

### 3 PARTES DE UNA MOTOCICLETA

#### 3.1 EL CHASIS

El chasis es el cuerpo principal de la motocicleta y donde el piloto irá ubicado así como el motor. Su estructura general, de manera independiente de su tipo, consta de una zona de anclaje de la suspensión delantera se denomina pipa de dirección, situándose en la parte más adelantada y más alta del chasis. El otro punto de anclaje es el eje del basculante, que debe combinarse con un soporte para el amortiguador trasero. Al ser zonas sometidas a altos esfuerzos, deberán de tener una alta rigidez. Donde existe la variedad de chasis es en la parte que une estas dos zonas, pudiendo ser tanto tubos, chapas, vigas, etc.

En un chasis todos los elementos que la componen, a excepción de las suspensiones y las piezas unidas a ellas, están perfectamente fijados. Como consecuencia, el chasis define una serie de características estructurales que además influyen sobre el comportamiento de la motocicleta. Son por una parte las que definen la geometría de la moto, y por otra las que condicionan el reparto de pesos.

##### 3.1.1 FUNCIÓN DEL CHASIS

Los requisitos mecánicos que debe cumplir el chasis son:

- Para obtener una dirección precisa, el chasis debe resistir adecuadamente los esfuerzos de flexión y torsión, de forma que las ruedas puedan mantener una relación correcta entre ellas a pesar de las cargas impuestas por la transmisión, los baches, las curvas y los frenos. De todas formas ningún sistema de dirección podrá ser efectivo si las ruedas no están en contacto con el suelo, de aquí el importante papel que juega el agarre (de forma especial el tren delantero).
- Por una buena manejabilidad se entiende que ante un esfuerzo físico pequeño del piloto, la motocicleta responderá dichas acciones, evitando

de esta forma el cansancio del conductor. Este aspecto depende fundamentalmente de la altura del centro de gravedad, el peso total, la rigidez, la geometría de dirección, el tamaño de los neumáticos y el momento de inercia tanto de las ruedas como del conjunto moto /piloto.

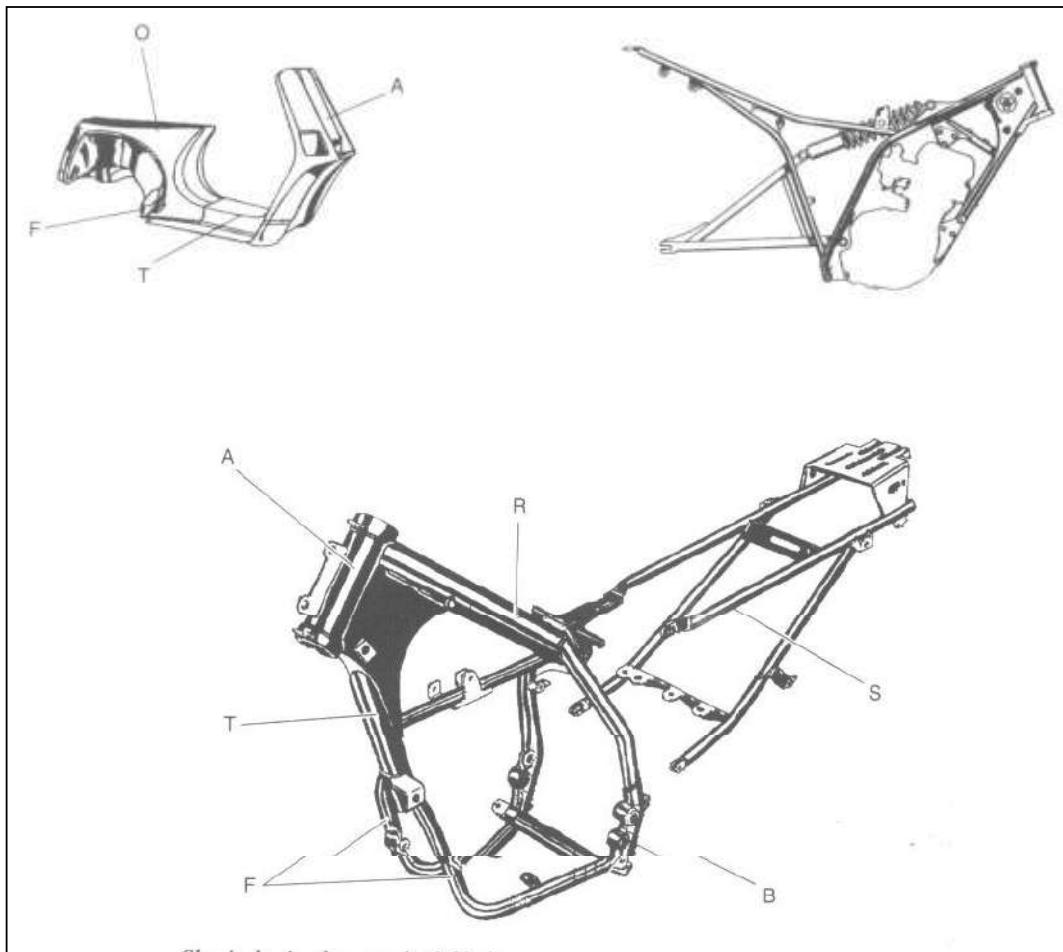
- Para tener un buen confort, y con ello minimizar el cansancio del piloto, es preciso que la suspensión absorba los baches sin sacudir al piloto ni producir movimientos de cabeceo.

### **3.1.2 TIPOS DE CHASIS**

Cabe destacar dos grandes grupos de chasis que son, los chasis para los ciclomotores y los chasis para motocicletas de mayor cilindrada. En este caso solo se comentará el segundo tipo puesto que será el objeto de este proyecto.

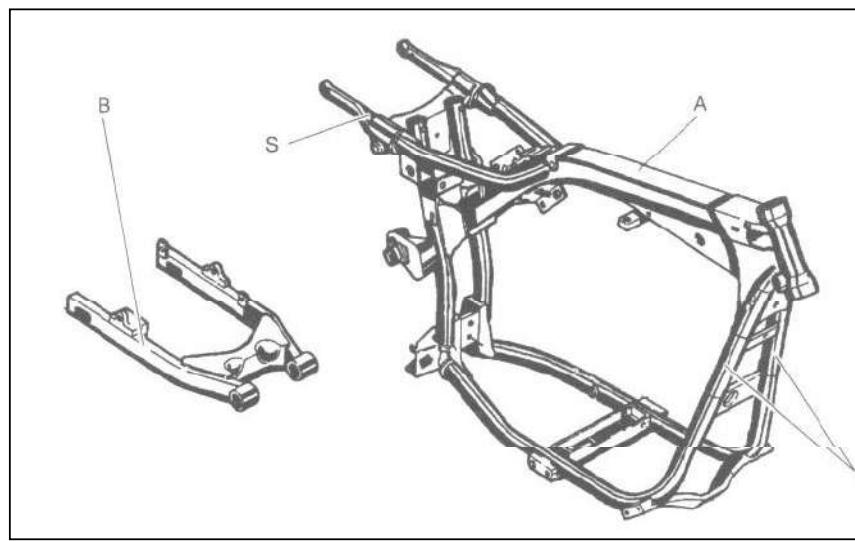
Dentro de los diferentes tipos de chasis para las motocicletas se puede distinguir dos tipos, los tubulares, formados por tubos de sección circular, y los realizados a partir de vigas de sección ancha.

Entre los tubulares se puede señalar los de simple cuna, que a su vez pueden ser completos o interrumpir su sección inferior usando el motor como elemento resistente. Una tercera posibilidad es la formación de una cuna simple, que se desdobra a la altura del motor.



**Fig. 25.- Diferentes tipos de chasis.**

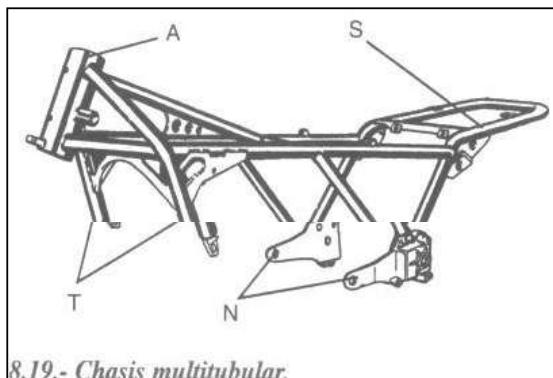
La doble cuna se puede considerar como una mejora del chasis anterior, manteniendo las mismas características a las cunas simples con la salvedad de la existencia de dos tubos delanteros T.



**Fig. 26.-** Chasis de doble cuna.

Los chasis de doble cuna son más rígidos que los de cuna simple por estar cerrados en casi todos los casos, formando una estructura más rígida.

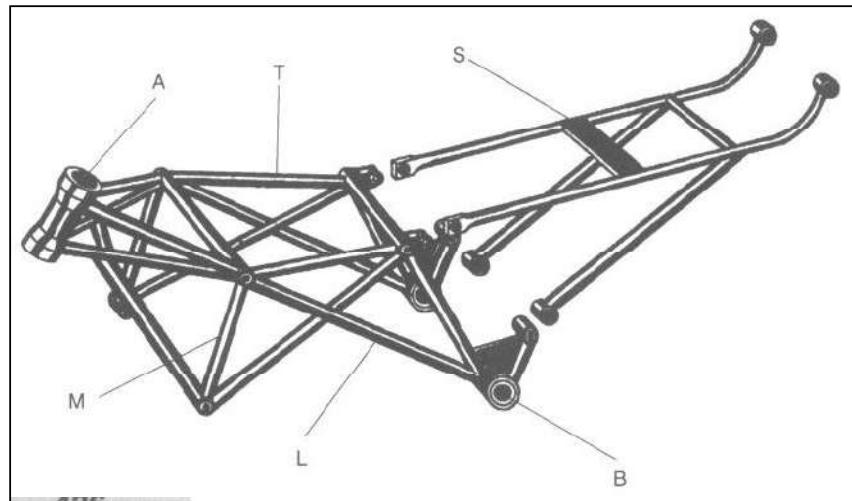
Otra modelo de chasis tubulares son aquellos en los que el motor se encuentra colgado, adquiriendo éste una importante función resistente, aprovechando su gran rigidez. Hay algunos tipos de chasis, como los de espina central, en los que hay un único tubo grueso en la parte superior, pero lo más habitual es contar con una estructura superior de tubos que integra la pipa de dirección y el anclaje al basculante, pudiendo éste estar unido también al motor.



*8.19.- Chasis multitubular.*

**Fig. 27.-** Chasis multitubular.

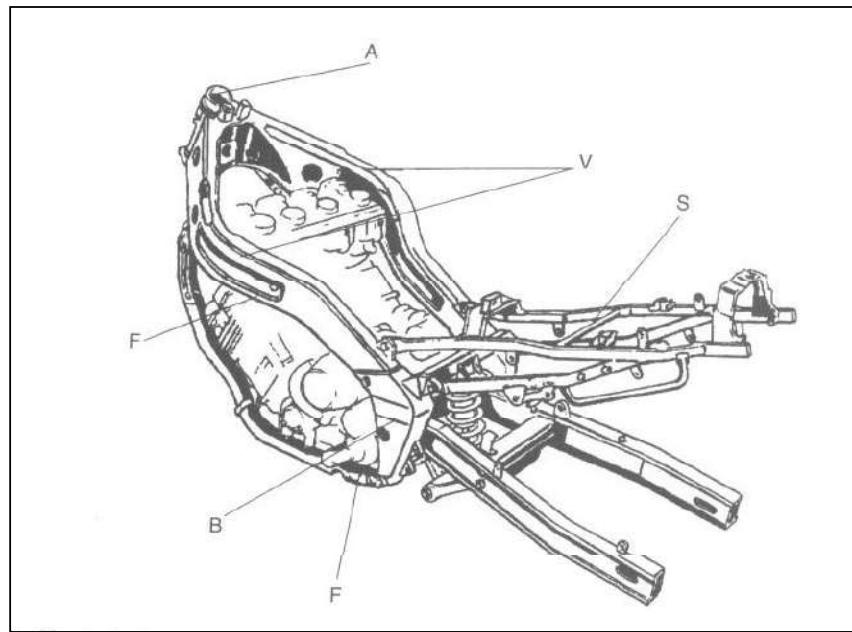
Una importante variedad de este tipo de chasis son los multitubulares de elementos rectos. En este tipo de chasis la estructura se forma únicamente con tubos rectos de modo que sólo trabajen a tracción y compresión. La forma más habitual es un elemento que une la pipa de dirección con el eje del basculante de una manera directa, con una serie de tubos que refuerzan esta función.



**Fig. 28.-** Chasis multitubular de tubos rectos.

En el segundo grupo de chasis, que son aquellos compuestos a partir de vigas (tubos de sección gruesa), la función resistente que anteriormente realizaba el entramado de tubos, ahora recae sobre un par de vigas, que une la pipa con el anclaje del basculante.

En el caso de realizarse en aluminio en vez de acero, la pipa de dirección y el anclaje, que son las zonas que reciben mayor esfuerzo, suelen estar fundidas y son macizas.



**Fig. 29.- Chasis de tipo doble viga.**

## 3.2 LA SUSPENSIÓN

### 3.2.1 MASA SUSPENDIDA Y MASA NO SUSPENDIDA

Se define como masa suspendida a la que está apoyada en la parte superior de la suspensión, siendo en una motocicleta toda la moto menos las ruedas, los frenos y parte de los componentes de la suspensión. De esta forma, la masa no suspendida estará compuesta por la masa total de la moto menos la masa suspendida, es decir que estará compuesta por las ruedas, los frenos y parte de los componentes de la suspensión.

El cálculo de estos valores no es fácil de determinar debido a que dependen de algunos factores, por ejemplo la masa de algunos componentes de la suspensión, como los muelles. Pero en el caso que aquí se trata, la repartición de la masa del muelle no es problema porque con el programa que se va a modelar, el muelle carece de masa.

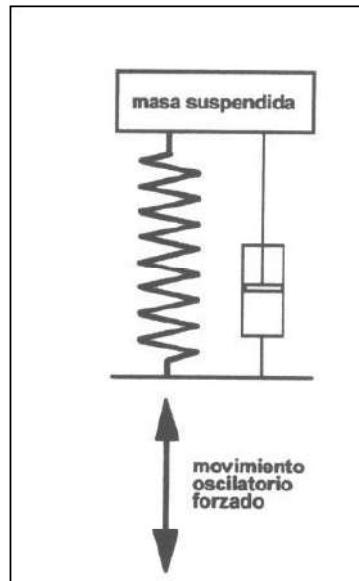
A la hora de repartir la proporción adecuada del total de la masa suspendida a cada uno de los trenes (delantero y trasero) se realiza en la

misma relación que la distribución de pesos estática, aunque esta distribución también tiene sus defectos debido a que no siempre la distribución será así. El ejemplo más claro es cuando se realiza un caballito con la moto. En ese momento la suspensión delantera no está activa y por tanto la suspensión trasera debe soportar todo el peso, así la masa suspendida referente al tren trasero debe ser toda la masa suspendida.

Cuando se buscan las máximas prestaciones de la suspensión, lo que importa es la relación entre la masa suspendida y la no suspendida, interesando que ésta relación sea lo mayor posible, siendo difícil de conseguir este aspecto en motocicletas muy ligeras.

### 3.2.2 FRECUENCIA DE LA SUSPENSIÓN

Se considerará un sistema formado por una masa, un muelle y un amortiguador, como se ve en la figura 30.



**Fig. 30.-** Sistema de amortiguación.

Con frecuencias de perturbación mucho menores que la frecuencia natural de la suspensión, la masa suspendida se mueve con una magnitud cercana a la de la perturbación, a pesar de tener el amortiguamiento.

Por otro lado la respuesta es menor cuando la frecuencia aplicada es varias veces mayor que la frecuencia natural, así para conseguir una conducción más suave sobre un mayor rango de condiciones posibles, habrá que tener una suspensión con una frecuencia natural baja, es decir, con muelles blandos.

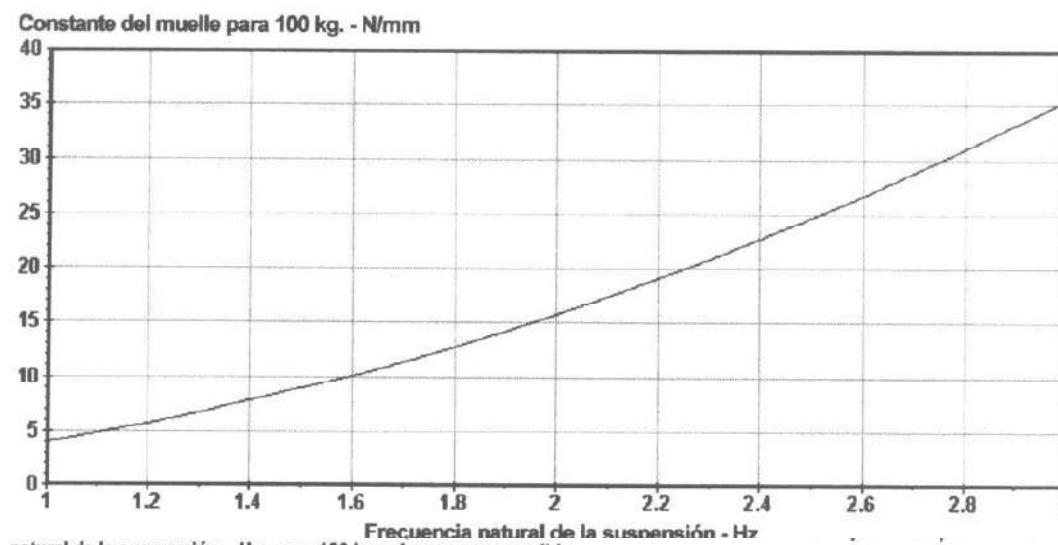
El cálculo de la frecuencia de la suspensión sin amortiguamiento se puede hacer de manera sencilla mediante la siguiente fórmula:

$$F = \sqrt{(K/M)/(2\pi)} \quad \text{Donde} \quad K = \text{Constante del muelle}$$

$F$  = Frecuencia, en Hz

$M$  = Masa suspendida

Viniendo la constante del muelle dada por la gráfica siguiente en función de la frecuencia natural de la suspensión:



**Fig. 31.-** Constante del muelle en función de la frecuencia natural.

### 3.2.3 RELACIÓN ENTRE LA MASA SUSPENDIDA Y LA MASA NO SUSPENDIDA

Normalmente se suele decir que contra mayor sea esta relación, mayor será el beneficio obtenido. Pero esto no suele cumplirse en todos los casos, debido a que las demandas de agarre en carretera y las del confort suelen ser opuestas. El agarre requiere la mínima variación dinámica de la fuerza vertical que existe entre el neumático y la carretera, para ello interesa que la masa no suspendida sea lo más pequeña posible. Sin embargo para mejorar el confort se querrá que se transmita la mínima fuerza posible a la masa suspendida, viéndose favorecido este fenómeno si la masa no suspendida es muy grande cuando se alcanza un bache que sube hacia arriba (no ocurre lo mismo con las cavidades).

Para tener un buen agarre a la carretera (una respuesta rápida de la masa no suspendida) se necesita que esta relación entre ambas masas sea lo más grande posible, sin embargo existe un límite a la hora de tratar de aligerar la masa no suspendida y por lo tanto un incremento de la masa suspendida y de la constante del muelle mejora el agarre en las carreteras que se encuentren bacheadas y también aumenta la velocidad de respuesta de la masa no suspendida, teniendo por tanto las ruedas un mejor contacto con la superficie.

Considerando ahora el caso en el que se tiene un neumático entre la carretera y la llanta (masa no suspendida) que conduce a que con una masa no suspendida mayor aumenta el confort de la persona que conduce la motocicleta cuando la rueda impacta contra un bache, debido a que se reduce el impacto que llega al centro de gravedad. Suponiendo ahora que la rueda es infinitamente pesada; al impactar contra un bache, el neumático se deformaría para absorber el impacto pero la rueda no se movería y al no moverse no transmite ninguna perturbación al piloto. El otro caso extremo ocurre cuando la masa no suspendida es nula, el impacto pasaría hasta el piloto a través de la rigidez del neumático actuando en serie con la rigidez de la suspensión. Para mejorar el confort del piloto, tanto la rueda como el neumático deben soportar grandes cargas. Cuando el neumático ha alcanzado la parte superior del

bache, la mayor masa de la rueda tiende a seguir subiendo pudiendo llegar a despegarse del suelo, en detrimento del agarre a la carretera.

Después de todo lo anterior se llega a una solución de compromiso teniendo normalmente la relación entre la masa suspendida y la no suspendida un valor entorno a 4.5.

### 3.2.4 ALTURA DE MARCHA Y PRECARGA

Los amortiguadores suelen incorporar un ajuste para la longitud inicial del muelle (precarga); si existe en ellos un desplazamiento debido a la carga estática, este ajuste alterará la altura de marcha.

Si se precarga los muelles no se tomarán mejor las cavidades que si se tuviese un chasis rígido por lo que en la actualidad se utilizan unos basculantes muy rígidos, un amortiguamiento eficiente y muelles blandos ajustados para permitir una cierta extensión de la suspensión ante las diferentes cavidades que se pueda encontrar la motocicleta en su trayectoria.

Algunos diseñadores de chasis solían dedicar 1/3 del recorrido disponible para la extensión (también llamado hundimiento estático) y 2/3 para la compresión. Debido a los efectos de transferencia de carga y a diversas respuestas dinámicas, al frenar y al acelerar, cada rueda puede ver reducida su carga. Durante la levantada de una de las ruedas, la delantera o la trasera, tanto la suspensión delantera como la trasera se estiran hasta llegar a sus topes de extensión y sería de esperar que el nivel de precarga de los muelles tuviese un efecto significativo en las respuestas transitorias de la suspensión durante este tipo de maniobras. Si los muelles de la suspensión están precargados, habrá dos aspectos principales a tener en cuenta:

- La posición estática de la suspensión, que cuando está cargada está más cerca del tope de extensión y por tanto existe menos recorrido de suspensión disponible antes de llegar al tope.
- La fuerza de precarga implica que cuando la suspensión hace tope lo hará de forma más violenta.

- Además si se precarga los muelles, tanto la rueda delantera como la trasera se despegarán del suelo pudiéndose llegar incluso, en el caso de la rueda delantera a tener que soltar el freno, debido a que comenzaría a rebotar la rueda de forma creciente.

Actualmente los sistemas de suspensión trasera se pueden ajustar de manera independiente la longitud del muelle y la longitud total del amortiguador. El aumento de la altura de la parte trasera tiene varios efectos:

- La reducción del ángulo de lanzamiento y del avance, volviéndose la dirección de la moto más rápida.
- Aumenta la altura del centro de gravedad, incrementándose la transferencia de carga al acelerar y frenar.
- Altera la relación entre la altura del eje de la rueda trasera, la altura del eje del basculante y la altura del piñón de la cadena, afectando a las características del anti-squat, que se verá en otro capítulo.
- Se aumenta también la carga en el tren delantero aunque dicho aumento no es demasiado.

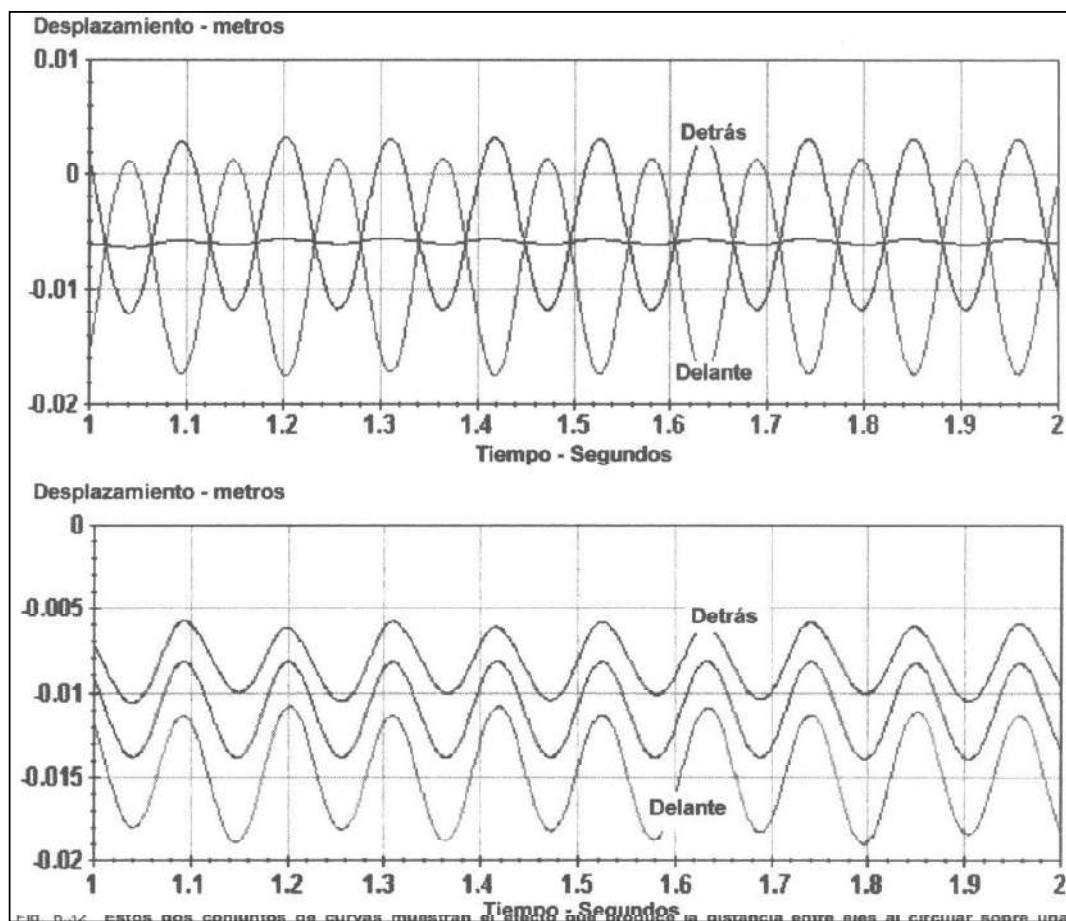
### 3.2.5 DISTANCIA ENTRE EJES

En determinadas circunstancias, la distancia entre ejes puede tener cierto efecto en el comportamiento de la suspensión y cuando la motocicleta tiene un movimiento de cabeceo, el ángulo de cabeceo, en general, será inversamente proporcional a la distancia entre ejes, por ejemplo si se multiplica por dos la distancia entre ejes, el cabeceo se verá reducido a la mitad. Además si la motocicleta es más larga, también tendrá un momento de inercia de cabeceo mayor, de manera que se suavizará la respuesta.

La distancia entre ejes produce otro efecto menos apreciable que se combina con las condiciones de la superficie sobre la que se circula, para influir de manera notable en la calidad de la conducción. Si al viajar se hace sobre una serie de baches, una superficie ondulada por ejemplo, los movimientos que

se transmiten al piloto dependerán en gran parte de sí la distancia entre ejes es múltiplo de la longitud de onda de los baches.

En las curvas la distancia entre ejes coincide con la longitud de onda del bache, la parte delantera, la trasera y el centro de gravedad se mueve al unísono. Lo que sucede en este caso es que cada rueda está viajando sobre la misma parte del bache adyacente al mismo tiempo. Sin embargo, cuando la longitud del bache es el doble de la distancia entre ejes, cuando la rueda delantera está encima de un bache, la rueda trasera está en la parte más baja, de forma que los movimientos verticales delante y detrás son opuestos por lo que el centro de gravedad, que estará más o menos en el centro de la moto, posee un movimiento muy pequeño.



**Fig. 32.-** Desplazamiento de ruedas delantera, trasera y del CdG en baches.

Por tanto este último caso es de mayor comodidad para el piloto pero la moto poseerá un movimiento de cabeceo que consiste en que cuando la parte delantera sube, la trasera está bajando y viceversa, por lo que la motocicleta estará cabeceando hacia delante y hacia atrás. Estas son las dos respuestas más extremas determinadas por la relación entre la distancia entre ejes y la longitud de onda del bache. Otros valores distintos de esta relación producirán una conducción que producirá cierto cabeceo combinado con cierto movimiento vertical. A la hora de diseñar una motocicleta y su suspensión no se conocerá la longitud de onda de una serie de baches que se encuentra la moto circulando y por tanto no será un parámetro que se pueda tener en cuenta para elegir la distancia entre ejes.

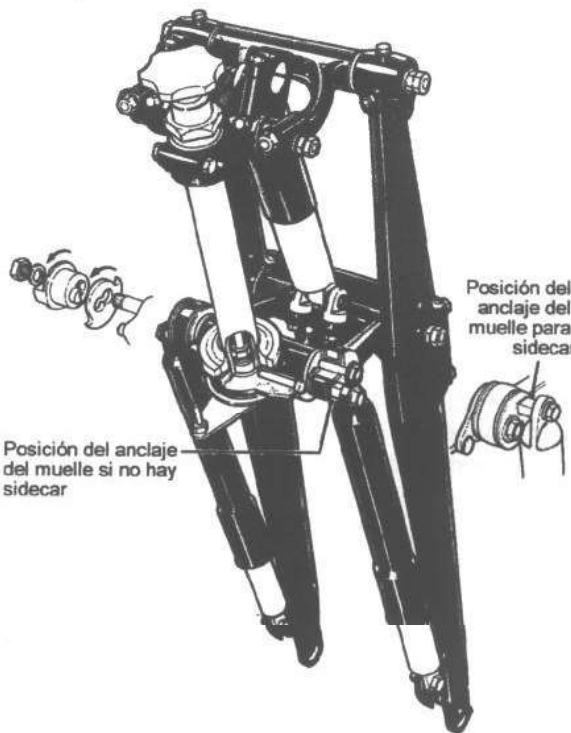
### 3.2.6 RESUMEN

La suspensión de las motocicletas es un sistema dinámico acoplado (delante y detrás) que comprende muelles, amortiguadores y la masa no suspendida y suspendida. Los neumáticos son el elemento más importante del sistema que forma la suspensión. En general una suspensión blanda supone beneficios pero debe estar compensada con el movimiento disponible y las variaciones de la geometría. La gran cantidad de requisitos que necesita una suspensión hace que resulte imposible diseñar una suspensión que nos proporcione una puesta a punto perfecta para una máquina determinada, por lo que resultará inevitable llegar a un compromiso.

El movimiento de la suspensión tiene lugar en el plano central, pero debido al elevado nivel de acoplamiento que existe en la dinámica de la motocicleta puede dar lugar a respuestas alrededor de otro eje, el de guiñada o el de inclinación por ejemplo. Una suspensión mal ajustada puede reducir la adherencia y/o permitir que estas respuestas se conviertan en inestabilidades peligrosas.

### 3.3 LA SUSPENSIÓN DELANTERA

A pesar de todos los modelos que han existido de suspensión delantera, solo un pequeño número de diseños han sido aceptados para ser fabricados en serie, entre ellos la horquilla tipo girder fue la primera. Luego en los primeros años 50, la horquilla telescópica fue estableciéndose debido a que mejoraba la conducción respecto a las girders sin amortiguación o con amortiguación mediante fricción.



**Fig. 33.-** Horquilla tipo girder.

Con todos los defectos que pueda tener las horquillas telescópicas, se puede decir que es el sistema más empleado en motocicletas y que en términos de producción es el que ha dominado de forma prácticamente absoluta desde alrededor de 1950 y aunque marcas como BMW y Yamaha se han atrevido a probar con una alternativa, al final todas o vuelven al modelo telescópico o mantienen su apariencia.

Son muchos los diferentes los distintos tipos de suspensiones delanteras que se han intentado desarrollar y en términos generales se pueden separar en dos grandes grupos:

- Aquellos que requieren una pipa de dirección convencional para definir el eje de dirección y que usan horquillas. Aquí se encuentra incluida la horquilla telescópica, las suspensiones por rueda tirada y las horquillas tipo girder.
- Aquellos en los que el chasis no tiene pipa de dirección. Dentro de este grupo existe una amplia variedad de diseños, donde destaca los sistemas llamados hub-centre.

### 3.3.1 HORQUILLAS CON PIPA DE DIRECCIÓN

Todos estos sistemas de suspensión/ dirección tiene la característica de que se montan y giran alrededor de una pipa de dirección. El esquema de la figura 34 muestra cómo cualquier flexión lateral de las barras de la horquilla permite que la huella de contacto del neumático se mueva alejándose del eje de dirección. Este desalineamiento puede provocar wobbles (más adelante serán explicados en detalle) o aumentar seriamente su magnitud, tanto en carreteras con buen firme circulando a una velocidad determinada, como circulando a cualquier velocidad sobre una superficie bacheada. Existen otros muchos problemas que provienen del empleo de la horquilla telescópica pero quizás el más importante viene dado por esta posibilidad de desplazamiento lateral de la huella de contacto. Otra desventaja es el gran brazo de palanca que existe sobre la pipa de dirección, especialmente al frenar. Esto da lugar a fuerzas muy grandes que tiene que resistir un robusto y pesado chasis.



Fig. 7.1 Al tener un brazo de palanca tan grande, este tipo de deformaciones está presente en cierto grado en todos los

**Fig. 34.-** Flexión lateral de la suspensión delantera.

El uso de la horquilla telescópica es prácticamente universal en todas las motocicletas excepto en algunos scooters y pequeñas motos utilitarias. Su éxito no se justifica en bases de diseño e ingeniería, debido a que tiene varias características adversas; su bajo coste tampoco es una explicación válida (a veces se suele decir esto basándose en que los principales componentes se fabrican en serie). El motivo principal por el cual la horquilla telescópica es la suspensión delantera más importante se debe al miedo colectivo que existen en los departamentos de marketing de los principales fabricantes a que el aficionado no acepte un cambio en la apariencia estética del tren delantero aunque también existen otros factores a su favor y es por ejemplo el largo periodo de desarrollo y la evolución que posee con el que no puede competir cualquiera de los diseños alternativos.

La horquilla telescópica tradicional comprende un par de botellas de aluminio o acero en las que se ajustan unas barras hechas con tubo de acero cromado que se anclan en unas tijas situadas en la parte superior e inferior de la columna de dirección. Normalmente los muelles que montan son de un diámetro menor que el de las botellas y están metidos dentro de ellas. En el interior de las botellas se incorpora un sistema de amortiguación hidráulica y el aceite de amortiguación sirve también como lubricante.

Ahora se considerarán algunos de los principales problemas que son inherentes a la horquilla telescópica:

- Cuando la horquilla está totalmente extendida existe una sujeción mínima de las botellas, de forma que el efecto de la holgura existente aumenta considerablemente en la zona del eje de la rueda.
- Las barras se pueden mover de forma independiente excepto por el efecto de refuerzo del eje de la rueda en la parte inferior.
- Si se considera las cargas y los brazos de palanca que soportan, las barras tiene un diámetro muy pequeño (normalmente de unos 35 – 38 mm).
- Este tipo de horquillas suele estar sometidas a un gran hundimiento en las frenadas.
- Debido al ángulo de lanzamiento, aparecen cargas de flexión en las barras de la horquilla, debidas a cargas estáticas, dando lugar a un rozamiento al inicio del movimiento, que endurece la respuesta ante pequeños baches. Con un ángulo de lanzamiento normal, el simple motivo de soportar el peso de la motocicleta produce una fuerza que es perpendicular en la botella, dando lugar a un incremento de la fricción y una reducción de sensibilidad ante baches pequeños.

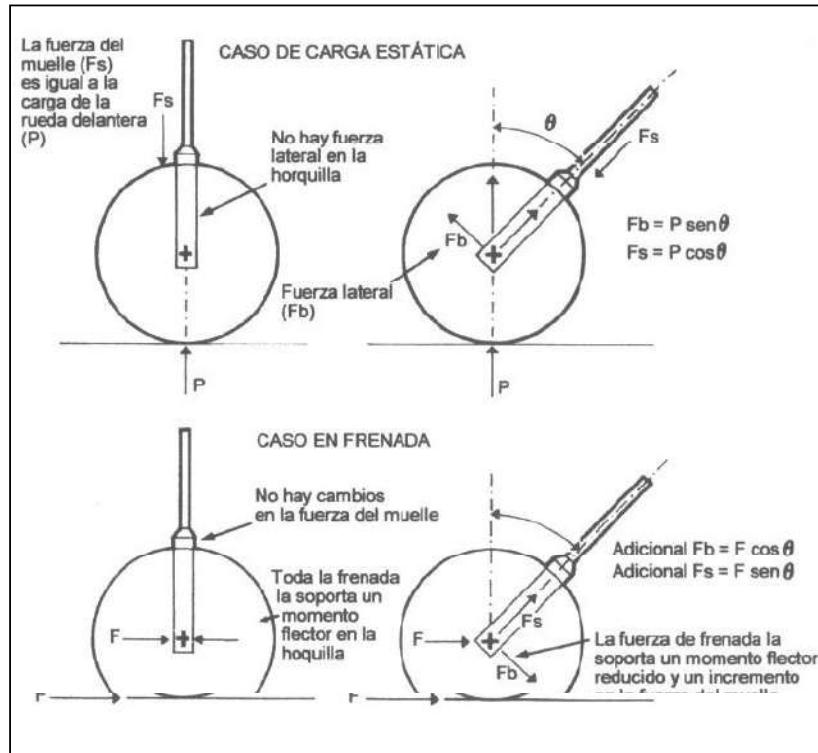
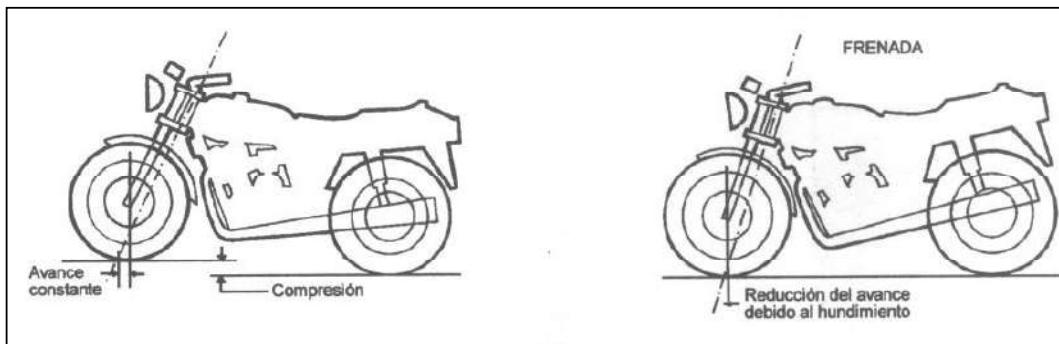


Fig. 35.- Hundimiento de las horquillas telescopicas.

Estas características se unen al hecho de que una horquilla es relativamente flexible en casi todas las direcciones, y como se dijo anteriormente, la flexión lateral puede empeorar la estabilidad.

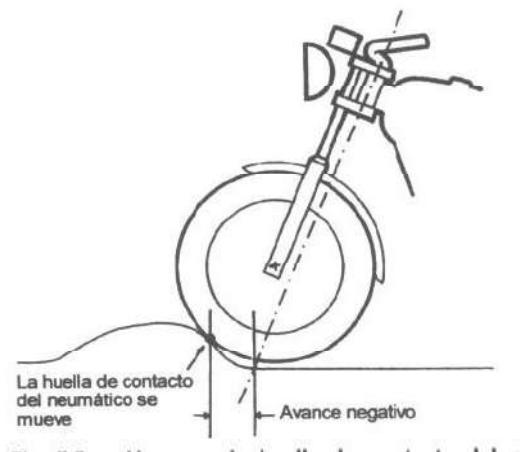
Al frenar, las horquillas telescópicas se hunden, y aunque este efecto se atribuye únicamente a la transferencia de carga hacia la parte delantera, para un ángulo de lanzamiento normal, existe otro factor que es la componente de la fuerza de frenado que tiende a comprimir la horquilla (esta componente es igual a  $(F^* \sin \Theta)$ ). Cuando se frena, el ángulo de lanzamiento hace que parte de la fuerza de frenada esté compensada por un incremento de la fuerza del muelle. De tal forma que tanto la compresión del muelle como el hundimiento tienen un valor mayor que el debido solamente a la transferencia de pesos. Cabe destacar como en frenadas fuertes, la carga sobre la suspensión puede llegar al triple que en el caso de la carga estática.

En las horquillas telescópicas se suele decir que el avance permanece constante a lo largo de toda la trayectoria que sigue la moto pero si esto realmente fuera así, primeramente esto supondría que el avance constante es algo deseable (cosa que no es cierta) y, en segundo lugar, que no existe ninguna variación en la posición del resto de la moto mientras la horquilla se comprime porque varía la altura del suelo que está debajo de la rueda delantera. Esto puede verse en la figura 36, en donde se observa todas las condiciones necesarias para que el avance pueda permanecer constante al comprimirse la horquilla (esquema de la izquierda). A la derecha se muestra la reducción del avance debido al hundimiento de la parte delantera al frenar.



**Fig. 36.-Avance constante en la frenada.**

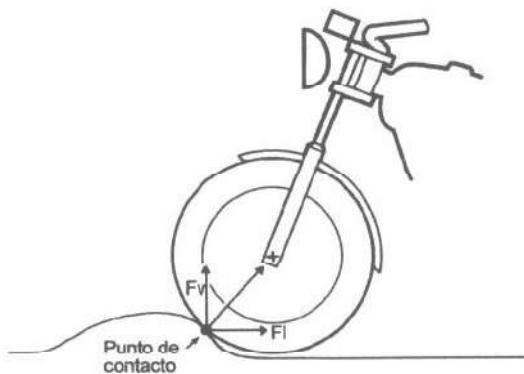
La horquilla normalmente se comprime debido a que o existe un hundimiento de la parte delantera al frenar (en cuyo caso existe una reducción del ángulo de lanzamiento y el avance disminuye) o bien porque se alcanza un bache, provocando que la huella de contacto se mueva hacia delante, reduciendo de esta forma también el avance pudiendo incluso llegar a hacerse negativo, como es el caso que puede verse en la figura 37.



**Fig. 37.- Avance negativo.**

Conforme la rueda va avanzando por el bache, el avance primero vuelve a su valor estático y luego se hace mayor conforme la huella de contacto se mueve hacia atrás, volviendo a recuperar su valor inicial sólo cuando la rueda recupera el nivel de la carretera. Con lo dicho es difícil suponer que una horquilla telescópica (o de cualquier otro tipo) pueda mantener el avance constante.

Los baches en la carretera provocan una fuerza longitudinal en las ruedas, aparte de la fuerza vertical. El movimiento hacia atrás de la rueda delantera cuando la horquilla se comprime, ayuda a absorber esta fuerza, mejorando tanto el confort como el control sobre la motocicleta.



**Fig. 38.-** Fuerza producida en un bache.

### 3.3.2 OTROS TIPOS DE SUSPENSIONES

A parte de la suspensión mediante horquilla telescópica, existen otros sistemas de suspensión, aunque estos no se verán con detenimiento debido a que no serán los montados en los modelos de motocicleta de este proyecto.

- Suspensiones por rueda empujada: En líneas generales, consisten en una estructura tubular o de acero estampado que conecta la columna de dirección con los brazos articulados, y que incorporan también anclajes para los amortiguadores. Los brazos articulados pueden ser independientes o tener forma de U alrededor de la parte trasera de la rueda. Los beneficios de este tipo de horquilla dependen en gran medida de la calidad del diseño de detalle. En algunos aspectos, una suspensión por rueda empujada que esté bien diseñada puede tener algunos beneficios sobre la horquilla telescópica, por ejemplo, se puede conseguir una mayor rigidez, que beneficiará la estabilidad y un mejor control. También tendrá una mayor sensibilidad ante baches pequeños debido a la reducción del rozamiento estático y será posible diseñarla para cualquier grado de antihundimiento ante frenadas fuertes. La trayectoria que sigue la rueda en el recorrido de la suspensión depende de la altura relativa entre el eje del pivote del brazo articulado y el eje de

la rueda, como puede verse en la figura 39. Debido a la trayectoria que sigue la rueda, que es curvilínea, estas horquillas no son adecuadas para los movimientos de las motocicletas.

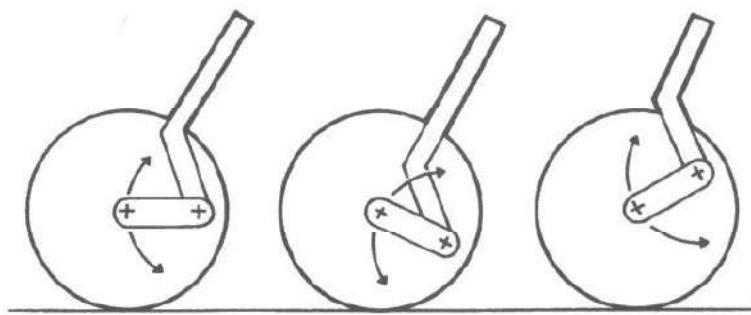


Fig. 39.- Sistema de rueda empujada.

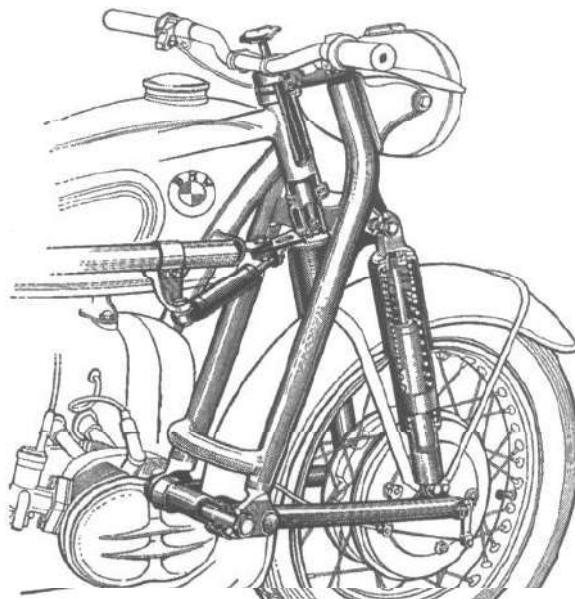
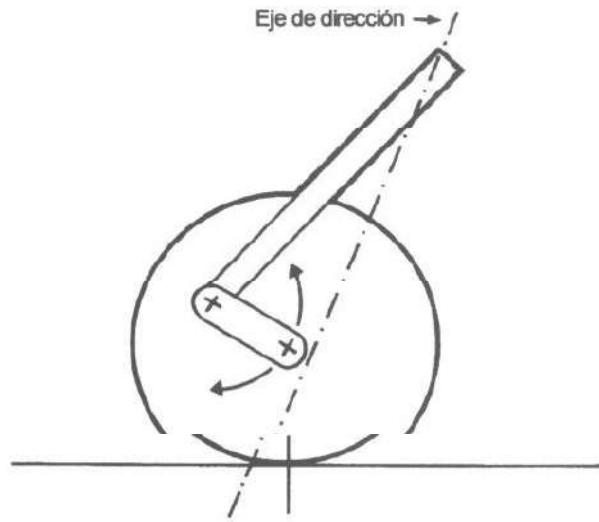


Fig. 40.- Sistema de rueda empujada.

- Suspensión por rueda tirada: Las suspensiones por rueda tirada se diferencian de las de rueda empujada en que los brazos articulados quedan por delante del eje de la rueda, en vez de por detrás. Su

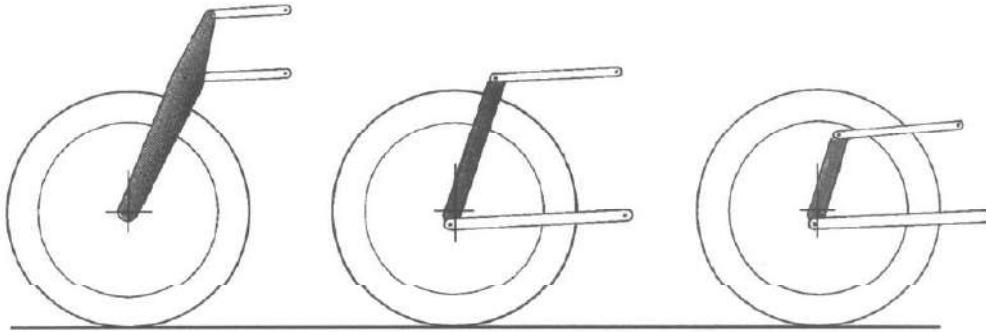
desventaja es que posee una mayor inercia alrededor del eje de dirección, ya que la mayor parte de la masa está relativamente lejos del eje de dirección.



**Fig. 41.- Sistema por rueda tirada.**

- Horquillas Girder: En su día este tipo de horquillas fueron de un uso tan amplio como el que hoy en día posee las telescópicas. Estructuralmente este tipo de horquillas es muy recomendable si se diseñan bien pero su comportamiento estaba limitado debido a que se empleaban amortiguadores de fricción, muy toscos si se compara con los amortiguadores hidráulicos que actualmente se usan. Las articulaciones que permitían el movimiento de la suspensión eran muy cortas y sólo permitían movimientos de suspensión pequeños.
- Otras alternativas a la horquilla que se monta en la pipa de dirección: Existen varias posibilidades para dividir este grupo en categorías, por ejemplo en estos cuatro grupos:
  - 1.- Tipo hub centre: Este tipo tiene el anclaje principal y el sistema de dirección montada en el interior del buje de la rueda.

2.- Doble brazo articulado: Es parecido al sistema de doble brazo que se usa en los automóviles, pero girado 90 grados.



**Fig. 42.-** Sistema de doble brazo oscilante.

3.- Tipo McPherson.

4.-Sistema con eje de dirección virtual.

### 3.4 LA SUSPENSIÓN TRASERA

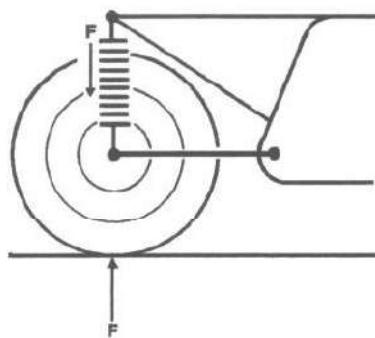
De una u otra forma, el brazo oscilante trasero, conocido como basculante, se ha impuesto como sistema de suspensión trasera y aunque no es perfecto, es difícil pensar en una alternativa que pueda ser mejor. Normalmente el basculante estaba formado por un tubo transversal que alojaba los rodamientos de giro y un par de tubos laterales que soportaban la rueda y los amortiguadores, pero este diseño tenía una carencia de rigidez torsional y era necesario usar dos amortiguadores que evitaran el par que producían las fuerzas de suspensión.

Para eliminar estos defectos, la relación más eficaz entre rigidez y peso se obtiene triangulando el basculante y conectando el vértice al amortiguador. Existen dos tipos de basculantes para la suspensión trasera, basculante monobrazo y de dos brazos, pudiendo usar uno o dos amortiguadores.

Un aspecto a tener en cuenta en el diseño de un basculante trasero son las cargas que soportan los rodamientos del eje de giro. Pero en un sencillo

basculante tradicional, controlados por un par de amortiguadores situados prácticamente verticales cerca del eje de la rueda, las fuerzas de suspensión afectan muy poco al punto de giro. Este tipo de basculante (de dos brazos y con los dos amortiguadores) será el montado en esta motocicleta.

En la figura 43 puede verse el diseño tradicional de una suspensión trasera, donde el peso de la parte trasera se equilibra directamente a través de los amortiguadores, por tanto no hay ninguna carga inducida sobre el anclaje del basculante. Aunque en el caso del modelo de este proyecto, los amortiguadores no se montarán completamente vertical, sino con un pequeño ángulo de inclinación, teniendo el anclaje al chasis una determinada carga inducida.



**Fig. 43.-** Diseño tradicional de una suspensión trasera.

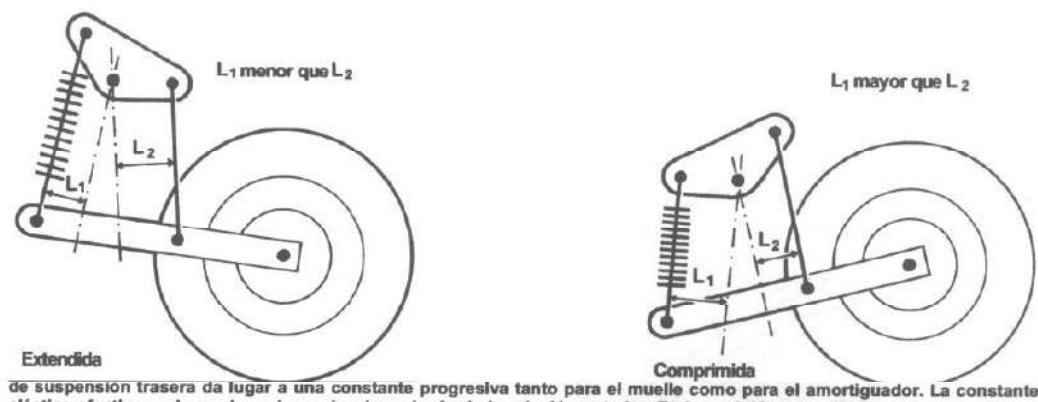
### 3.4.1 CONSTANTE EFECTIVA DEL MUELLE

A no ser que el amortiguador esté montado como la figura anterior, es decir, completamente vertical, la constante en la rueda será diferente de la constante del amortiguador, normalmente será menor.

Si los amortiguadores están demasiado o muy pocos inclinados, la variación de la constante a lo largo del recorrido podrá llegar a ser regresiva, es decir, la constante disminuye conforme aumenta la compresión.

### 3.4.2 SISTEMAS DE BIELETAS

Cuando se comenzó a querer aumentar el recorrido de las suspensiones, se empezó a poner atención en aquellos diseños que aplicaban algún tipo de palanca al amortiguador para reducir su movimiento longitudinal ya que resultaba complicado conseguir unos movimientos tan grandes con la ubicación tradicional de los amortiguadores. Estos sistemas permite utilizar un único amortiguador con un movimiento reducido y un buen control geométrico de las propiedades de la constante del muelle, pudiéndose conseguir fácilmente progresividad, regresividad y combinaciones de ambas.



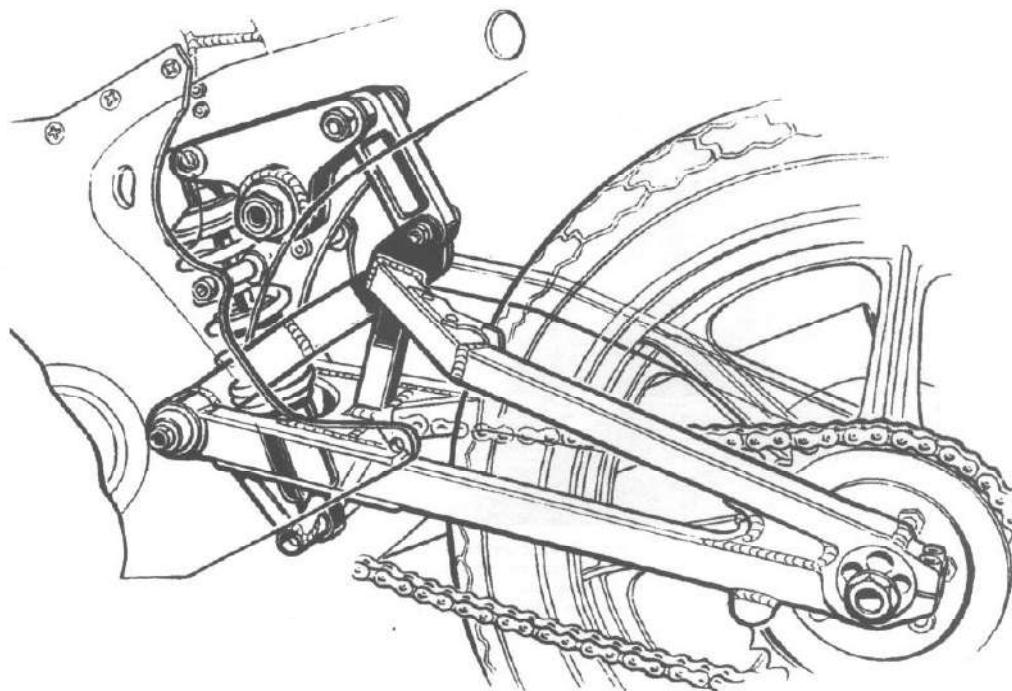
**Fig. 44.- Sistema de bieletas.**

En la figura 44 se observa como debido a que la relación entre L<sub>1</sub> y L<sub>2</sub> varía con el movimiento de la rueda, este sistema de suspensión trasera da lugar a una constante progresiva tanto para el muelle como para el amortiguador. En la posición extendida el lado conectado al basculante tiene una mayor ventaja mecánica y por consiguiente la constante será más blanda que cuando el sistema está comprimido.

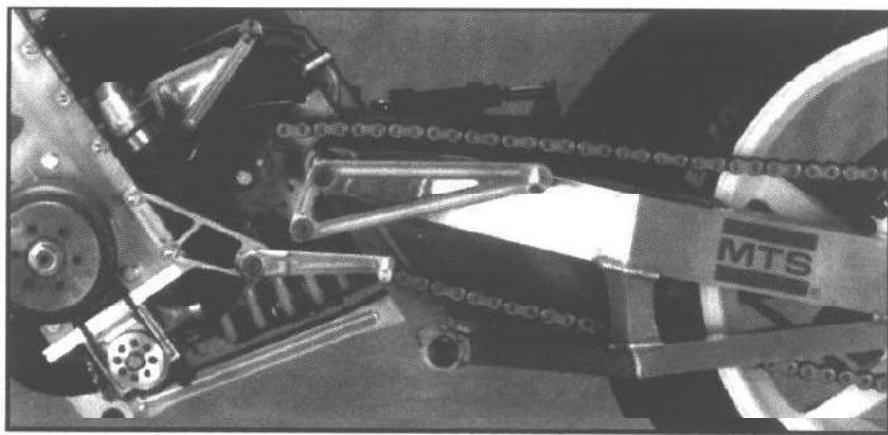
Para comparar diseños diferentes de suspensiones, sólo hace falta considerar unas pocas características:

- Peso del sistema.
- Masa no suspendida.

- Integridad estructural.
- Características de la constante del muelle y de amortiguación, es decir, cómo varía la constante con la compresión de la suspensión.
- Compacidad, al ser el espacio un factor de gran importancia en la actualidad. El amortiguador necesita un flujo de aire para poder refrigerarse por lo que habrá que estudiar bien donde colocarlo.
- El número de articulaciones debido a que cada una es una fuente de rozamiento y holguras, siendo ambas cosas perjudiciales para el buen comportamiento de la suspensión. Por tanto es conveniente minimizar el número de articulaciones.



**Fig. 45.-** Sistema de bieletas.

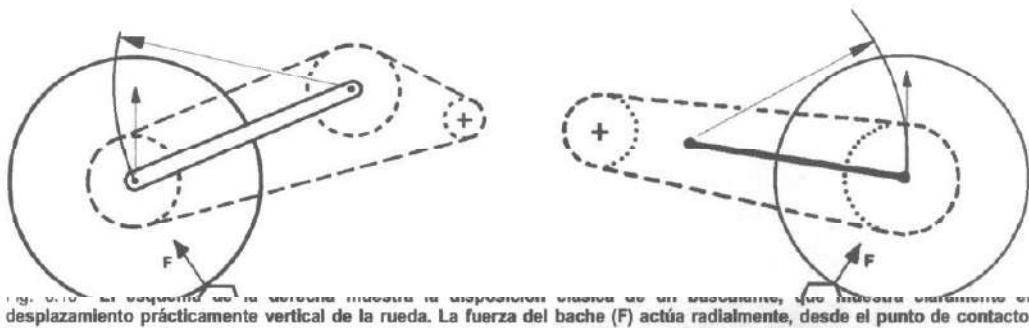


**Fig. 46.-** Sistema de bieletas.

### 3.4.3 TRAYECTORIA DE LA RUEDA

En el capítulo de la suspensión delantera se muestra cómo el movimiento hacia atrás que tiene la rueda delantera en el momento que alcanza un bache es muy importante para poder absorber de forma eficiente la fuerza que genera el bache. Estas mismas consideraciones pueden ser aplicadas también a la suspensión trasera.

En la figura 47 puede verse una disposición clásica (análoga a la montada en este proyecto) de un basculante y se muestra el desplazamiento casi vertical de la rueda al impactar con un bache.



**Fig. 47.-** Desplazamiento del basculante al impactar con un bache.

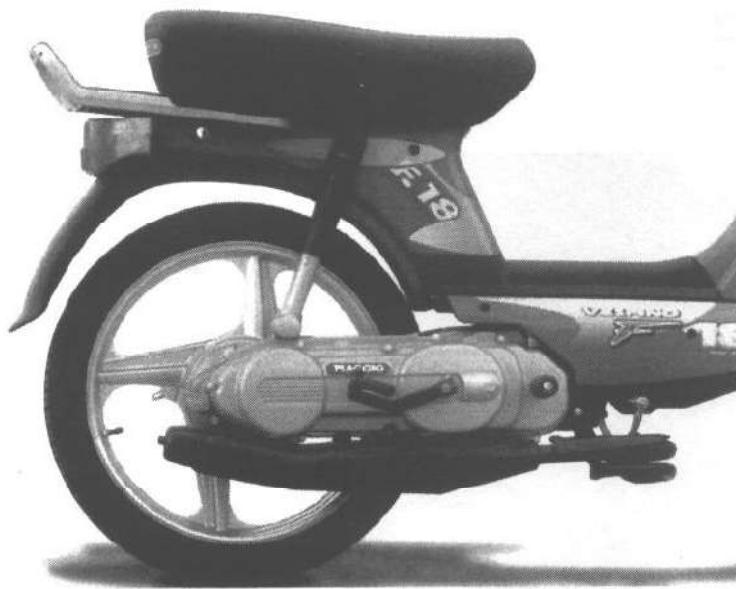
La fuerza del bache ( $F$ ) actúa radialmente, desde el punto de contacto hacia el centro de la rueda, y requiere que la rueda haga un movimiento hacia atrás para poder de esa forma minimizar el impacto. Si la dirección de la fuerza generada por el bache no está alineada con el movimiento de la rueda, entonces se creará una componente hacia atrás, que deberá ser compensada por fuerzas horizontales que alcanzarán directamente al cuerpo principal de la motocicleta sin que hayan sido antes amortiguadas por la suspensión. Debido a que cada bache tiene un tamaño distinto, no se puede hacer un diseño de la suspensión que sea el óptimo para todas las condiciones, aunque los baches más grandes son los que crearán fuerzas mayores y por tanto son los que habrá que tener más en cuenta.

### 3.4.4 CONSIDERACIONES ESTRUCTURALES

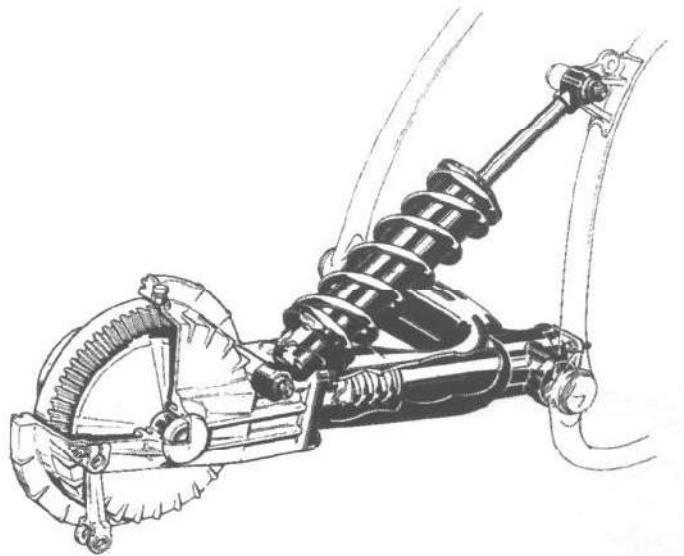
La flexibilidad del basculante permite que la rueda se pueda mover hacia los lados, creando ángulos de comba y de deriva y por tanto fuerzas de dirección. Al no estar estas acciones controladas por el piloto, se puede pensar que va en deterioro del comportamiento dinámico y de la estabilidad, pero en cierto modo actúan de forma parecida al avance de la rueda delantera. Tanto la variación del ángulo de comba como del ángulo de deriva actúan oponiéndose a la fuerza perturbadora, y en algunos casos puede producir una distorsión menor en la dirección.

### 3.4.5 MONOBRAZO Y DOBLE BRAZO

Los basculantes monobrazo son los más comunes en ciclomotores de bajo precio y en la mayoría de los scooters; dos ejemplos pueden verse en las figuras 48 y 49.



**Fig. 48.-** Basculante monobrazo de scooter.



**Fig. 49.-** Basculante monobrazo.

El basculante se emplea tanto como para cubrir la transmisión como para sujetar el motor. Actualmente se usan también para motocicletas deportivas grandes y para motos de competición. Sin embargo, la mayoría de los fabricantes siguen usando el basculante de doble brazo debido, quizás a la tradición, consideraciones de fiabilidad del producto, estética o que el diseño simétrico del basculante de dos brazos tiene algunas ventajas técnicas.

Primero se verá qué características hacen a un basculante bueno y como ambos tipos de basculantes llegan a encontrar esos requerimientos.

Partiendo de la base que ambas variantes tienen la misma geometría (misma longitud y los mismos puntos de anclaje al chasis), y que el muelle y el amortiguamiento son iguales. Existen tres criterios principales para compararlos:

- Rigidez estructural.
- Peso total.

- Masa no suspendida.

#### 3.4.5.1 COMPARACIÓN ESTRUCTURAL

Debido a que el diseño de un basculante monobrazo y de uno de dos brazos varía tanto, resulta difícil poder compararlos. Las características de deformación de un basculante de dos brazos dependen en gran medida de la naturaleza y la rigidez del eje de la rueda y de su método de anclaje. El peor caso se encuentra en los basculantes que tiene una fina chapa en su extremo con una ranura para el ajuste de la cadena, este caso se aproxima al de un eje con articulaciones en ambos extremos. Y el mejor caso aparece en máquinas con transmisión por cardan, que suelen tener un eje con un anclaje muy rígido.. En el caso real, los basculantes tendrán una deformación intermedia entre estos dos casos extremos.

La deformación torsional del basculante tiene tres fuentes principales de flexibilidad que se debe considerar:

- Torsión en el eje de pivotamiento del basculante.
- Flexión vertical de los brazos.
- Torsión de los brazos laterales, que dependen del tipo de anclaje del eje de la rueda.

Pruebas realizadas a ambos tipos de basculantes se llegan a la conclusión de que ninguno tiene una ventaja clara sobre el otro. Por ejemplo en rigidez ambos poseen prácticamente la misma. En lo que se refiere al ángulo de comba y al desplazamiento lateral, el monobrazo es casi el doble de rígido, pero la situación es contraria en el ángulo que gira la rueda (ángulo de guiñada). Para este proyecto se ha decidido montar un basculante de doble brazo, en los que la resistencia de la rueda a girar con un movimiento de guiñada depende mucho de la disposición de diseño, por ejemplo si los dos brazos son paralelos, se tendrá un ángulo de giro muy pequeño a pesar de la flexibilidad lateral de los brazos. Así pues, resulta complicado generalizar sobre las características de diseño de doble brazo y habrá que estudiar los detalles de ejemplos específicos.

### 3.4.6 RESUMEN

Hoy en día, la suspensión trasera mediante basculante es un diseño casi universal y a lo largo de los años se ha ido incrementando la rigidez estructural, lo que en general ha beneficiado el comportamiento dinámico.

En la actualidad existe una discusión, aunque sin llegar a ningún acuerdo, acerca de si merece la pena utilizar basculantes monobrazo en lugar de los habituales de doble brazo.

## 3.5 LAS RUEDAS

Las motocicletas se mueven mediante el giro de sus dos ruedas sobre el terreno correspondiente. El resto de los elementos que la componen tienen como objetivo primordial el mantener al piloto sobre el vehículo o posibilitar que las dos ruedas se mantengan en movimiento y en continuo contacto con el suelo.

Las ruedas se componen de dos elementos, las llantas, que es la parte rígida, y los neumáticos, que es el elemento que estará en contacto con el terreno, llevando unidos a ellas otros elementos pero que en este modelo no se tendrán en cuenta.

Los neumáticos poseen unas características elásticas y una capacidad de deformación que le dan la propiedad de poder adaptarse a las superficies por donde transita la moto y por ello es la parte de la motocicleta que mayor influencia ejerce sobre la manejabilidad de la misma. A través de las zonas de contacto del neumático con la carretera se transmite la potencia al suelo a la vez que soportan el peso de la moto y el piloto y las fuerzas que se generan al tomar una curva (que pueden llegar a alcanzar el valor del peso de la moto y piloto).

Si se aplica la 3<sup>a</sup> ley de Newton (“Para cada fuerza existe otra igual y de sentido contrario q la resiste” o de otra forma “La acción y la reacción son iguales y opuestas”) a los neumáticos significa que al presionar éstos sobre la carretera, ésta estará presionando con igual fuerza al neumático.

Los neumáticos inicialmente comenzaron a utilizarse para mejorar el confort y reducir las cargas sobre las ruedas pero en realidad realizan multitud de tareas, entre la que cabe destacar que es la primera defensa para absorber los baches de la carretera.

### 3.5.1 LAS LLANTAS

Las llantas son la parte rígida de las ruedas y aunque en sus inicios estaban compuestas de radios de madera, esta disposición dejaría paso rápidamente a los materiales metálicos, de mayor elasticidad y resistencia. Normalmente están formadas por radios, habiendo una gran diversidad de llantas, pero en nuestro caso, en el modelo de Adams, la llanta no estará compuesta de radios sino que será una superficie homogénea, sin radios, debido a que es así como viene definido por defecto en el programa. Los bordes de la llanta se encargará de sujetar el neumático. Esta zona está sometida a importantes esfuerzos debido al deslizamiento que puede producirse entre ambos.

### 3.5.2 LOS NEUMÁTICOS

Como se dijo anteriormente, los neumáticos son los elementos de la motocicleta que están en contacto con el suelo, siendo los encargados de mantener a la moto en la dirección adecuada tanto durante la trayectoria recta como en la de las curvas. Los neumáticos están formados por una banda de caucho que se monta sobre el arco de la llanta.

La sección del neumático se divide en varias zonas, la parte que está en contacto con el suelo, se denomina ‘banda de rodadura’, la que apoya sobre la llanta se denomina ‘talón’ y la superficie lateral que sirve de unión entre las dos partes anteriores se denomina ‘flanco’ u ‘hombro’.

Las medidas de los neumáticos están limitadas por razones de perdida de potencia y de maniobrabilidad, debido a que el rozamiento que se produce entre el suelo y la banda de rodadura absorbe potencia, siendo mayor la potencia absorbida contra mayor sea la sección empeorando de esta manera la facilidad para inclinar la moto. Actualmente las medidas más habituales para

motos de cilindrada media y alta son de 120 mm en el tren delantero y hasta 180 mm en el tren trasero.

La medida de los neumáticos tiene una denominación especial, habiendo dos formas de designarlo. La primera de ellas se emplea la anchura en pulgadas únicamente seguida del diámetro de la llanta en la misma medida. En la segunda forma de denominar al neumático, primero se designa la anchura de éste, posteriormente el porcentaje del perfil y finalmente el diámetro de la llanta. Esta forma de nombrar a los neumáticos es la más normal actualmente y será la usada para designar a los neumáticos de los modelos de este proyecto. Un ejemplo sería, 160/60-17" que quiere decir, 160 mm de anchura, una altura del 60% de la anchura, es decir 96 mm y con una llanta de 17".

### 3.5.3 SOPORTE DEL PESO

La función más obvia que puede realizar un neumático es la de soportar el peso de la moto en cualquier situación, tanto en vertical como cuando esta inclinada tomando una curva.

En este aspecto y en la transmisión de las cargas a la carretera a través de los neumáticos va a intervenir la influencia de la presión de hinchado del neumático parámetro que vendrá dado según el tipo de archivo de neumático de Adams que se importe y este será un valor que no se modificará en este proyecto y dicha presión vendrá impuesta del archivo importado.

#### El neumático como parte de la suspensión

El neumático es la primera parte del conjunto de la motocicleta que percibe cualquier perturbación que se produzca en la carretera debido a que es la única parte que está en contacto con ella y por este motivo es la parte más importante del conjunto de la suspensión.

Como dato significativo de la importancia del neumático cabe resaltar que si la motocicleta no tuviese y se encontrara con un bache de unos 25 mm de altura, la rueda sufriría una carga media de 245 KN, carga que romperá la rueda. Sin embargo al equiparla con un neumático normal la carga se reduciría

en unas 400 veces la carga anterior. También cabe reseñar que sin neumático la carga de la suspensión que pasaría a la parte suspendida sería mucho mayor. La velocidad vertical de la rueda sería mucho mayor y las fuerzas se transmiten directamente a la motocicleta y al piloto.

Aunque el neumático actúa como absorbedor de baches no se puede diseñar una suspensión de tal forma que éste elimine todos los efectos de los baches debido a que se podría dar el caso de que apareciesen rebotes incontrolados en la motocicleta.

### **3.5.4 FRICCIÓN (ADHERENCIA)**

Los neumáticos, al ser el único contacto de la moto con el suelo, son un elemento muy importante para proporcionar la adherencia necesaria para poder transmitir las fuerzas de tracción, frenada y curva. La cantidad de agarre disponible depende del peso que soporta cada neumático, de tal manera que al aumentar el peso, aumenta el agarre. Se define el coeficiente de rozamiento como la relación entre el máximo agarre y la carga vertical. Este coeficiente no es constante y normalmente disminuye con la carga vertical, esto es, con el aumento de la presión en la huella de contacto.

El incremento de la sección de los neumáticos en las motocicletas trae consigo una disminución de la presión en la huella de contacto y un aumento del coeficiente de rozamiento y del agarre a la carretera. La relación que existe entre la carga y el coeficiente de rozamiento se puede observar en las frenadas fuertes en las que se produce una importante transferencia de carga hacia el tren delantero (puede llegar a ser tan importante que el neumático delantero puede llegar a soportar todo el peso de la moto) haciendo que se incremente la presión en la huella de contacto de la rueda delantera y la reduce en la trasera. De esta forma la fuerza de fricción que se dispone para frenar es menor que la que se tendría si la transferencia de carga fuese menor. Por tanto para obtener una buena frenada la moto debería de tener una distancia entre ejes grande y un centro de gravedad bajo.

Otro motivo que justifica el uso de neumáticos de gran sección en las motocicletas es el peso y la potencia de éstas, debido a que si no tuvieran esas secciones grandes habría un gran desgaste y unas elevadas temperaturas.

Para que las fuerzas de adherencia sean proporcionales a las cargas individuales, se utilizan secciones diferentes en la rueda delantera y trasera siendo la trasera mayor debido a que el tren trasero es el que proporciona la potencia y la que tiene una mayor carga debido al peso del piloto. Al poner un neumático más grande detrás, el coeficiente de fricción será mayor que en la parte delantera y el neumático que tenga menor coeficiente de fricción será el que pierda primero la adherencia, en nuestro caso será el delantero, que es el de menor tamaño.

También cabe destacar que los neumáticos de las motos son menores en tamaño que los neumáticos de los automóviles debido a que el peso y la potencia de éstos son mayores y también debido a la necesidad de tener que inclinar la moto al tener que tomar una curva, ya que si el neumático fuera muy ancho podría perjudicar la manejabilidad, aunque se mejore la adherencia.

En un neumático existen problemas cuando se circula en línea recta, debido a la existencia de fuerzas que inciden en el neumático que no están alineadas con el eje de dirección (por ejemplo al encontrarse una piedra) produciendo momentos en la dirección que tiende a girar la rueda hacia ese lado. Si el neumático es más ancho entonces tendrá una mayor probabilidad de poder encontrar alguna perturbación y también al ser mayores producirán momentos mayores.

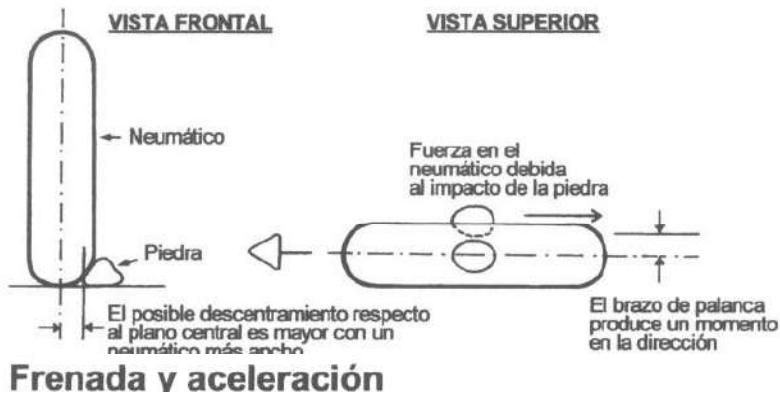


Fig. 50.- Fuerza producida por una piedra.

A cualquier velocidad que no sea muy baja, el fundamento de la adherencia entre un neumático y un firme asfaltado implica la sorprendente existencia de cierta forma de deslizamiento entre el neumático y la carretera. Normalmente la máxima adherencia tanto al frenar como al acelerar se produce cuando entre el neumático y la carretera existe un 10 % de deslizamiento.

### 3.5.5 FRENADA Y ACELERACIÓN

Cuando se circula normalmente y se aprieta la maneta del freno, se transmite un par a la rueda a través de la huella de contacto mediante una fuerza horizontal en la superficie de la carretera. El asfalto empuja al neumático hacia atrás y por la tercera ley de Newton, el neumático empuja con la misma intensidad al asfalto hacia delante.

El caso de la aceleración es análogo al de la frenada, excepto que las direcciones de las fuerzas son al revés.