

2 CONSIDERACIONES GENERALES

Este capítulo servirá para poder tener una visión general de la geometría de una motocicleta así como los aspectos básicos de su física y los diferentes comportamientos que tiene cuando alguno de esos aspectos varía.

2.1 GEOMETRÍA BÁSICA DE UNA MOTOCICLETA

En las figuras 6 y 7 se ha dispuesto una motocicleta general para poder ver los principales parámetros de los que depende su geometría y más adelante se estudiará como influyen dichos parámetros en el comportamiento de la moto.

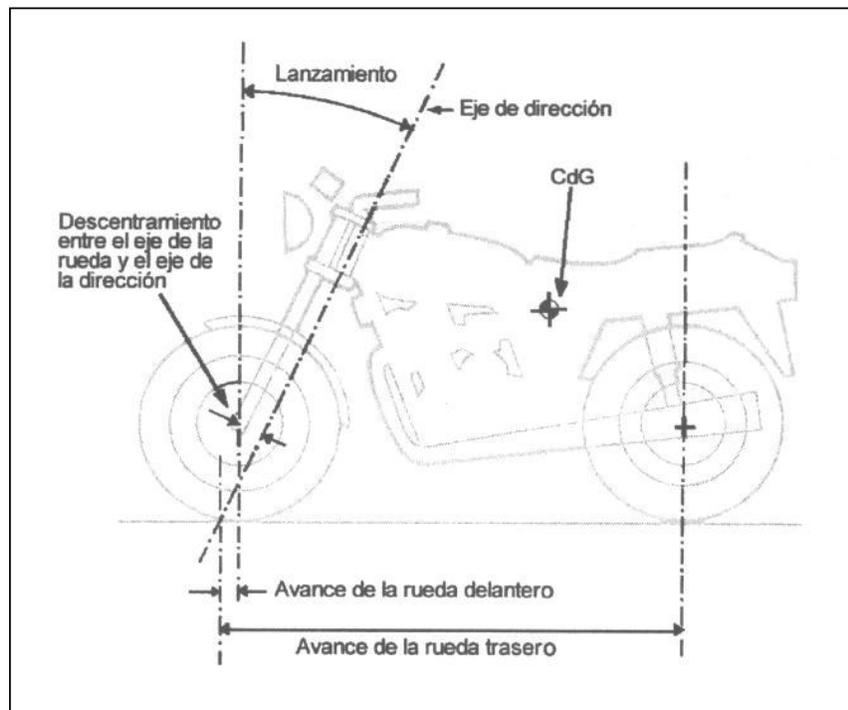


Fig. 6.- Geometría motocicleta.

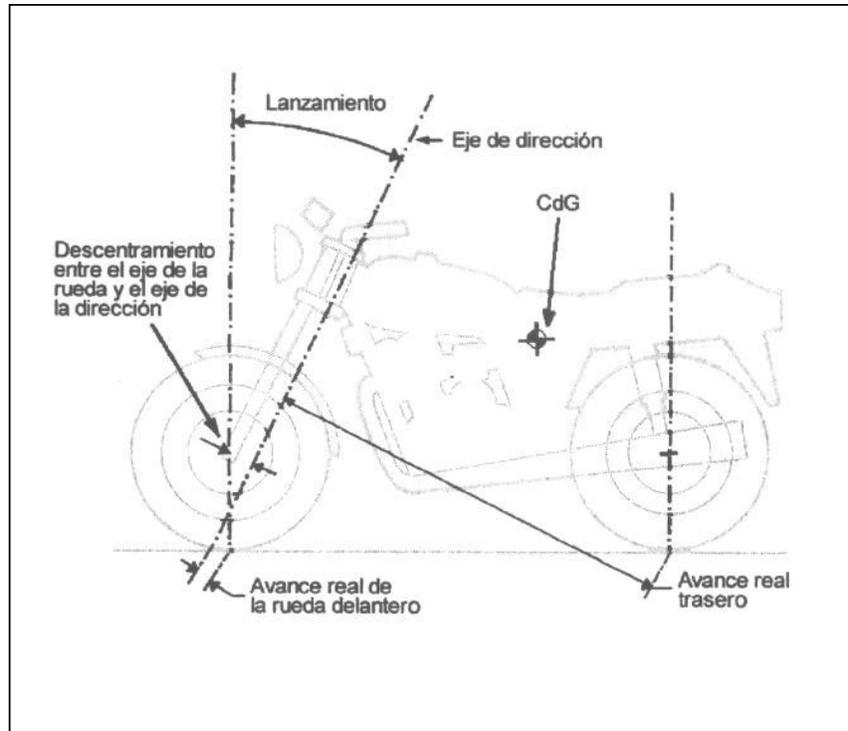


Fig. 7.- Geometría motocicleta.

En estos dibujos se puede destacar:

- El eje de dirección es la línea sobre la cual gira el sistema de dirección.
- El lanzamiento es la inclinación hacia atrás que tiene el eje de dirección.
- El avance es la distancia que existe a nivel de suelo entre el centro de la huella de contacto del neumático y el punto en el que el eje de dirección interseca con el suelo. A este avance se le conoce como avance de suelo, pero también existe otro avance que se conoce como avance real y se mide en ángulo recto con respecto al eje de dirección y se ve reducido con respecto al avance en el suelo al multiplicarse por el coseno del ángulo de lanzamiento (para un ángulo de lanzamiento típico es aproximadamente el 90% del avance en el suelo). Tanto la rueda trasera como la delantera tienen sus propios valores de avance tanto de avance en el suelo como de avance real.

2.2 AVANCE

El avance tiene una función principal que es proporcionar una cierta estabilidad direccional y además es de gran importancia en el inicio de la fase de inclinación de la motocicleta al negociar una curva.

El hecho de que tanto el neumático delantero como el trasero toque el suelo por detrás del punto donde el eje de dirección lo toca provoca un efecto de auto centrado en ambas ruedas. El avance positivo y la fuerza lateral debida al ángulo de deriva (ángulo que existe entre el plano del neumático y la dirección de la tangente a la curva) se combinan para producir un momento alrededor del eje de dirección que tiende a poner a la rueda recta otra vez, proporcionando un cierto grado de estabilidad.

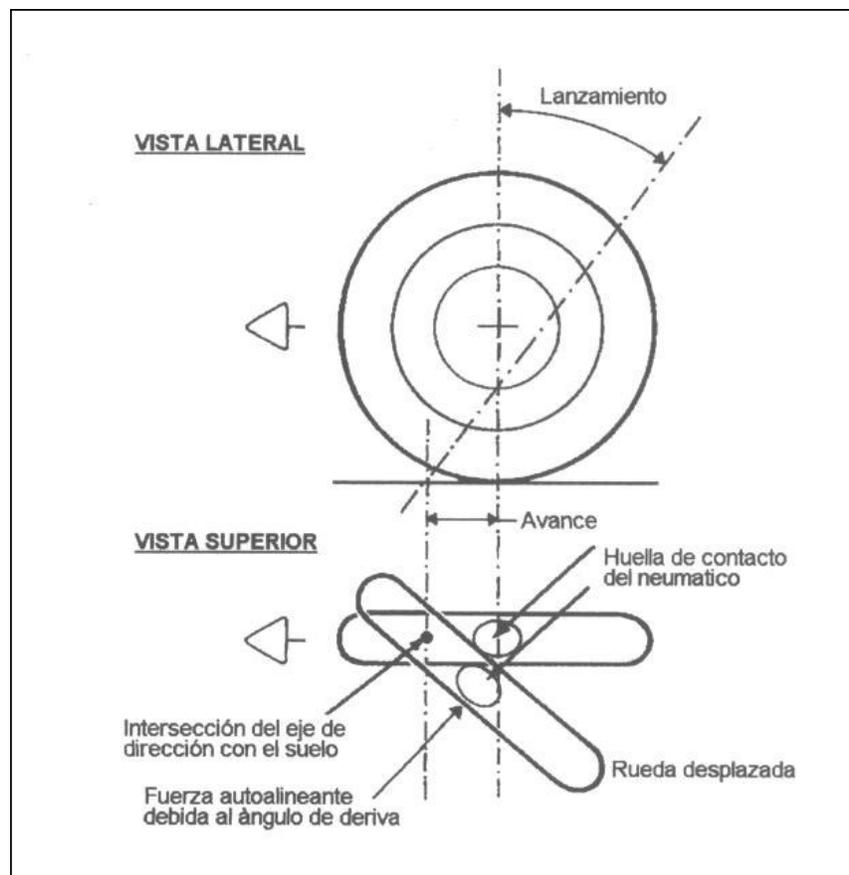


Fig. 8.- Auto centrado rueda delantera.

Como la huella de contacto queda por detrás del eje de dirección (avance positivo), esta fuerza actúa a través de un brazo de palanca que genera un momento corrector sobre la rueda girada, siendo este brazo igual al avance real y distinto al avance en el suelo. Por tanto el avance real es el más importante de los avances, sin embargo el avance en el suelo es el más especificado comúnmente.

Si la dirección se gira debido a alguna causa (por ejemplo el mal estado del firme, algún bache lateral, etc.), el avance positivo automáticamente contrarresta el giro proporcionando estabilidad direccional, siempre y cuando el efecto de inestabilidad no sea demasiado grande.

Si la huella de contacto estuviese por delante del eje de dirección (avance negativo), el momento generado reforzaría la perturbación original y la moto se volvería direccionalmente inestable.

Se observa que el avance positivo de la rueda delantera (50-100 mm) es mucho menor que el de la rueda trasera (1300-1500 mm) y debido a esto se puede pensar que el avance trasero es mucho más importante que el delantero siendo en la realidad al contrario. Ante un desplazamiento lateral de la huella de contacto del neumático, debido a que el ángulo de deriva de la rueda trasera es mucho menor que el de la rueda delantera para un determinado desplazamiento lateral, la fuerza lateral que actúa en cada neumático será de la misma forma, es decir menor en la rueda trasera. Esta fuerza que se produce en la parte trasera tiene que actuar sobre gran parte de la moto y el piloto, que tienen una inercia mucho mayor, por lo que la respuesta es mucho menor que en el caso de la rueda delantera.

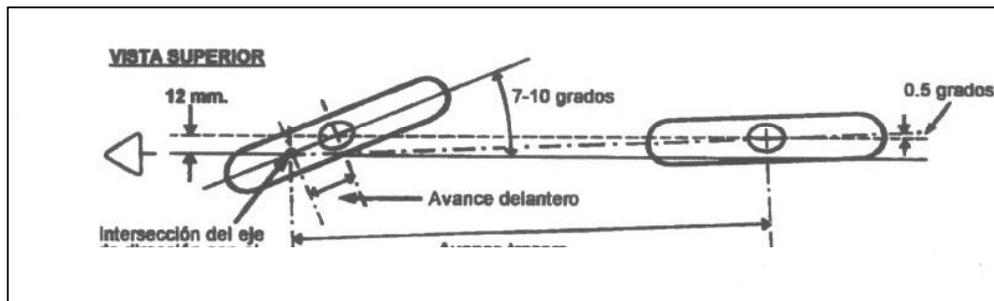


Fig. 9.- Importancia avance delantero.

Resumiendo, se puede decir que aunque el avance de la rueda trasera sea grande, tiene un efecto autoalineante pequeño, esto queda compensado porque el efecto del desplazamiento de la rueda trasera en la estabilidad direccional también es pequeño.

Como se ha observado, el avance es un medio para incrementar la tendencia a auto alinearse de las ruedas pero a medida que se aumenta dicho avance (siempre en una misma cantidad) el beneficio obtenido será cada vez menor. El avance en una motocicleta no tiene un valor fijo en todo el recorrido de ésta y existen varios factores como por ejemplo el ángulo de inclinación, el ángulo de dirección y el radio del perfil del neumático, que hace que varíe durante la conducción.

Aunque el propósito principal del avance de la rueda delantera es proporcionar una cierta estabilidad direccional, se producen otros efectos secundarios como el efecto direccional y el tacto en línea recta, que serán explicados a continuación.

2.2.1 EFECTO DIRECCIONAL

Si se inclina la motocicleta parada hacia un lado y se gira el manillar, la pipa de dirección sube o baja, dependiendo de la posición de la dirección. El peso de la motocicleta (que actúa en la huella de contacto del neumático) produce un par alrededor del eje de dirección que tiende a girar la dirección hacia la posición en la que la pipa esté mas baja (posición de mínima energía potencial).

Para un avance dado, éste ángulo de la dirección se ve afectado por el lanzamiento y por el diámetro de la rueda. Si se tiene un avance positivo, entonces el efecto de la inclinación es hacia el interior de la curva y sería en el otro sentido en el caso de que el avance sea negativo.

Cuando la motocicleta se encuentra en movimiento, su peso efectivo y el del piloto que soporta la pipa se transmite al suelo a través de la huella de contacto del neumático.

2.2.2 TACTO EN LÍNEA RECTA

Para trazar una hipotética línea recta se tendría que realizar una serie de curvas de corrección con el manillar girando levemente de lado a lado todo el tiempo.

Un pequeño desplazamiento de la dirección causa un ángulo de deriva del neumático, que produce un par autoalineante el cual depende de las propiedades del neumático, de la adherencia superficial y del avance para un ángulo de deriva dado. Así, a través de la dirección, se tendrá una indicación (dependiente del avance) de las condiciones de la carretera y de la cantidad de agarre disponible.

2.3 LANZAMIENTO

El lanzamiento es la inclinación del ángulo de dirección y entre otros factores resulta conveniente tener un lanzamiento normal por un lado por facilidad de construcción del chasis y por otro lado para conseguir un montaje directo del manillar. Sin embargo, para un mismo avance, una pipa de dirección vertical da problemas en ambos aspectos.

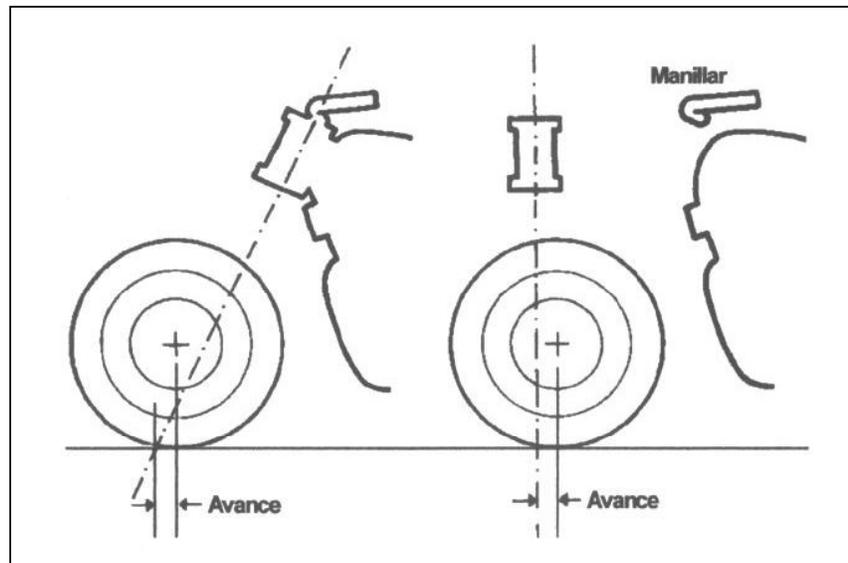


Fig. 10.- Lanzamiento.

El avance es dependiente del ángulo de lanzamiento y si tiene un valor comprendido entre 10-15 grados proporcionará una gran estabilidad y un buen comportamiento direccional, aunque estos valores de ángulos sean mucho menores que los que habituales montados en las motocicletas comerciales.

2.3.1 REDUCCIÓN DEL EFECTO PROVOCADO POR EL LANZAMIENTO

Para un valor dado del avance en el suelo, el par autoalineante en la rueda delantera y horquilla depende de la longitud del brazo de palanca, es decir, depende del avance real (avance en el suelo multiplicado por el coseno del ángulo de lanzamiento).

Este brazo de palanca se reduce conforme aumenta el lanzamiento, para un valor determinado de avance, como se puede observar en la figura 11. Esto significa que se necesitará un mayor avance en el suelo conforme el ángulo de lanzamiento se hace mayor. Por tanto se puede afirmar que el ángulo de lanzamiento tiene un efecto anti-avance.

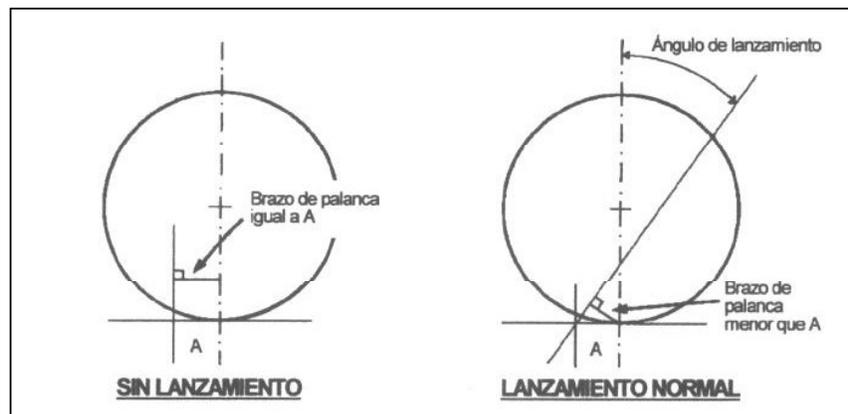


Fig. 11.- Brazo de palanca con diferentes lanzamientos.

Esta reducción en el avance real se ve favorecido cuando se aplica un cierto ángulo a la dirección.

2.3.2 AVANCE NEGATIVO

Con grandes ángulos de giro de la rueda, el lanzamiento puede llegar a hacer que el avance sea negativo, si bien los ángulos de giro son muy amplios, sólo puede conseguirse a muy bajas velocidades. En la figura 12 se observa que con la dirección girada 90 grados se tiene un avance positivo con cero grados de lanzamiento y sin embargo para un ángulo de lanzamiento normal el avance puede llegar a ser incluso negativo.

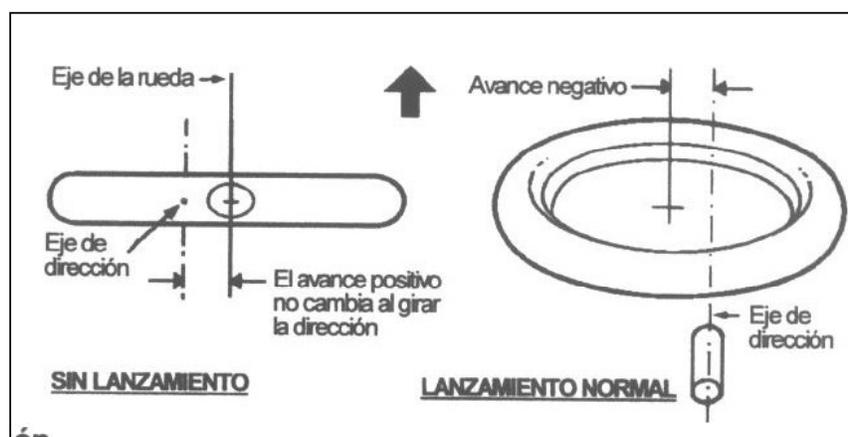


Fig. 12.- Valores de avance para diferentes lanzamientos.

Aunque para obtener un avance negativo hace falta ángulos de giro de la dirección bastante elevados, también es cierto que con ángulos de giro pequeños se produce una cierta reducción en el avance. Este hecho puede provocar la necesidad de usar un avance inicial grande. Este es uno de los motivos por los cuales las motos de trial suelen utilizar ángulos de lanzamientos pequeños, debido a que sus maniobras a baja velocidad implican grandes ángulos de giro del manillar y con un ángulos de lanzamientos pequeños se produce una menor reducción del avance efectivo.

2.3.3 CAÍDA DE LA PIPA DE DIRECCIÓN

En una motocicleta con avance positivo, en posición vertical, conforme se gire el manillar hacia un lado, la pipa de dirección irá bajando y cuanto mayor sea el ángulo de lanzamiento, mayor será la caída. Este hecho se observa en la figura 13 donde, para que se note mejor, se le ha dado a la motocicleta un ángulo de lanzamiento exagerado. Para el caso de 90 grados de ángulo de lanzamiento se puede ver fácilmente la caída de la pipa de dirección al girar la dirección. Con cero grados de lanzamiento estos efectos no tienen lugar.

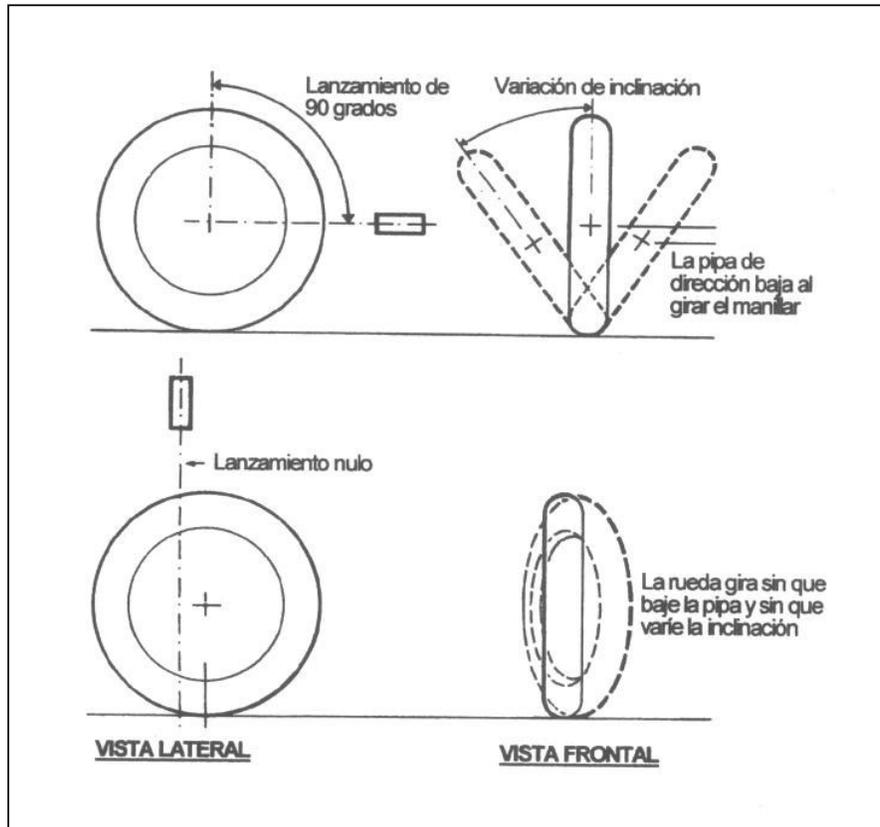


Fig. 13.- Caída pipa dirección.

Esta caída de la pipa de dirección provoca un efecto contrario a la propiedad autoalineante del lanzamiento porque para volver a girar el manillar hasta la posición de línea recta se debe levantar el peso que soporta la pipa de dirección. Este efecto es perjudicial para el equilibrio y para la estabilidad direccional mientras se viaja en línea recta, al contrario que sucede cuando se toma una curva debido a que ayuda a girar la rueda cuando se inclina la moto al tomarla.

2.3.4 DESCENTRAMIENTO DEL EJE DE LA RUEDA

En la figura 14 se observa la diferencia en el descentramiento requerido para obtener un cierto valor de avance con distintos ángulos de lanzamiento. Se puede ver que para un lanzamiento de cero grados se necesita el mayor descentramiento. Aunque para un lanzamiento normal el avance en el suelo se ve reducido, un lanzamiento de cero grados requeriría menos avance y por

tanto menos descentramiento. En general, siendo el resto de valores igual, es una ventaja tener un descentramiento mínimo debido a que proporciona una menor inercia alrededor del eje de dirección.

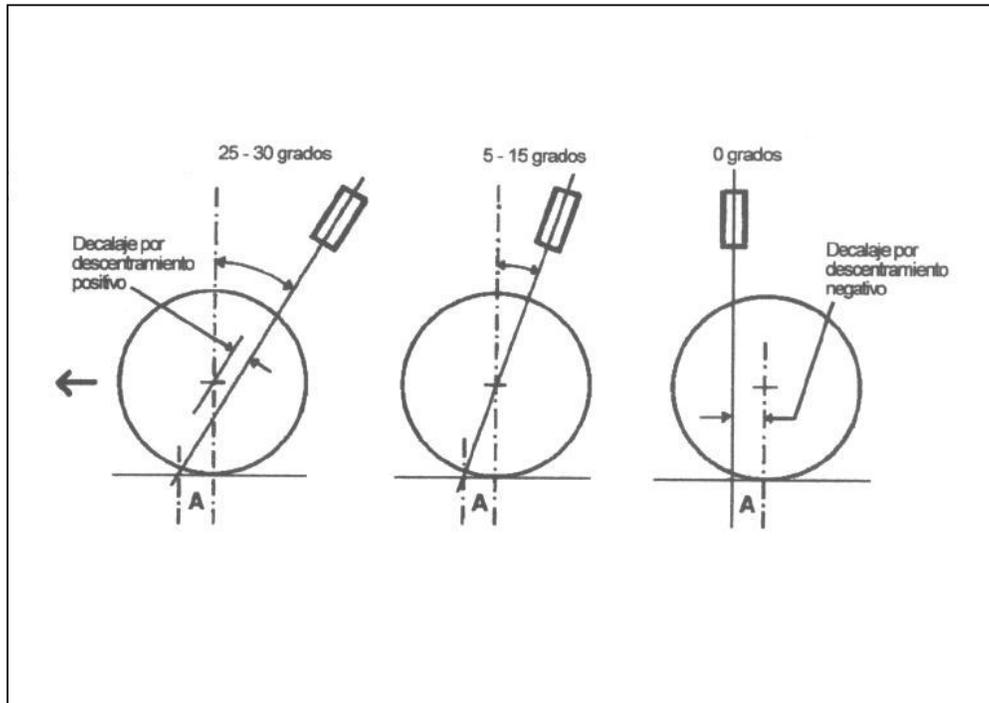


Fig. 14.- Descentramientos para diferentes ángulos de lanzamientos.

Cuando la motocicleta está parada, debido a que el decalaje desplaza el centro de gravedad de la rueda y de la horquilla por delante del eje de giro de la dirección, se produce un par que tiende a girar la rueda hacia el interior de la curva mientras la moto está inclinada.

2.3.5 RESUMEN

- Exceptuando el caso en el que exista un mínimo descentramiento, parece que un lanzamiento distinto de cero no da buenos resultados pero esto es solo para ángulos de giro de la dirección elevados, sin embargo en el caso de las motocicletas convencionales estos ángulos de giro son pequeños y el efecto perjudicial no es tan pronunciado.

- La figura 15 es una representación de una motocicleta, como dos planos que intersectan a lo largo del eje de dirección, puede ayudar a ver los efectos geométricos debidos a la inclinación y el giro. Uno de los planos representa la mayor parte del chasis incluyendo la rueda trasera, el otro plano es el central de la rueda delantera. El plano frontal puede girar alrededor del eje de dirección contenido en el plano trasero y el plano trasero puede inclinarse respecto a la vertical.

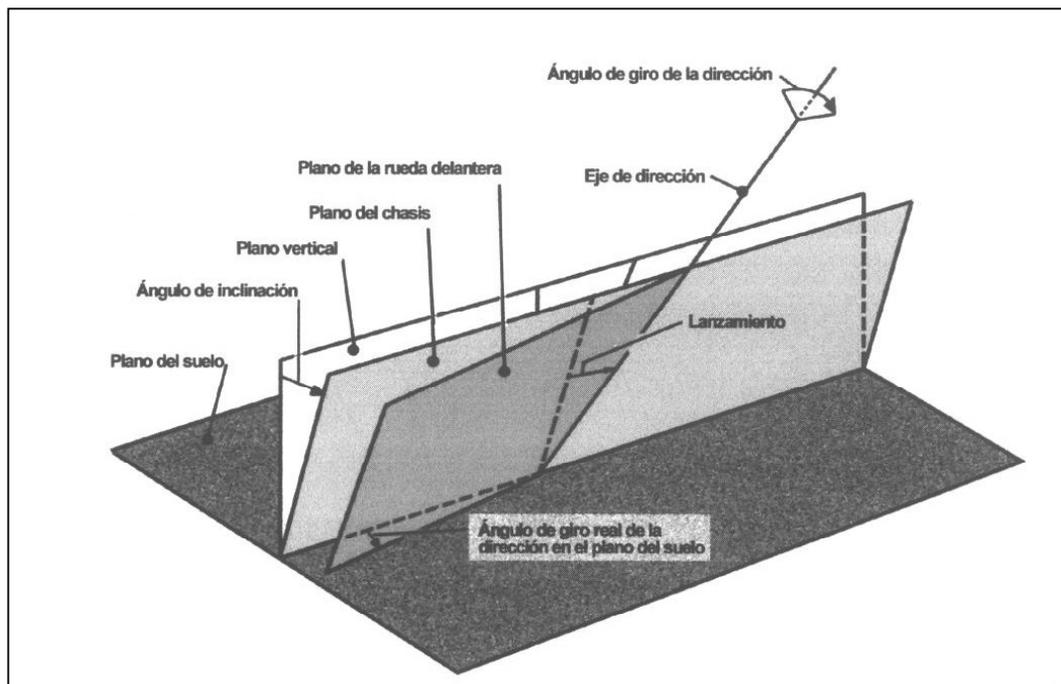


Fig. 15.- Efectos geométricos.

2.4 DISTANCIA ENTRE EJES

La distancia entre los distintos ejes de las ruedas tienen diferentes efectos, pero generalmente cuanto mayor es esta distancia mayor es la estabilidad direccional y mayor es el esfuerzo para negociar las curvas, debido a tres motivos principales, ángulo de giro requerido, ángulo de la rueda trasera y efectos de inercia.

2.4.1 ÁNGULO DE GIRO REQUERIDO

En la figura 16 se observa como en una motocicleta, a mayor distancia entre ejes se requiere un mayor giro de la rueda delantera para poder tomar la curva hacia el interior y como consecuencia también hace falta un mayor esfuerzo para negociar las curvas.

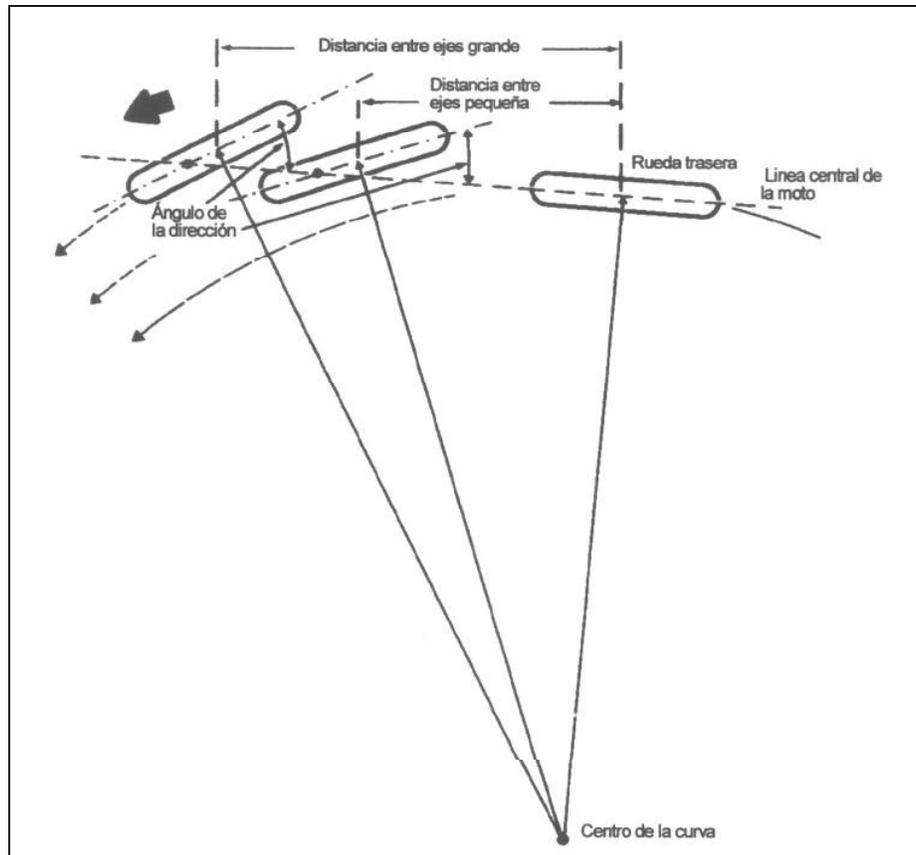


Fig. 16.- Ángulo de giro en curvas.

2.4.2 ÁNGULO DE LA RUEDA TRASERA

Para una determinada flexión lateral, el ángulo de la rueda trasera y la dirección de viaje se reduce a medida que la distancia entre ejes aumenta, lo cual mejora la estabilidad direccional.

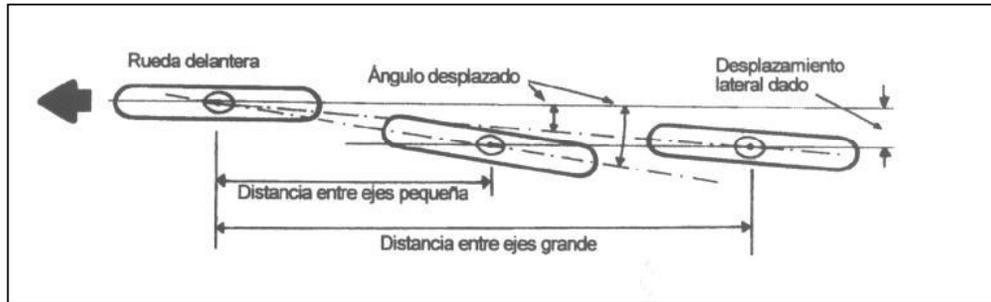


Fig. 17.- Relación ángulo rueda trasera-distancia entre ejes.

2.4.3 EFECTOS DE INERCIA

Mientras la moto está frenando y acelerando se produce una transferencia de peso en la que influye la distancia entre ejes, por ejemplo, para una altura dada del centro de gravedad, cuanto mayor sea la distancia entre ejes, menor será la transferencia de peso. Los momentos de inercia de los planos de cabeceo y de guiñada se incrementarán. Con esto lo que se consigue es hacer la motocicleta más estable.

- Resumiendo, la distancia entre ejes es un compromiso que depende del uso que se le pretenda dar a la motocicleta. Por ejemplo, para las motocicletas de trial se necesita una buena manejabilidad, principalmente a baja velocidad, por lo que se necesita una distancia entre ejes pequeña, sin embargo para motos de turismo como es el caso de este proyecto, se necesita mayores distancia de ejes (alrededor de 1400-1550 mm) para conseguir una buena estabilidad direccional, aunque al ser la distancia entre eje demasiado larga se reduce la manejabilidad en el tráfico.

2.5 RIGIDEZ DEL CHASIS

En la construcción del chasis habrá que enfrentarse a más problemas que llegar a un compromiso entre los distintos aspectos geométricos.

Para que la motocicleta mantenga un buen comportamiento, se debe minimizar las muchas fuentes de flexión que posee. El aspecto más importante a tener en cuenta es mantener el alineamiento entre los planos medios de las ruedas y el eje de la dirección para tener una buena estabilidad direccional. En el tren delantero, que es el más importante de los dos, este alineamiento lo proporciona sobre todo la rigidez lateral de la horquilla y la rueda.

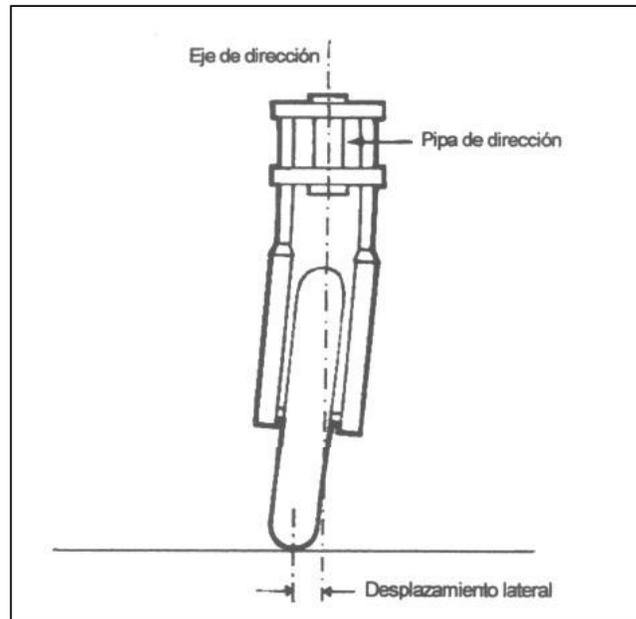


Fig. 18.- Flexión tren delantero.

Las horquillas telescópicas soportadas por una convencional pipa de dirección, que son las que se van a montar en este proyecto, carecen de rigidez en un plano longitudinal; esto no tiene tanta importancia, excepto cuando se frena pudiendo crear problemas de temblores y rebotes de la rueda.

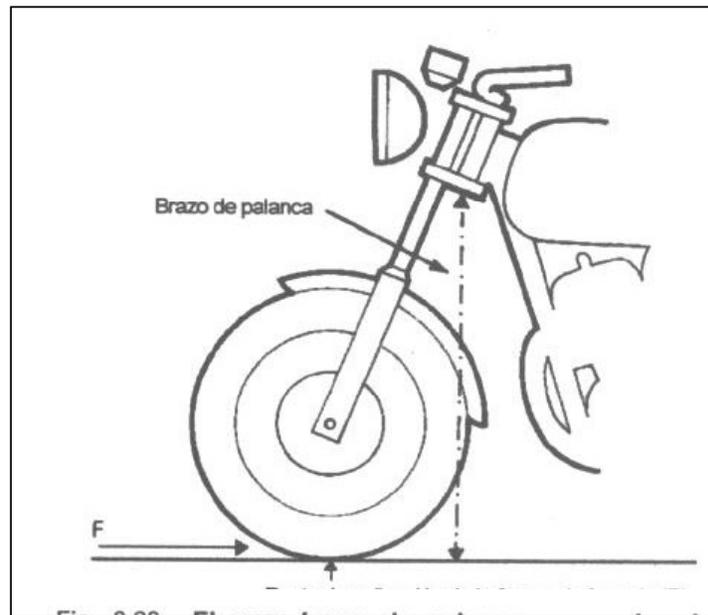


Fig. 19.- Frenada en horquilla telescópica.

En conducción normal, la rigidez torsional entre el manillar y el eje de la rueda no suele crear demasiados problemas.

Mantener la rueda trasera alineada con el eje de dirección implica rigidez lateral de la rueda, rigidez torsional y lateral del chasis y del basculante.

El piloto en recibe gran parte de la información del comportamiento de la motocicleta gracias al asiento y por tanto si este tiene un comportamiento diferente al del chasis, el piloto estará recibiendo una información diferente a la que en realidad sucede.

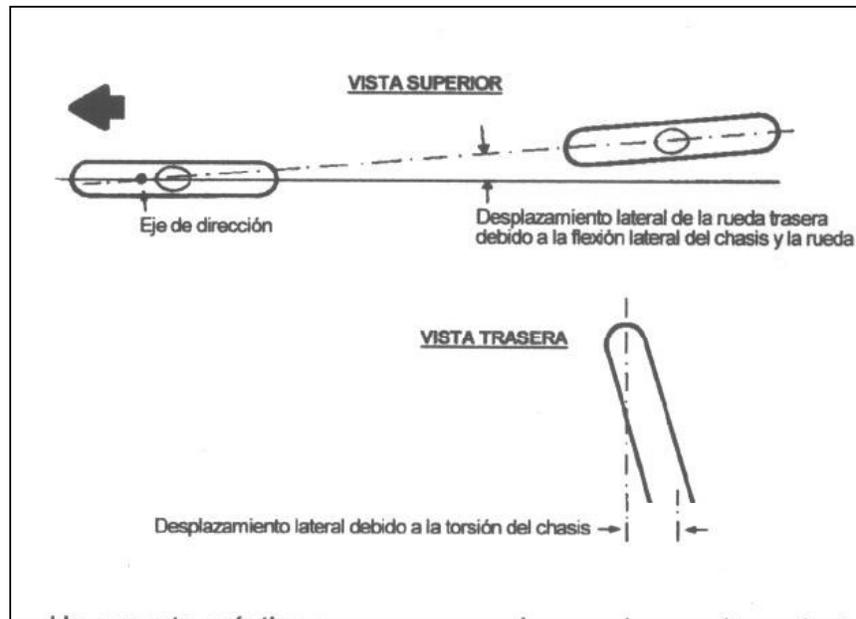


Fig. 20.- Desplazamiento de la motocicleta debido a torsión y flexión del chasis.

2.6 PESO Y SU POSICIÓN

En términos generales, cuanto menos masa posea la motocicleta mejor, porque bajo una misma fuerza dada, la moto de menor peso acelerará antes. Esto no sólo significa una enérgica respuesta para un motor con una potencia dada sino que también implica que la motocicleta es más sensible a cualquier fuerza que haga el piloto. Aparte de la masa de la motocicleta es muy importante su distribución y la ubicación del centro de gravedad, como se muestra a continuación:

2.6.1 EQUILIBRIO

Un peso contenido y un centro de gravedad bajo ayudan a mantener una buen equilibrio. En la figura 21 se observa como el par desestabilizador ($W \cdot x$) es directamente proporcional al peso y a la altura del centro de gravedad, para una determinada inclinación de la motocicleta, por lo que un centro de gravedad alto proporciona un mayor efecto desestabilizador.

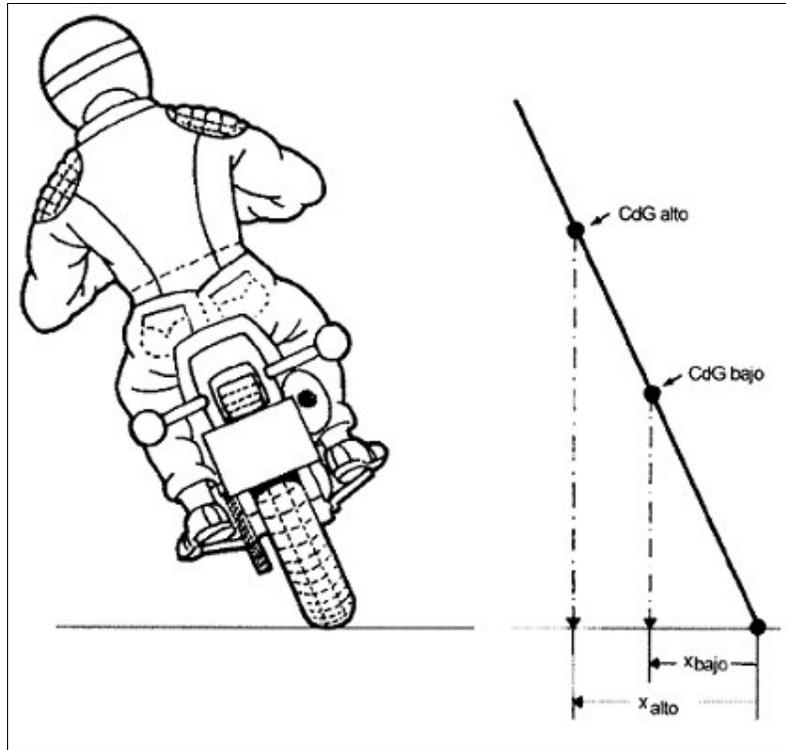


Fig. 21.- Par desestabilizador

2.6.2 TRANSFERENCIA DE CARGA

La carga, durante la frenada, se transfiere desde la rueda trasera hacia la delantera, al contrario que sucede en la aceleración. Si se aumenta la distancia entre ejes, la transferencia de carga disminuye y lo mismo ocurre si se baja el centro de gravedad o se reduce la masa. Sin embargo, la transferencia de masa no se ve afectada por la localización longitudinal del centro de gravedad, aunque con esto se controla la carga estática que soporta cada rueda.

2.6.3 TRACCIÓN

Dado que las motocicletas tienen tracción trasera, la fuerza propulsora que pueda transmitir al suelo es proporcional a la carga que la rueda soporta, por lo que una distribución de peso cargada atrás mejora la tracción. Por otro lado hay que tener en cuenta que la rueda delantera se debe mantener en contacto con el suelo para que la moto pueda girar. Por tanto, una distribución

de peso que cargue mas el tren delantero ayuda a mejorar la estabilidad direccional.

2.6.3.1 ÁNGULO DE INCLINACIÓN

Cuando se toma una curva, el ángulo de inclinación es necesario para equilibrar la fuerza centrífuga y a su vez se ve afectado por la altura del centro de gravedad.

Un centro de gravedad bajo requiere un menor grado de inclinación pero que puede verse contrarrestado por un efecto opuesto debido a la anchura del neumático, ver figura 22.

En la figura 23 puede verse los distintos ángulos de inclinación requeridos para distintas alturas del centro de gravedad, debido a la anchura del neumático (efecto contrario al anteriormente descrito).

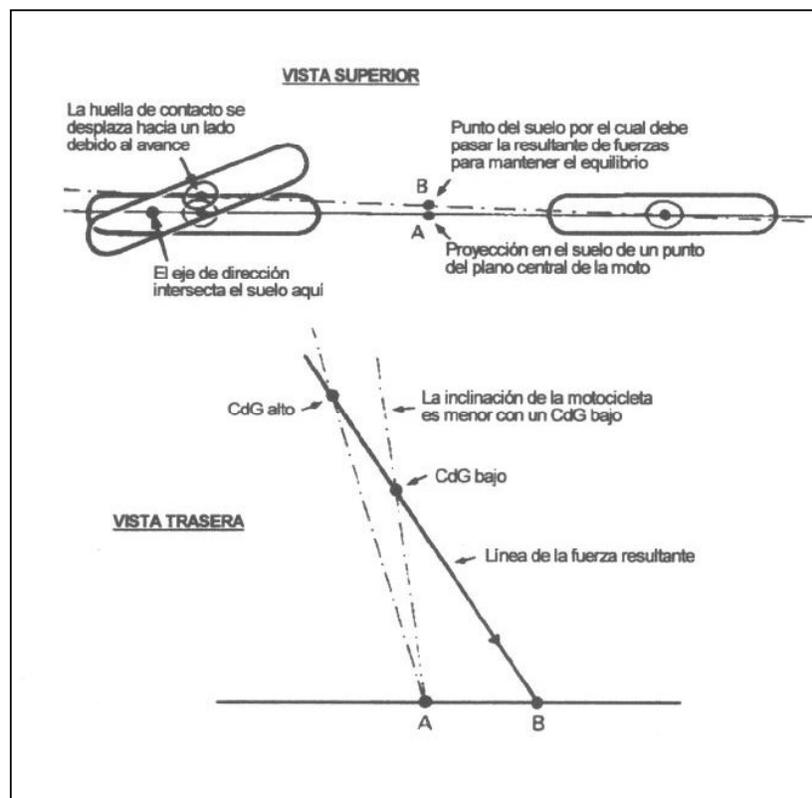


Fig. 22.- Distintos ángulos de inclinación para diferentes alturas del CdG.

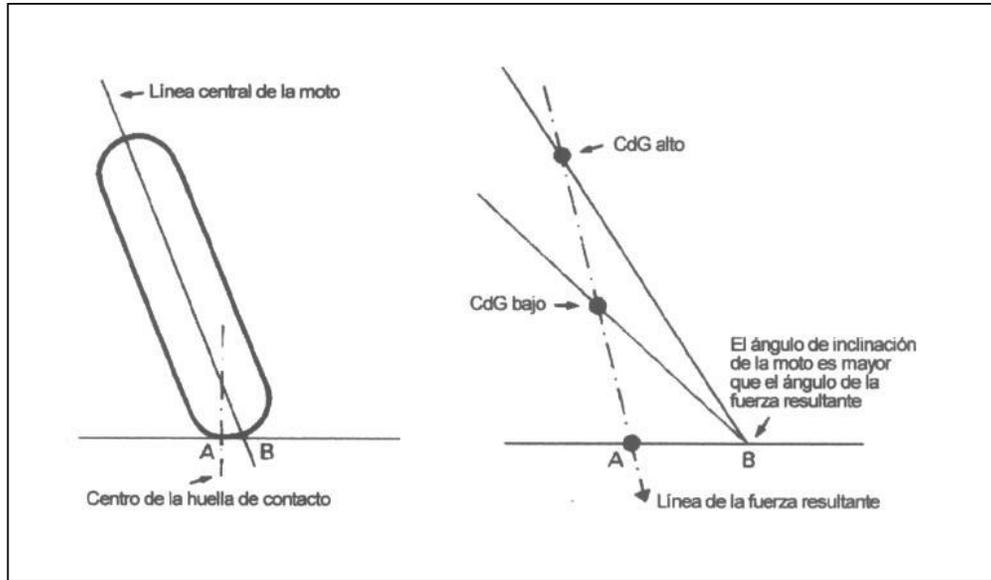


Fig. 23.- Distintos ángulos de inclinación para diferentes alturas del CdG.

2.7 MOVIMIENTOS ANGULARES

En los movimientos angulares de cabeceo, guiñada e inclinación, la distribución de masa es más importante que la cantidad de masa debido a que es la que interviene en los momentos de inercia, que nos da una medida del efecto de inercia alrededor de cada eje en particular y su valor determina la facilidad con la que se puede aplicar una aceleración angular a la moto alrededor de ese eje.

2.7.1 CABECEO

La inercia de cabeceo controla la velocidad con la que la motocicleta se hunde hacia delante o hacia atrás cuando frena, acelera o avanza por un firme en malas condiciones. No es necesario que la respuesta de giro alrededor del eje sea muy rápida porque de esta forma se puede contribuir a mejorar el confort. La definición geométrica del eje alrededor del cual la moto cabecea es complicada porque varía con la configuración de la moto. En el caso de este proyecto en el que la motocicleta tiene muelles en ambos trenes, delantero y trasero, el eje de cabeceo depende de la geometría de la suspensión y de la dureza de los muelles.

De los tres posibles movimientos angulares, el cabeceo es el único que supone fundamentalmente un movimiento de la masa suspendida con respecto a las ruedas, ya que la inclinación y la guiñada son movimientos relativos a las coordenadas de la tierra.

2.7.2 GUIÑADA

Al entrar en una curva, la motocicleta, como cualquier otro vehículo, se verá sometida a una aceleración de guiñada. Elegir un momento de inercia alto mejora la estabilidad direccional mientras que un valor bajo facilita los cambios rápidos de dirección y minimiza los efectos de un derrapaje. En la práctica parece mejor conseguir un momento de guiñada bajo, que implica concentrar la masa de la motocicleta lo más cerca posible de su centro longitudinal. Con esta medida se reduce el momento de cabeceo también.

2.7.3 INCLINACIÓN

El momento de inercia alrededor del eje de inclinación es la suma de las componentes individuales de todas las masas multiplicada por el cuadrado de la distancia que las separa de un eje de inclinación que pase por el centro de gravedad. Para poder conseguir cambios rápidos en el ángulo de inclinación de la moto sin mucho esfuerzo, es necesario un bajo momento de inercia de inclinación.

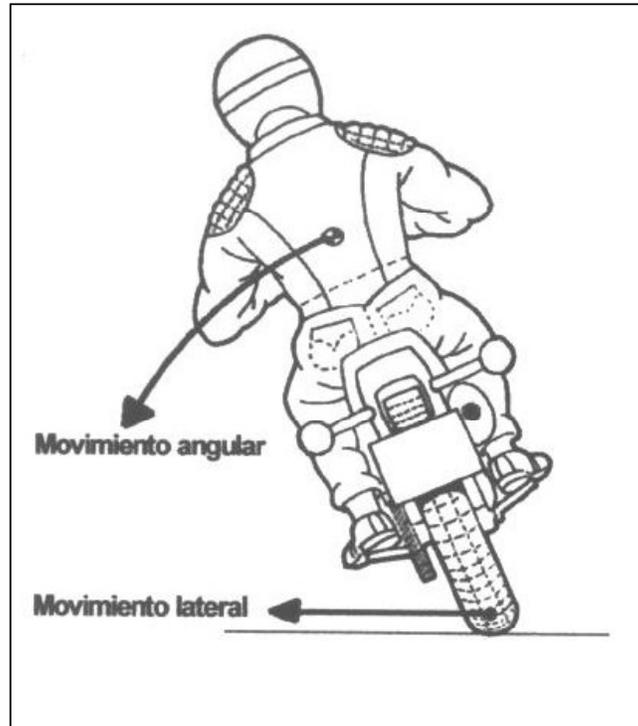


Fig. 24.- Movimiento angular y lineal.