darle y la gran disponibilidad de elementos y fabricantes es una ventaja en cuanto a facilidad de encontrar elementos adecuados, conseguir fácilmente recambios y un coste total de instalación más bajo.

Con esto eliminamos la posibilidad de necesitar piezas muy específicas o muy complejas, evitando tener que mecanizar piezas y elevar los costes. Estos elementos suelen tener un montaje muy extendido, y no requiere unas herramientas muy complejas para instalar los equipos.



Los elementos hidráulicos más comunes suelen funcionar a la presión escogida, es una presión nominal muy extendida entre fabricantes y distribuidores locales.

En primer lugar, calcularemos la fuerza necesaria para elevar el vehículo

$$F = m \cdot g$$

Nota: En la ecuación anterior los vectores están indicados con letra cursiva, aunque el análisis que vamos a hacer es unidireccional y no requiere considerar la dirección. De aquí en adelante las ecuaciones se expondrán vectorialmente.

$$F = 200 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1962 \text{ N}$$

Con esta fuerza mínima y la presión de trabajo podemos calcular el área que necesitamos trabajando a compresión. Pero realmente escogeremos un valor algo superior, ya que no queremos tener el vehículo en equilibrio, realmente queremos que se mantenga fijo en una posición y poder trabajar rápidamente alrededor de ella.

$$F = P \cdot \text{Área}$$

Vamos a suponer una presión de trabajo de 150 bar, que es un valor estándar donde se sitúan el punto de funcionamiento de las bombas más usuales. Este valor se comprobará después.

$$\text{Área} = \frac{F}{P} = 130.8 \text{ mm}^2$$

(tomando 1bar = 0,1 MPa)

Por lo tanto, necesitamos un cilindro con un pistón mínimo que aplique dicha fuerza. Conociendo el área necesaria obtenemos el diámetro:

$$\text{Área} = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

Por lo tanto, el diámetro de pistón mínimo que necesitamos es de 12,9 mm, este valor no está dentro los diámetros comerciales, por lo tanto, deberá ser ajustado a un diámetro estándar de cilindro hidráulico tras realizar el resto de comprobaciones.

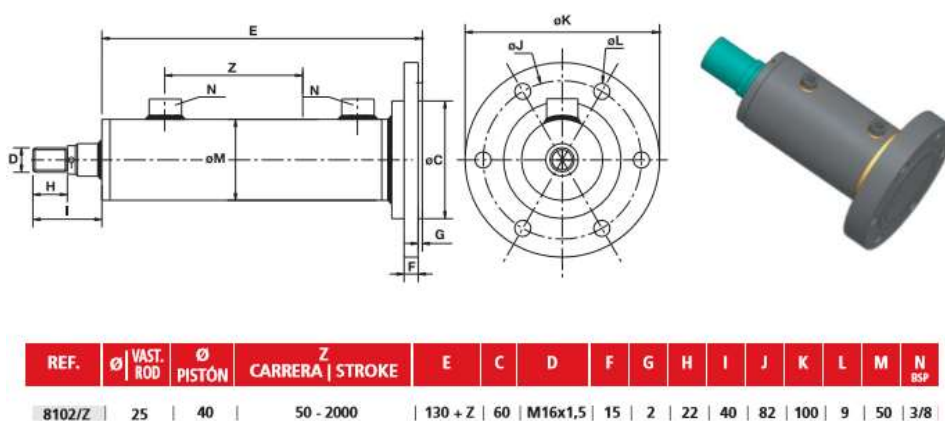


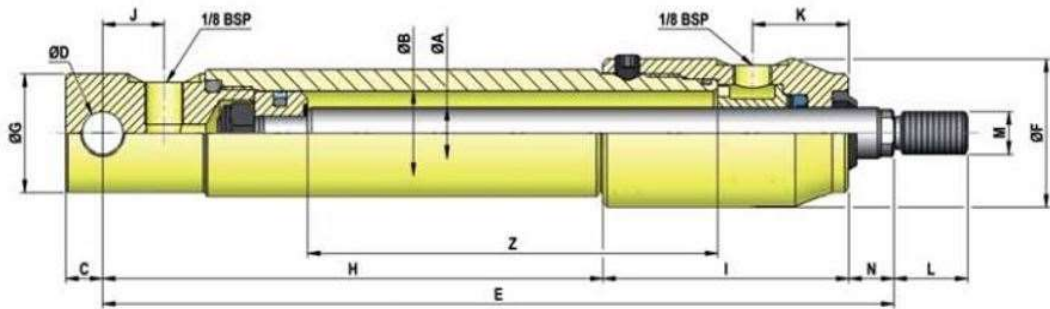
Figura 4.3. Imagen del cilindro hidráulico

Podemos elegir un cilindro con un diámetro de 16 mm, por ejemplo, y comprobar su funcionamiento. Con este nuevo diámetro se calcula la presión mínima necesaria para elevar el vehículo. El área del vástago es de 201 mm<sup>2</sup>,

$$F = P \cdot \text{Área}$$

y por lo tanto el circuito debe estar limitado a una presión de 125 bares para tener la capacidad de elevar el vehículo.

Un cilindro que cumple todas estas especificaciones y dimensiones es la serie “micro cilindro de doble efecto” del fabricante Cicrosa, con referencia: 71625/200.



REF.	Ø A	Ø B	Z Carrera Stroke Course	E	C	D	F	G	H	I	J	K	L	M	N	Vol. (cm <sup>3</sup> )	Peso (kg) Weight Poids
71220/25	12	20	25	118	9	10	35	28	47	60	15	23,5	18	M10	11	12	0,58
71220/50			50	143	9	10	35	28	72	60	15	23,5	18	M10	11	20	0,66
71220/80			80	173	9	10	35	28	102	60	15	23,5	18	M10	11	29	0,76
71625/50	16	25	50	146	11	12	40	35	72	65	18	25	22	M12	9	31	0,94
71625/100			100	196	11	12	40	35	122	65	18	25	22	M12	9	56	1,22
71625/150			150	246	11	12	40	35	172	65	18	25	22	M12	9	80	1,50
71625/200			200	296	11	12	40	35	222	65	18	25	22	M12	9	105	1,78

Figura 4.4. Detalle del cilindro hidráulico escogido.

Ahora vamos a calcular si un vástago de la longitud escogida cumple el criterio de pandeo, si dicho vástago no resulta válido aumentaremos el diámetro del mismo, aunque eso nos lleve a disminuir la presión del circuito o rediseñar toda la instalación.

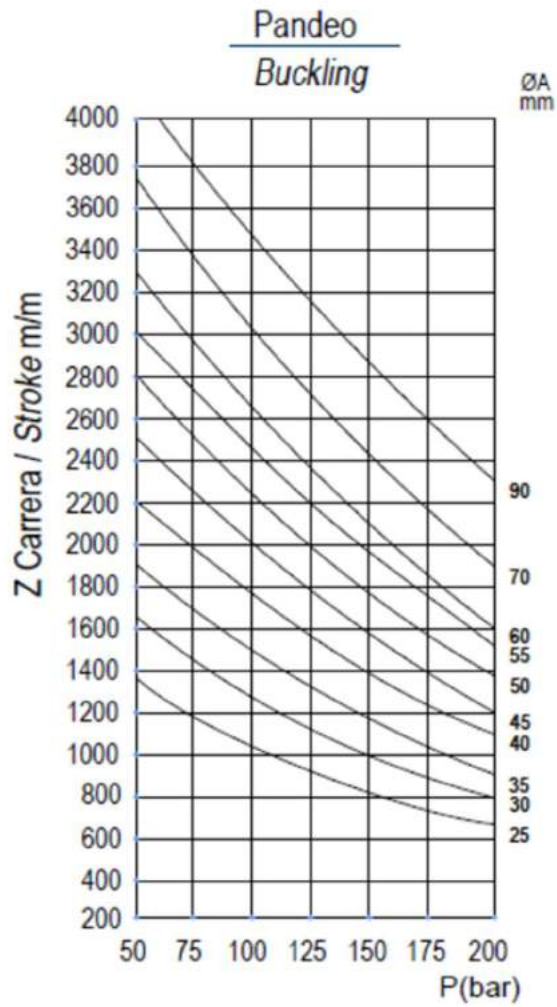


Figura 4.5. Curva de pandeo.

En la gráfica anterior, aunque el valor mínimo de diámetro es de 25 mm, podemos intuir que el cilindro de 16mm cumple con los valores de presión y longitud. En cualquier caso, a continuación, se expone un diagrama con mayor rango de valores.

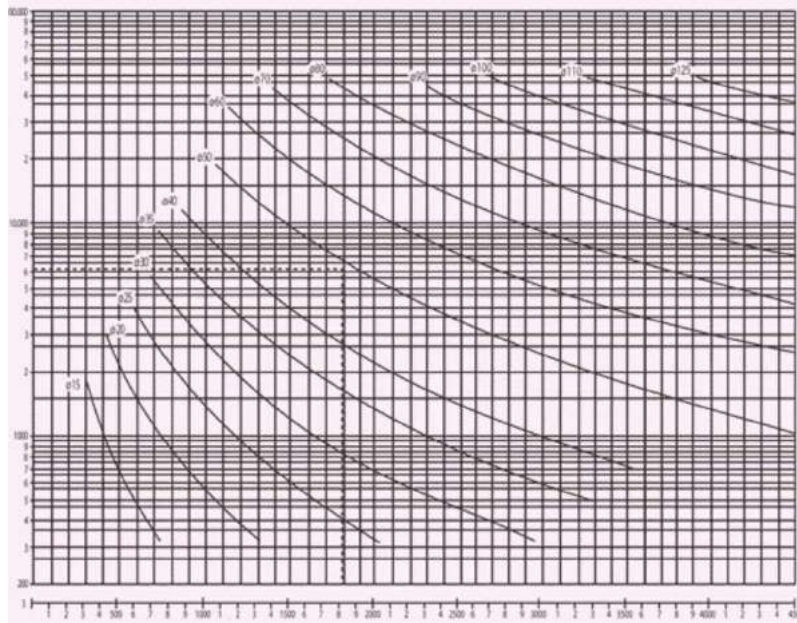


Figura 4.6. Curva de pandeo.

En esta gráfica (Figura 4.6) encontramos en el eje vertical la fuerza expresada en kgf y en el horizontal la carrera en milímetros. Podemos comprobar con precisión que el vástago escogido funciona bien dentro de los valores de carrera y presión a los que se va a someter, por lo tanto, tras comprobar que los parámetros escogidos siguen cumpliendo las suposiciones tomadas podemos dar por válido el cilindro hidráulico escogido.

#### 4.2.2 Cálculo de la bomba hidráulica

Las especificaciones de caudal y presión que debe cumplir la bomba han sido explicadas en el apartado anterior. Al disponer de un acumulador hidráulico de presión, el caudal que debe proporcionar la bomba queda determinado por el tiempo de carga de dicho acumulador. La presión nominal de la bomba si debe tener un valor en torno a la presión de cálculo de la instalación. Para conseguir la presión de trabajo se va a usar una válvula limitadora de presión.

Vamos a suponer un tiempo de cargar para la carga completa del acumulador de 3 minutos. Esto nos proporcionará un caudal que determinará la potencia necesaria del conjunto motor-bomba. El volumen aproximado del acumulador es de 40 litros. Si queremos llenarlo en dos minutos tenemos un caudal requerido de 13,3 litros por minuto o 0,22 l/s. Vamos a tomar para el aceite hidráulico una densidad de 850 kg/m<sup>3</sup>, el valor de la gravedad es 9.81m/s<sup>2</sup>, por lo tanto,

$$P = \rho g Q H$$



Figura 4.7. Conjunto de motor eléctrico y bomba hidráulica.

Y resulta una potencia necesaria aproximadamente de 2,900 kW. Una buena opción sería una de las minicentrales hidráulicas disponibles en el mercado, suelen ser equipos muy completos y compactos como podemos ver en la figura 4.7 estos equipos suelen tener tamaños apropiados para esta función. Además del propio tanque para contener el aceite hidráulico sin presión, cuenta con manómetros y protecciones incorporados.

La bomba está formada por un conjunto de motor eléctrico y bomba hidráulica. La bomba es del tipo de engranajes, y el motor que la impulsa funciona con corriente alterna a 220V

Como opción válida podemos elegir el conjunto del fabricante Hidraoil con referencia "MH220VAC", este equipo funciona con la alimentación requerida, está disponible con potencias de hasta 3kW, dispone de regulador de caudal y válvulas de emergencia y proporciona un caudal nominal de 25 litros por minuto.

### 4.2.3 Cálculo del acumulador de presión

Los fluidos apenas pueden comprimirse, por lo que no almacenan energía de presión. En los acumuladores hidroneumáticos se emplea la capacidad de compresión de un gas para el almacenamiento de fluidos.

El acumulador más adecuado para el uso que requiere en el vehículo resulta ser un acumulador de vejiga. Estos se basan en el principio antes comentado, y se usa nitrógeno como medio compresible.

Las mejoras que proporciona un acumulador de energía en forma de aceite hidráulico a presión proporciona varias ventajas. La posibilidad de poder actuar sobre los elementos hidráulicos sin la necesidad de alimentar el circuito continuamente con una bomba permite un uso de la instalación de forma autónoma, esto permite poder alejar el coche de la fuente eléctrica, a su vez, permite eliminar un riesgo eléctrico de los ensayos mientras hay usuarios cerca.

Podemos comentar también un descenso del consumo energético durante la prueba y una reducción del ruido. Esto último, mejora la salud en cuanto a contaminación acústica y permite unas explicaciones más efectivas.

Además, los requisitos de caudal de la bomba son menores gracias a este acumulador y el funcionamiento conjunto del motor eléctrico y la bomba es más eficiente gracias al funcionamiento más continuo, esto quiere decir que tendrá durante su funcionamiento menos arranques y paradas



Figura 4.8. Imagen del acumulador hidráulico.

Las consideraciones para la selección de un acumulador hidráulico de presión son las siguientes:

- Presión de entrada y presión mínima de salida. Como presión máxima tomaremos la presión de trabajo y como presión mínima de 75 bares.
- Volumen de fluido acumulado. Según el número de ciclos que queramos ejecutar sin tener que arrancar el conjunto motor y bomba.

Cada cilindro tiene un volumen interior máximo de 0,105 litros, las tuberías tienen una longitud aproximada de 12 metros y siendo de media pulgada de diámetro, tienen un volumen total 1,6 litros. Además, debemos tener en cuenta la capacidad del filtro para el posterior llenado completo del circuito. Por lo tanto, si queremos realizar al menos cuatro maniobras completas de todos los cilindros hidráulicos antes de volver a arrancar el equipo, necesitamos un volumen útil mayor a 3,28 litros

También se debe tener en cuenta la temperatura de funcionamiento del acumulador porque el gas que contiene no se considera incompresible ni adiabático como el líquido hidráulico. Por lo tanto, se tiene en cuenta las pérdidas de energía del proceso no conservativo al comprimir y descomprimir el gas.

Estas características requeridas para el acumulador hidráulico de presión las podemos buscar en el catálogo de algún fabricante especializado, como por ejemplo el fabricante Hydac. Tras consultar su catálogo y usar las herramientas que proporcionan para el dimensionamiento correcto, obtenemos los siguientes resultados.

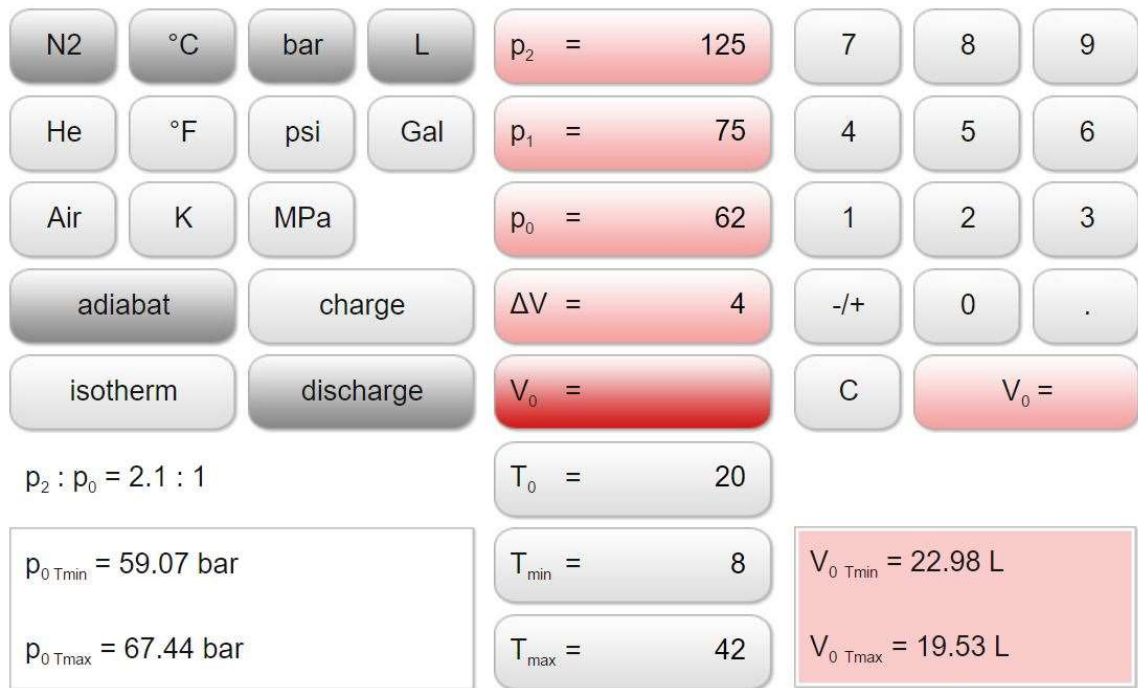


Figura 4.9. Cálculos del acumulador hidráulico.

Necesitamos un acumulador de 23 litros de gas presurizado a 62 bar. En este fabricante lo encontramos con la referencia:

SB330 H-24 A 1/112U-330 A 062

Este equipo viene tarado a las presiones indicadas y tiene sus propias protecciones de seguridad. Incorpora un sensor de presión que desconecta el motor eléctrico al alcanzar la presión establecida.

## 5. Circuito hidráulico

En este apartado vamos a proponer distintos esquemas de circuito hidráulico, explicando las características de cada uno y las diferencias con el resto de esquemas.

Nuestro sistema recurre a equipos hidráulicos en lugar de neumáticos por los motivos descritos en el apartado 4.2.1 y porque no buscamos una gran velocidad de movimiento para tomar medidas estáticas.

Una serie de elementos son comunes, la más destacable de ellas es el cilindro hidráulico de doble efecto. Se descarta un cilindro de simple efecto con o sin muelle de recuperación por los motivos que se exponen a continuación.

El principal motivo para elegir un cilindro de doble efecto es la necesidad de colocar la suspensión en una posición determinada independientemente de la carga del vehículo o la altura de la suspensión de la rueda del mismo eje o las ruedas del otro eje del vehículo. La ausencia de un resorte puede posibilitar ciertas simulaciones, por ejemplo, en el caso de un ensayo con tres ruedas en su máxima extensión y la suspensión de la otra rueda comprimida se elimina la influencia de un cilindro en el resto. Con esto se consigue que el ensayo se pueda llevar a cabo más precisa y rápidamente. Con el cilindro de doble efecto no se requiere realizar correcciones y el orden, velocidad o simultaneidad de aplicación de presión a los distintos cilindros hidráulicos no tiene influencia negativa en el desarrollo del ensayo.

A la vez el ensayo es exactamente repetible y definible en cuanto a tiempos de desplazamiento. Con un cilindro de simple efecto queda el retorno supeditado a al rozamiento de todas las partes implicadas, la sección de los tubos y la viscosidad del aceite.

Además, esta elección tiene mayor seguridad en cuanto a estanqueidad de la cámara del muelle y se evita la hipotética rotura del mismo.

Otro elemento común es el grupo de motor y bomba, este ha sido calculado en el apartado 4.2.2 y teniendo en cuenta el acumulador para el correcto dimensionamiento de la bomba.

### 5.1 Circuito hidráulico simple para un solo eje

Una primera propuesta para la instalación de la suspensión hidráulica la podemos ver en la figura 5.1. Es la más simple, y puede ser implementada en tanto en un eje como en los dos, aunque sería más interesante en el delantero. Consta de unos elementos mínimos para funcionar y garantizar la seguridad, pero su capacidad de generar movimientos en la suspensión es limitada.



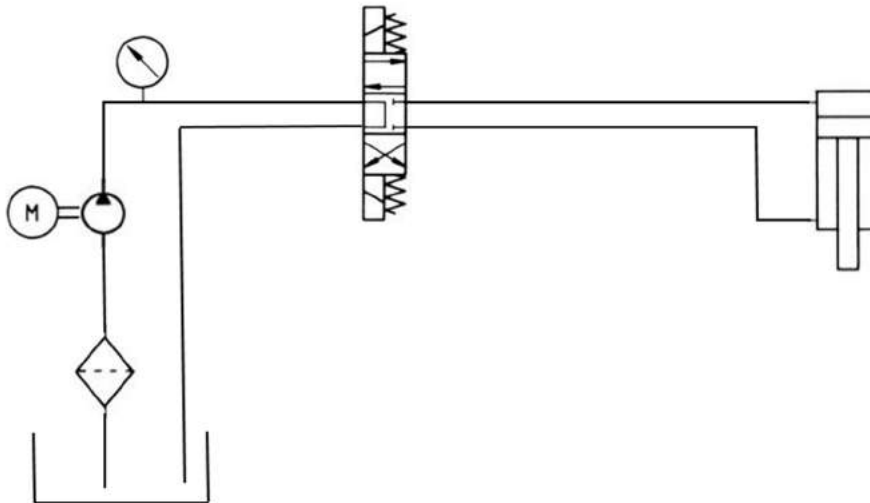


Figura 5.1. Circuito simple para un sólo eje.

## 5.2 Circuito hidráulico simple para un solo eje con acumulador de presión

En esta propuesta se incluye un acumulador de presión hidráulico para almacenar el fluido hidráulico a presión.

Al incorporar un acumulador de presión al circuito hidráulico contemplamos varias mejoras en el uso del vehículo.

La primera es de ellas es la autonomía que consigue el vehículo, con la posibilidad de usar el mismo sin ningún cable que tenga que estar conectado a la red eléctrica. Esto nos permite hacer los ensayos fuera de la nave e incluso, dado el caso, con el vehículo en movimiento. El esquema del circuito hidráulico con acumulador de presión lo podemos ver en la figura 5.2.

El dimensionamiento de este acumulador lo podemos ver en el capítulo anterior, apartado 4.2.3.

La segunda de las mejoras va enfocada al tema de la seguridad, al no tener conectada la bomba a la corriente eléctrica. Esto permite poder acercarse al vehículo durante el ensayo sin mayores riesgos.

La tercera y última de las mejoras apreciadas es el descenso del ruido durante el ensayo al desconectar la bomba, lo cual además de permite una mejor comunicación para las explicaciones docentes.

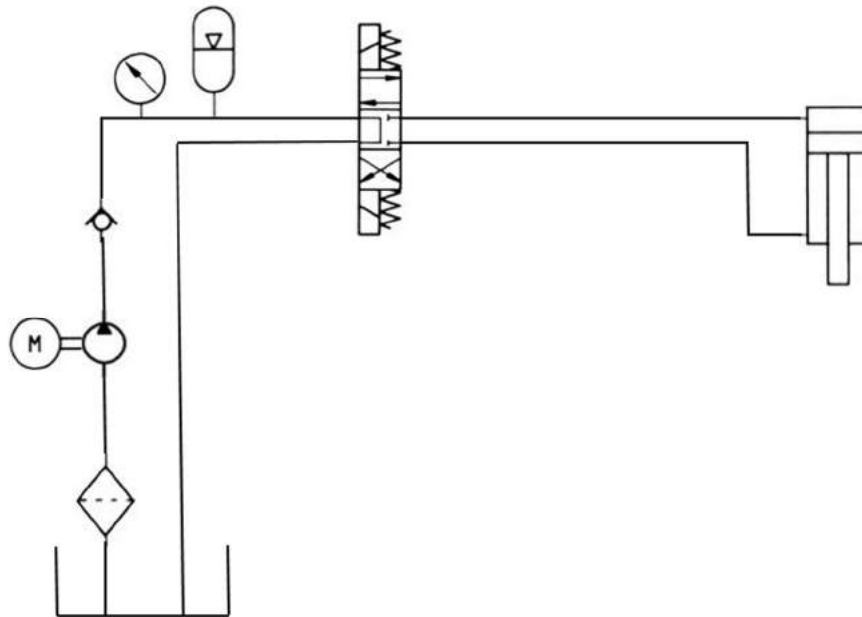


Figura 5.2 Circuito doble para un sólo eje.

### 5.3 Circuito hidráulico con cilindro de doble efecto y acumulador de presión

Este último esquema de montaje es similar al anterior, pero además incluye suspensión hidráulica en ambos ejes.

Esta posibilidad es la más completa porque podemos simular un cambio de altura en todo el vehículo. Aunque en el esquema particular de suspensión del Santana 350 encontremos en la parte delantera una suspensión con más interés de estudio en cuanto a los ángulos de la suspensión y cómo varían durante su recorrido

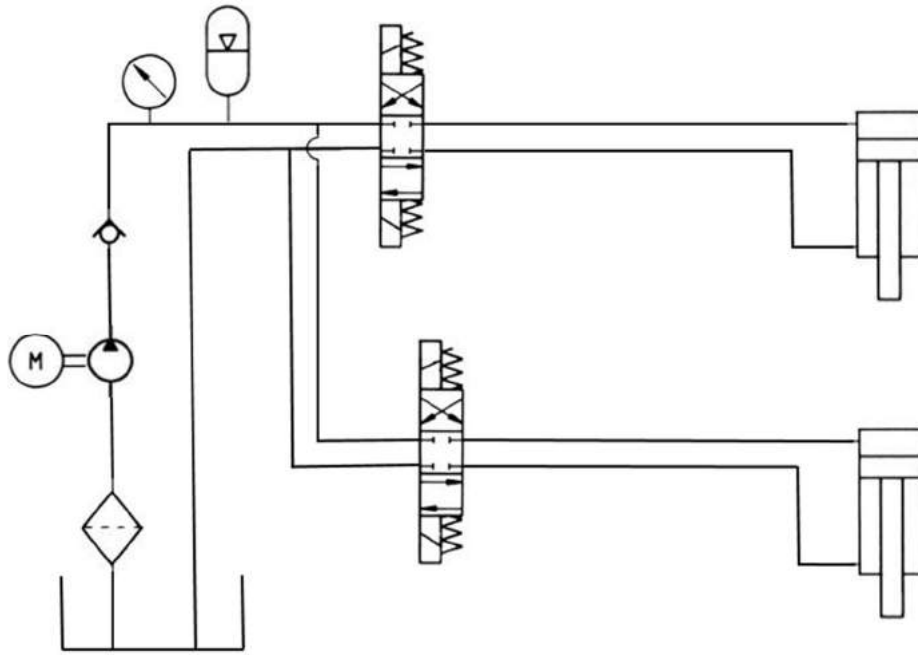


Figura 5.3. Circuito hidráulico doble para los dos eje

Se incluyen también ciertas medidas de seguridad en la última versión, Figura 5.4, tras la válvula antiretorno se coloca una válvula limitadora de presión que evite una sobrepresión en el circuito y el riesgo que ello conlleva.

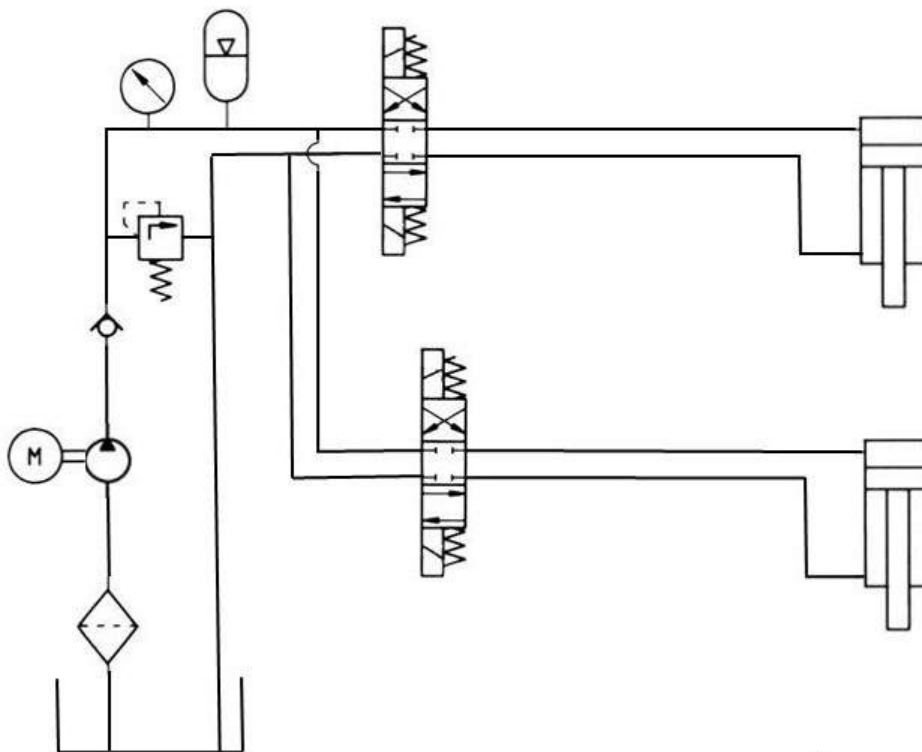


Figura 5.4 Circuito hidráulico para los dos ejes con protecciones hidráulicas.

## 5.4 Lista de elementos necesarios

- Tuberías/Manguitos, de ½", cumpliendo la normativa
- Válvula limitadora de presión, que se tara a la presión de trabajo de 125 bar.
- Acumulador con protecciones hidráulicas, descrito en el apartado 4.2.3
- Manómetros para comprobar el correcto funcionamiento del equipo.
- Válvulas antiretorno, colocadas en la posición descrita en el apartado de montaje.
- Válvula 4/3 normalmente cerrada como podemos ver en el apartado anterior. Diámetro nominal 1/2"

## 5.5 Montaje

Para el montaje se van a detallar a continuación unas instrucciones de ensamblaje y unas notas aclaratorias partiendo de una serie de datos:

El vehículo Santana 350 tiene una longitud total de 4.040mm, una anchura de 1.635mm y una altura de la carrocería en condiciones de circulación de 1.700mm. La altura libre en dichas condiciones es de 210mm. La altura libre y la altura total de la carrocería depende de la masa del vehículo y de la carga del mismo.

En condiciones de circulación y con carga, dichas magnitudes varían por la deformación elástica de los elementos de suspensión y de los neumáticos. Pero para el montaje de la suspensión estos datos no tienen influencia, y una vez instalado todo el sistema se podrá ajustar tanto la altura de la carrocería como la altura libre al suelo, que una de las posibilidades que permite este sistema de suspensión hidráulica.

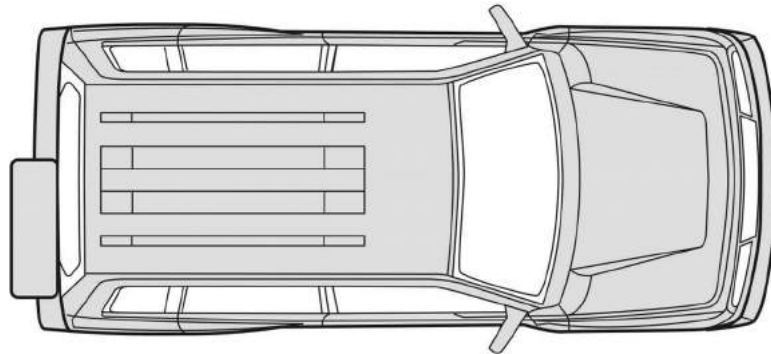


Figura 5.5 Vista superior del vehículo

Con estos datos y las medidas de la suspensión, recogidos en el apartado 3.1, podemos definir una ubicación para cada elemento del sistema, así como del ruteado de los conductos hidráulicos

Para disponer los elementos vamos a buscar que la ubicación de los nuevos elementos sea en los soportes originales del vehículo, es decir, usar los soportes de los elementos desinstalados como muelles y amortiguadores para los cilindros hidráulicos. Por su puesto, estos soportes tienen la rigidez necesaria para ser un punto para elevar el vehículo, también tienen buena disposición para transmitir su fuerza y

generar el movimiento. Además, al retirar el muelle y el amortiguador originales, queda un buen espacio libre aprovechable para ubicar un cilindro hidráulico y sus dos conductos de presión

En la suspensión delantera el amortiguador se va disponer en los soportes del amortiguador por tres motivos:



Figura 5.6 Vista superior del vehículo

El primero de ellos se debe al anclaje del mismo con el eje porque va justo encima del eje y tiene unas dimensiones muy similares a las de amortiguador.

El segundo de ellos se refleja en que el amortiguador tiene un recorrido perfectamente válido para desarrollar toda la amplitud del movimiento de la suspensión. Esto es lógico, porque el amortiguador debe realizar su función de amortiguación durante todo el recorrido libre de la rueda con respecto a las masas suspendidas.

En tercer y último lugar, destaca la sujeción tan apropiada que tiene para soportar un cilindro hidráulico. El amortiguador es un cuerpo cilíndrico y el pistón hidráulico también lo es. Ambos tienen dimensiones muy similares, y la abrazadera inferior es perfectamente válida para anclar un cilindro hidráulico de 200 milímetros. La sujeción podemos verla en la figura 5.6 de la derecha.



Figura 5.7 Vista del amortiguador trasero

El anclaje superior también es válido para anclar el cilindro hidráulico. El cilindro hidráulico se suministra con un extremo roscado por lo tanto el montaje es idéntico al del amortiguador original (podemos ver este tipo de unión en la figura 5.8). El casquillo de goma existente se mantiene para que este pueda asumir los pequeños desplazamientos y se auto alinee.



Figura 5.8 Cilindro hidráulico con el extremo superior roscado

En la suspensión trasera, aunque el elemento amortiguador discurre por detrás del eje, resulta interesante la ubicación del amortiguador original del vehículo por los motivos antes indicados.



Figura 5.5 Vista del anclaje superior del amortiguador trasero

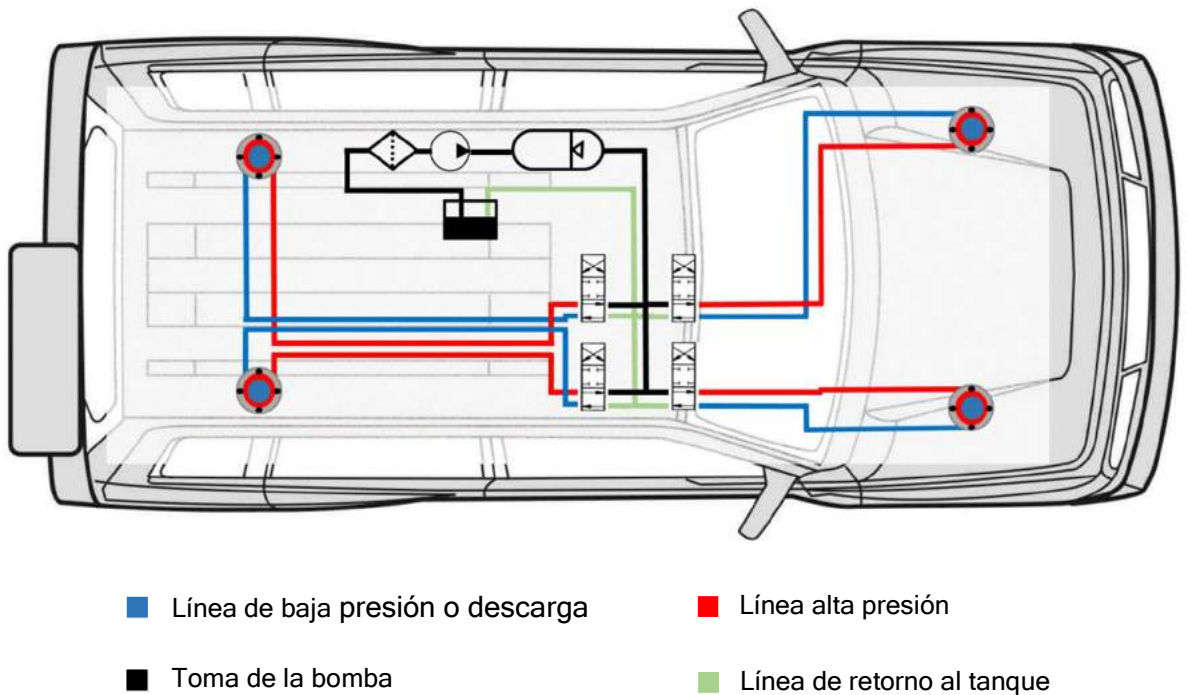
Con los elementos señalados en los apartados anteriores, podemos plantear una distribución de todos los elementos y se incluye un pequeño esquema para facilitar la ubicación de los mismos.

Como hemos explicado anteriormente, para el correcto funcionamiento de la suspensión, consideramos que para instalar los nuevos cilindros hidráulicos la ubicación más apropiada para ambos ejes es la posición original de los amortiguadores.

Además, en ambos ejes, el amortiguador queda más cerca de la rueda, por lo tanto, la distancia al punto de articulación entre el brazo de suspensión y el chasis es mayor y, por consiguiente, los esfuerzos necesarios para elevar el vehículo son menores.

En la posición del resorte helicoidal trasero encontraríamos un inconveniente para alojar nuestro cilindro hidráulico: el muelle de la suspensión trasera tiene cierta inclinación con respecto a la vertical. Y los apoyos en el eje no son adecuados para el cilindro porque tiene una forma plana adapta a muelles helicoidales.

En cambio, las cogidas del amortiguador al eje son abrazaderas mucho más apropiado para el correcto anclaje de un elemento cilíndrico como podemos ver en la Figura 5.5, derecha.



**Figura 5.5 Vista superior del vehículo con la distribución de los elementos.**

En el anterior esquema cabe destacar que entre el acumulador y la bomba hidráulica existe una válvula antirretorno, para impedir que se descargue el fluido a presión contenido en el acumulador cuando la bomba deja de trabajar. Esta válvula sólo permite el flujo de líquido a presión hacia los distribuidores.

Existe también otra válvula entre las protecciones y la línea de baja presión o tanque, para poder descargar la presión en el caso de que las protecciones tengan que actuar.

El filtro, de tipo cartucho, está en la aspiración de la bomba, aunque la representación en la imagen esquemática anterior no pueda apreciarse. El objetivo de este filtro es evitar que las impurezas no puedan ser impulsadas por la bomba e introducidas de nuevo en el circuito.

En la instalación de los elementos podemos destacar un procedimiento para la correcta instalación y uso del equipo hidráulico, necesario para que el sistema que instalado con seguridad.

En primer lugar, es necesario retirar los elementos del vehículo que no son requeridos en nuestro sistema. Estos elementos son los elementos elásticos como muelles delanteros, amortiguadores y barra antibalanceo, y en el eje trasero también será necesario retirar los resortes helicoidales que unen el eje rígido y el chasis, así como el amortiguador. El acumulador de presión hidráulico de vejiga se instala en posición vertical.

A continuación, se instalan los equipos eléctricos e hidráulico con el acumulador, y por último, los cilindros hidráulicos. Por último, habrá que poner líquido hidráulico de tipo mineral.



Como fluido hidráulico vamos se debe usar un aceite mineral hidráulico categoría HL o superior, especificación DIN 51542. Necesitaremos al menos 35 litros del mismo para llenar el circuito y todos los componentes y tener cierta cantidad de reserva para rellenar si fuese necesario.

Este tipo de fluido es compatible con todos los componentes instalados y al ser un aceite de base mineral mantiene lubricados las partes móviles de la bomba y los pistones hidráulicos. Tiene aditivos para proteger la corrosión y puede operar en un rango de temperaturas bastante amplio manteniendo una viscosidad adecuada.

Antes de poner en marcha, hay que hacer purga del todo el circuito, poniendo especial atención en los cilindros hidráulicos, ya que estos son los extremos del circuito. Además, al estar situados en posición vertical puede acumular en su parte superior algo de aire.

También se comprueba el funcionamiento de todos los sistemas de protección comprobando que el manómetro no da una lectura superior a la indicada como máxima de trabajo.

## 6. Conclusiones

El sistema de suspensión recogido en este proyecto permite realizar distintos ensayos para el estudio de la suspensión en vehículos, centrándose en la dependencia de los ángulos de suspensión con respecto al recorrido propio de la misma.

Al tener un elemento hidráulico en cada suspensión, es posible lograr movimientos independientes en cada rueda, por lo tanto, se pueden llevar a cabo ensayos serán más completos y se obtendrán unos datos más precisos.

Aunque el eje con suspensión independiente es el delantero y su estudio aporta más variaciones entre los ángulos de la misma, una suspensión hidráulica independiente en las cuatro ruedas nos permite mayor versatilidad y ciertas ventajas como el estudio de los ángulos de suspensión simulando una carga en el vehículo

En los ensayos que se hagan en el laboratorio se podrá efectuar cualquier tipo de posición en las cuatro ruedas, esto es de gran interés para entender el comportamiento de la suspensión de un vehículo. Al aplicar un desplazamiento distinto en cada rueda

Que es el objetivo del proyecto para la realización de prácticas en el laboratorio por los alumnos: medir la variación de los ángulos de suspensión entre sí con respecto al recorrido libre de cada rueda.

Con el correspondiente sistema de control y medición se efectúa y mide cualquier posición de suspensión con precisión. Esto permite obtener las curvas propias del funcionamiento de la suspensión además de la evolución de los ángulos de suspensión frente al recorrido de la misma.

Cabe destacar también que los ensayos se podrán llevar a cabo con seguridad debido al acumulador de presión, a los elementos limitadores de presión y a los componentes escogidos, que tienen presiones y características nominales superiores a las de trabajo. Las protecciones del circuito hidráulico están diseñadas para evitar cualquier sobrepresión por encima de las admisibles por todos los componentes instalados.

El acumulador permite que un ensayo pueda llevarse a cabo con el motor desconectado de la red eléctrica, por lo tanto, se elimina el riesgo eléctrico de los usuarios del vehículo de ensayo, a su vez las, el descenso de ruido permite unas explicaciones más claras.

Este acumulador permite a su vez un dimensionamiento y funcionamiento del grupo motor-bomba más eficiente.

Por último, la suspensión hidráulica propuesta en este proyecto permite a los alumnos entender el diseño de una suspensión. Pueden hacer ensayos con este sistema además de hacer los cálculos empíricos que les lleve a unos resultados similares.

## 7. Resumen

Este proyecto busca dotar un vehículo todoterreno con una suspensión hidráulica que permita estudiar la dependencia de los ángulos de suspensión con respecto al recorrido de la dicha suspensión.

Para ello se analiza en el taller el vehículo disponible, que es un Santana 350. Se toman medidas de su chasis y de la suspensión, así como la masa del mismo. También se analiza la tipología de la suspensión propia del vehículo y el estado de suministro del mismo.

Se propone una serie de posibles soluciones según cálculo de los distintos componentes, estos se escogen teniendo siempre en cuenta la capacidad y seguridad de cada elemento.

Posteriormente se detalla unas pautas para la correcta instalación y uso del sistema.

## 8. Bibliografía

- Manual de automóviles, Manuel Arias-Paz
  - Ingeniería del automóvil: sistemas y comportamiento dinámico. Autores: Pablo Luque, Daniel Álvarez, Carlos Vera
  - Técnicas del automóvil: equipo eléctrico. Autor: José Manuel Alonso
  - Técnicas del automóvil: chasis. Autor: José Manuel Alonso
  - Benz Patent-Motorwagen, [https://en.wikipedia.org/wiki/Benz\\_Patent-Motorwagen](https://en.wikipedia.org/wiki/Benz_Patent-Motorwagen)
  - Simbología de hidráulica:  
<http://www.hydraulicsonline.co.uk/pdf/Hydraulic%20Symbols.pdf>
  - Catálogo de cilindros hidráulicos de doble efecto de Cicrosa:  
<http://www.cicrosa.com>
  - Ángulos de suspensión:  
<http://www.aficionadosalamecanica.net/direccion-geometria.htm>
  - BOSCH: Catálogo comercial  
<http://www.boschrexroth.com/ics/Vornavigation/VorNavi.cfm?Language=ES&Region=none&PageID=Start>
  - Proveedores locales:  
<http://www.serviciohidraulico.com.mx/bombas-hidraulicas-paletas.html>
- Royse, Rodamientos y servicios  
[www.rodamientos.net/](http://www.rodamientos.net/)
- Cicrosa  
<http://www.cicrosa.com>
- Hydac:  
[www.hydac.com](http://www.hydac.com)

## IMÁGENES Y DOCUMENTACIÓN

[www.aficionadosalamecanica.net](http://www.aficionadosalamecanica.net)

[http://www.carbibles.com/suspension\\_bible\\_pg2.html](http://www.carbibles.com/suspension_bible_pg2.html) (imágenes de modelos de suspensión)

Acumulador de presión HYDAC, herramienta de cálculo:

[www.hydac.com](http://www.hydac.com)

