

## ¿Cuál es la misión de un neumático?

La respuesta es fácil, el neumático tiene dos misiones que cumplir:

-Permitir la transferencia de la fuerza conductora o fuerza de frenado al suelo;

-Generar las fuerzas laterales necesarias para mantener la motocicleta en equilibrio en una curva o a lo largo de una trayectoria curvilínea como por ejemplo las generadas al evitar un obstáculo o para negociar una curva tipo S.

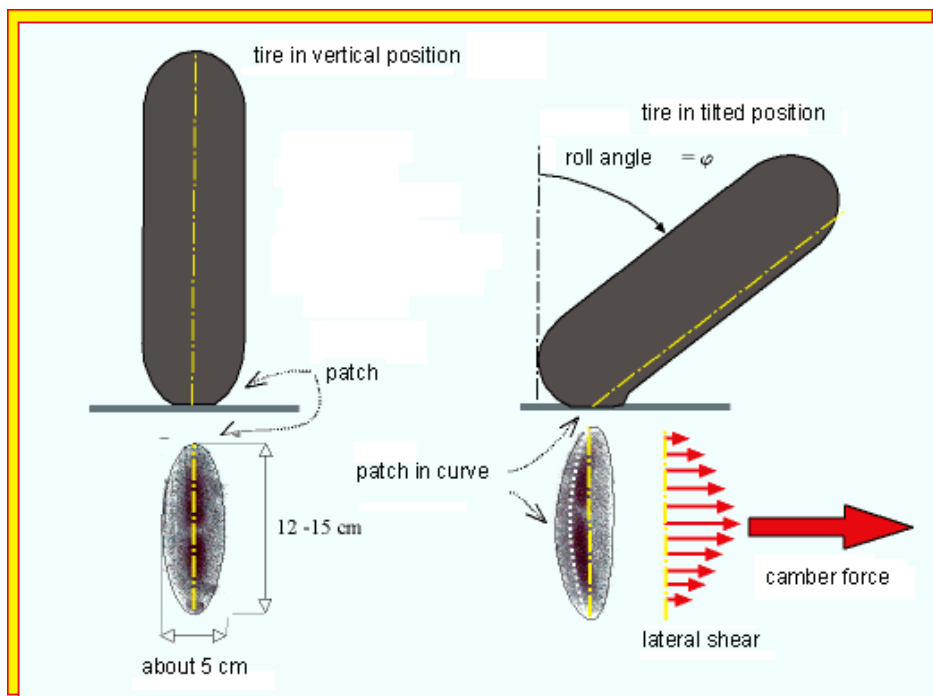
Ahora intentaremos entender como se genera la fuerza lateral y cual tiene que ser su valor cuando la motocicleta esta efectuando un giro a velocidad constante y que de parámetros depende.

Es fácil de entender que la fuerza lateral depende de la carga vertical aplicada a la rueda. Grandes cargas verticales provocan grandes fuerzas laterales. Entender la dependencia de la fuerza lateral sobre el ángulo de cámara y el deslizamiento lateral del neumático es menos intuitivo.

La fuerza lateral también depende de dos parámetros mas que los motoristas conocen muy bien: la presión del neumático y la temperatura de este en condiciones de trabajo.

Primero consideraremos el efecto del ángulo de cámara.

En posición vertical la huella del neumático es elíptica y simétrica; la huella mostrada en la figura 1 esta coloreada con tonos grises cuya intensidad es proporcional a la presión entre el neumático y el suelo.

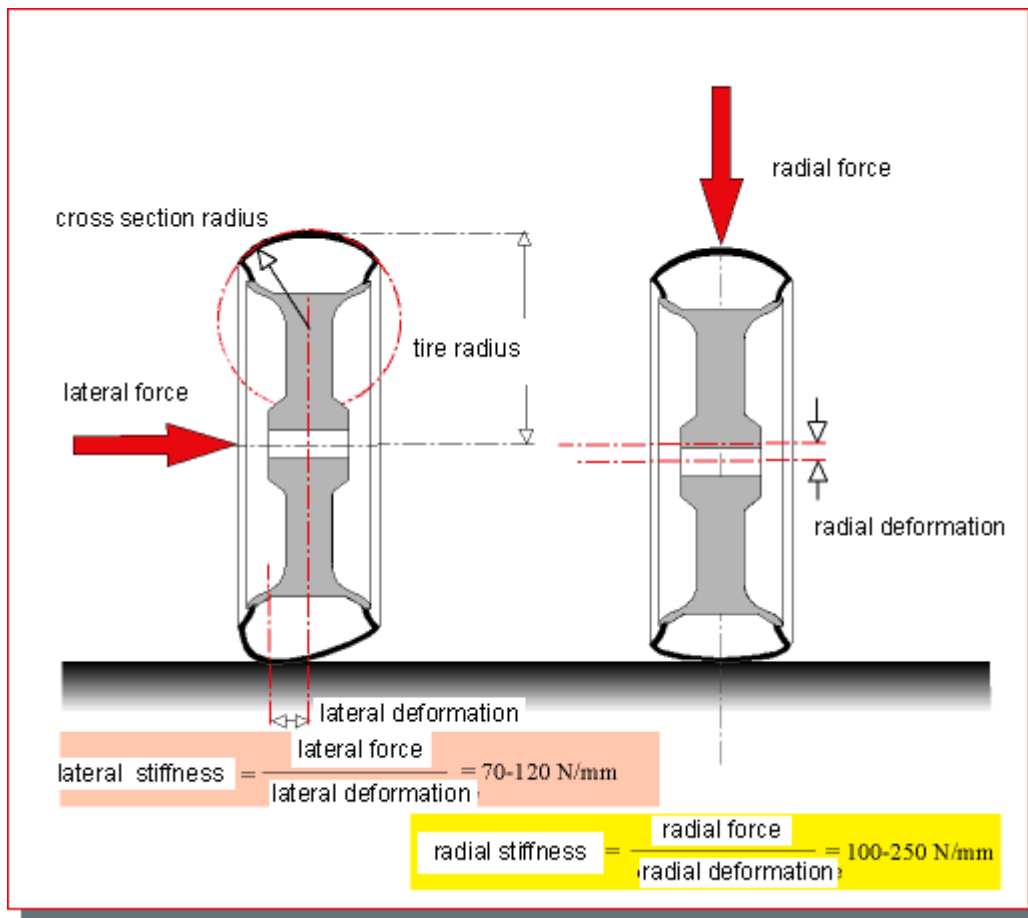


Como se puede observar en la figura 1, cuando la rueda esta inclinada, la partícula de goma que a través de la huella no sigue el camino que seguiría si no hubiese contacto neumático-suelo. Debido a que hay un contacto con el suelo, la partícula se ve obligada a seguir un camino diferente, por lo tanto el contacto con el

suelo provoca una deformación en la carcasa del neumático; esta deformación genera una fuerza lateral que incrementa cuando el ángulo de cámara incrementa.

Entender mejor este fenómeno ayuda a ver el porque del perfil de los neumáticos de motocicletas, si fuera metálico la huella de contacto sería un punto, sin deformación en la carcasa y por lo tanto sin fuerza lateral debido al ángulo de cámara.

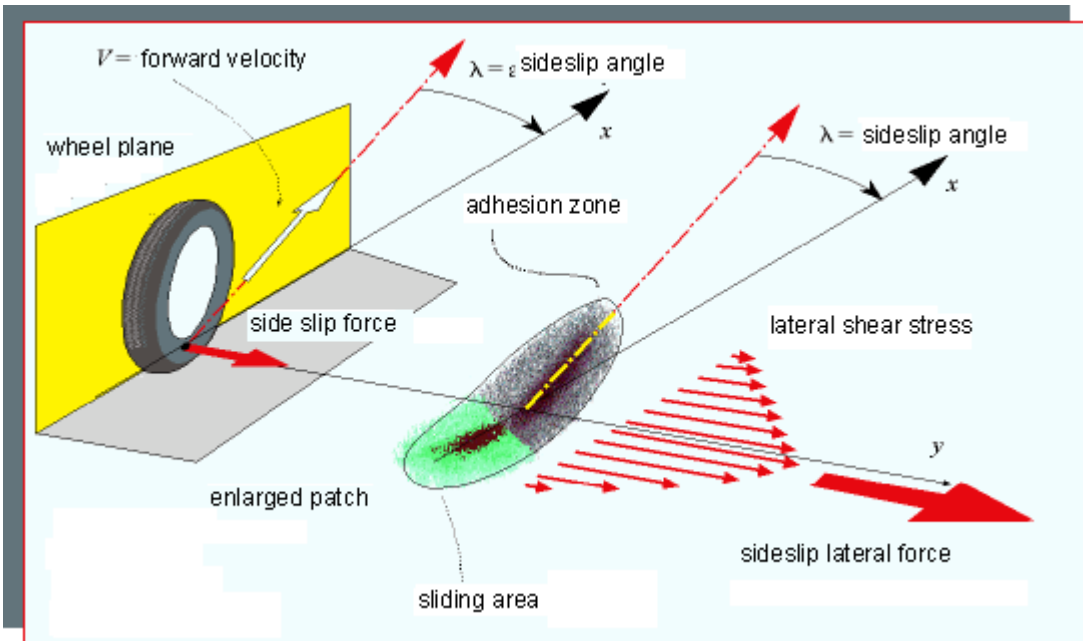
La fuerza de la cámara depende del perfil y dimensiones de la huella de contacto. La huella de contacto depende de las características geométricas del neumático y la rigidez lateral/radial de la carcasa.



Ahora consideraremos el efecto del deslizamiento lateral llamado ángulo de derrapaje.

Este es el ángulo entre la dirección delantera y el plano central de la rueda.

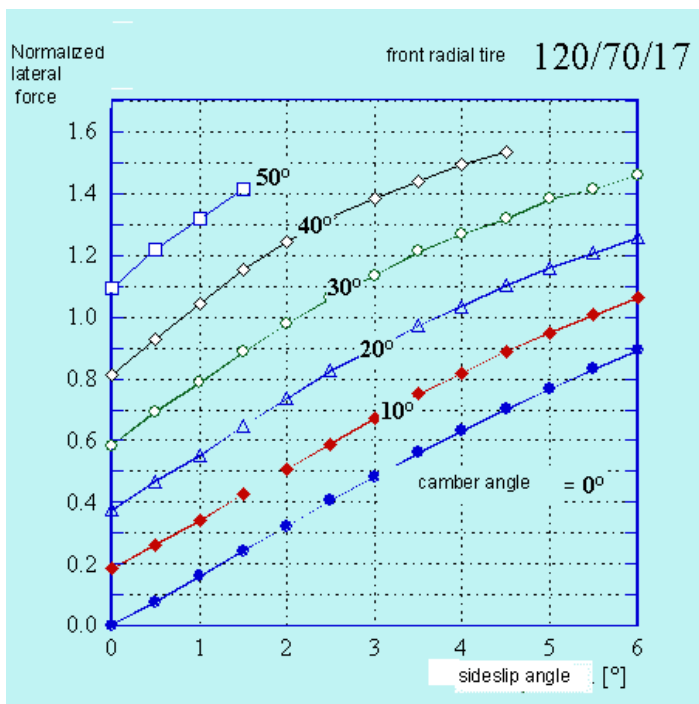
La huella de contacto es asimétrica cuando hay deslizamiento lateral. En la primera parte de la huella de contacto las partículas de goma tienden a seguir la velocidad de dirección pero desde que la velocidad de dirección no coincide con el plano de la rueda, las partículas localizadas dentro de la huella de contacto son deformadas respecto a la carcasa. Esta es la huella de contacto con adherencia. Cuando la deformación es un poco más grande, las fuerzas elásticas debidas a la deformación de la goma son más grandes que la fuerza adherente por lo que las partículas de goma empiezan a deslizarse. Esto es la huella de contacto de deslizamiento. La presión integral de la huella de contacto nos da la fuerza lateral debido al deslizamiento lateral.

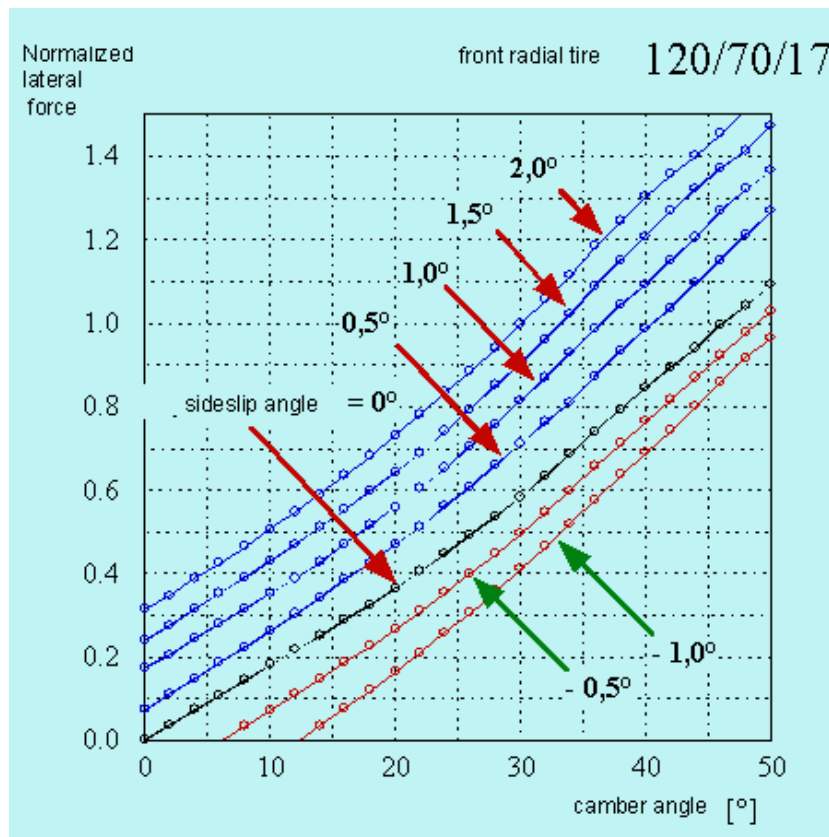


Hemos visto como la fuerza lateral depende del ángulo de inclinación y del deslizamiento lateral del neumático. Normalmente la fuerza lateral se representa con el ángulo de derrapaje para diferentes ángulos de inclinación como se representa en la figura 4 para un neumático delantero de competición.

Este tipo de representación se usa en el campo del automóvil debido a que los ángulos de inclinación son muy pequeños y el neumático provoca las fuerzas laterales requeridas solo por el deslizamiento lateral. Por

otro lado los neumáticos de motocicleta funcionan primero por el ángulo de inclinación y segundo por el deslizamiento lateral, produciendo al final la fuerza lateral. Este es el porque los neumáticos de motocicletas son mejores para representar las fuerzas laterales enfrente el ángulo de inclinación para diferentes valores de ángulo de derrapajes como se muestra en la figura 5.

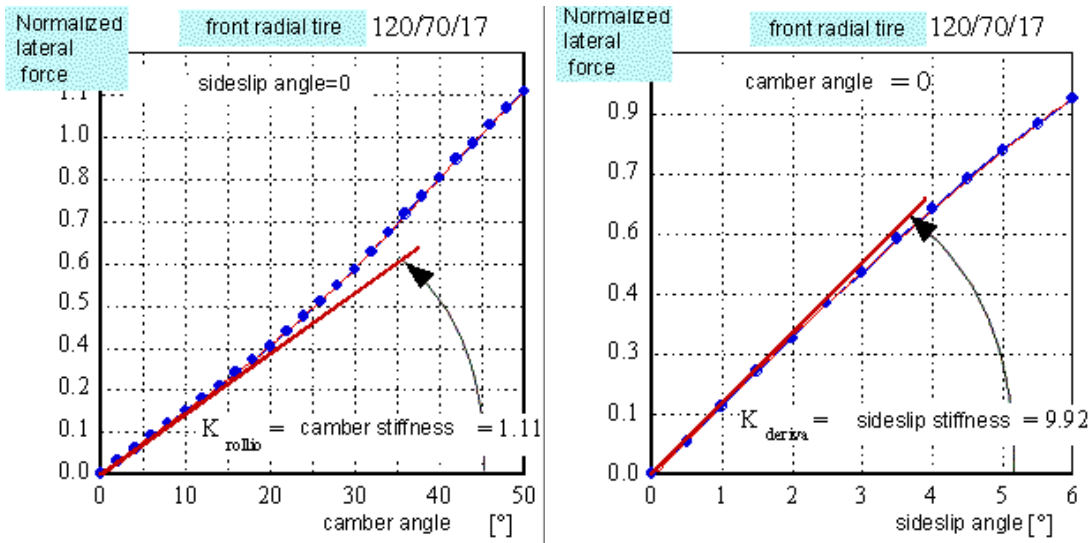




La fuerza lateral puede expresarse analíticamente como una función lineal del ángulo de inclinación y el ángulo de derrapaje, viendo la fuerza como la suma de dos componentes independientes entre si, la componente de la inclinación y la del ángulo de derrapaje.

$$Fuerza_{lateral} = K_{incl} * \varphi + K_{\text{ángulodederrapaje}} * \lambda$$

La constante K tiene un significado geométrico también; representa las tangencias de las curvas respectivamente de la fuerza lateral normalizada contra el ángulo de inclinación con el nudo del ángulo de derrapaje y la fuerza lateral contra el ángulo de derrapaje con el nudo de la inclinación.



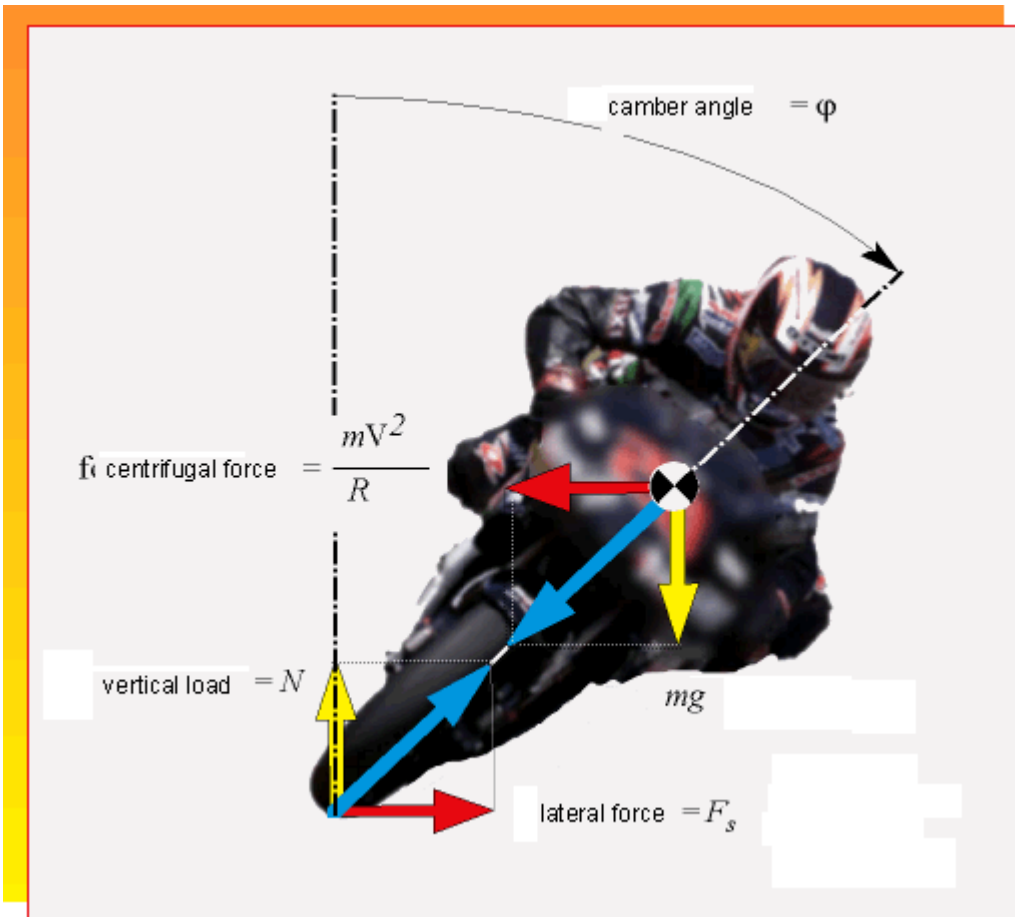
Para entender como de grande es la fuerza lateral consideramos una motocicleta moviéndose en unas condiciones de giro a velocidad constante.

Desestimando el efecto giroscópico (capítulo 1.1.4.3) generado por las ruedas durante unas condiciones de giro y el hecho de que la sección transversal del neumático es considerable (puede llegar a ser mayor de 100mm en ruedas posteriores) la fuerza lateral requerida para permitir el equilibrio se obtiene por la multiplicación de la carga vertical por la tangente del ángulo de inclinación.

$$\text{Fuerza lateral} = \text{carga vertical} * \text{tang}(\varphi)$$

Usar esta hipótesis es como considerar una motocicleta virtual de ruedas con un momento de inercia muy pequeño (magnesio o fibra de carbono) con una sección transversal muy pequeña parecido a las ruedas de bicicletas de competición.

Cuando el ángulo de inclinación es igual a 45° la fuerza lateral es exactamente igual a la carga vertical. La condición de equilibrio esta representada en la figura 6 que muestra que la fuerza centrífuga se equilibra exactamente por la suma de las dos fuerzas laterales generadas por las dos ruedas.



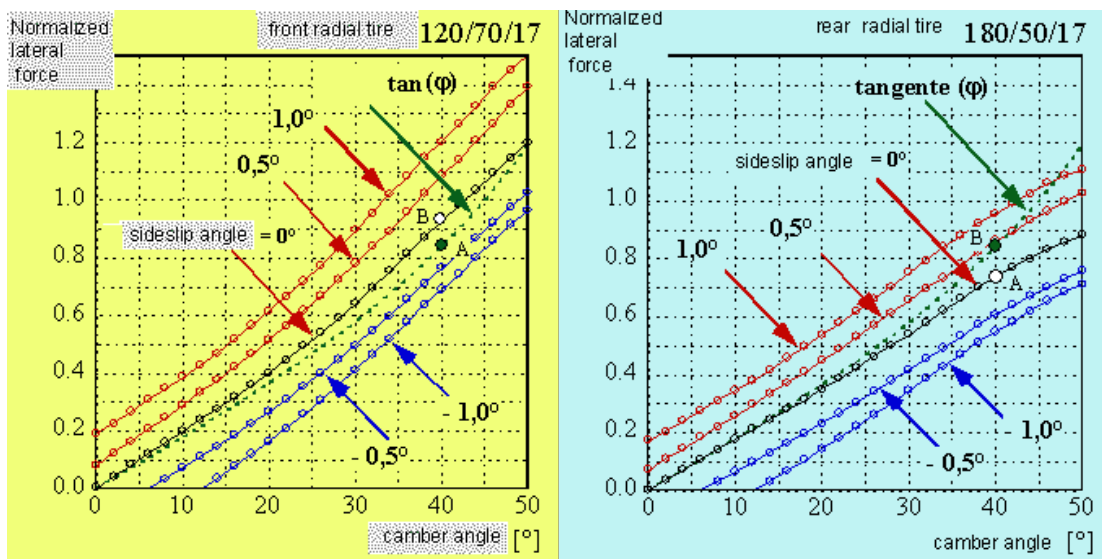
La figura 8 muestra la fuerza lateral contra el ángulo de inclinación por las dos ruedas, la delantera y la trasera, relacionadas con sus cargas verticales respectivamente. La figura muestra también el curso de la siguiente función:

$$\text{tang}(\varphi) = \text{Fuerza lateral} / \text{carga vertical} = V^2 / g * R$$

que representa la condición de equilibrio en curva.

La fuerza lateral generada por la inclinación, relacionada a la carga vertical, puede ser mayor o más pequeña de la fuerza requerida en el equilibrio representado por el valor de la tangente del ángulo de inclinación.

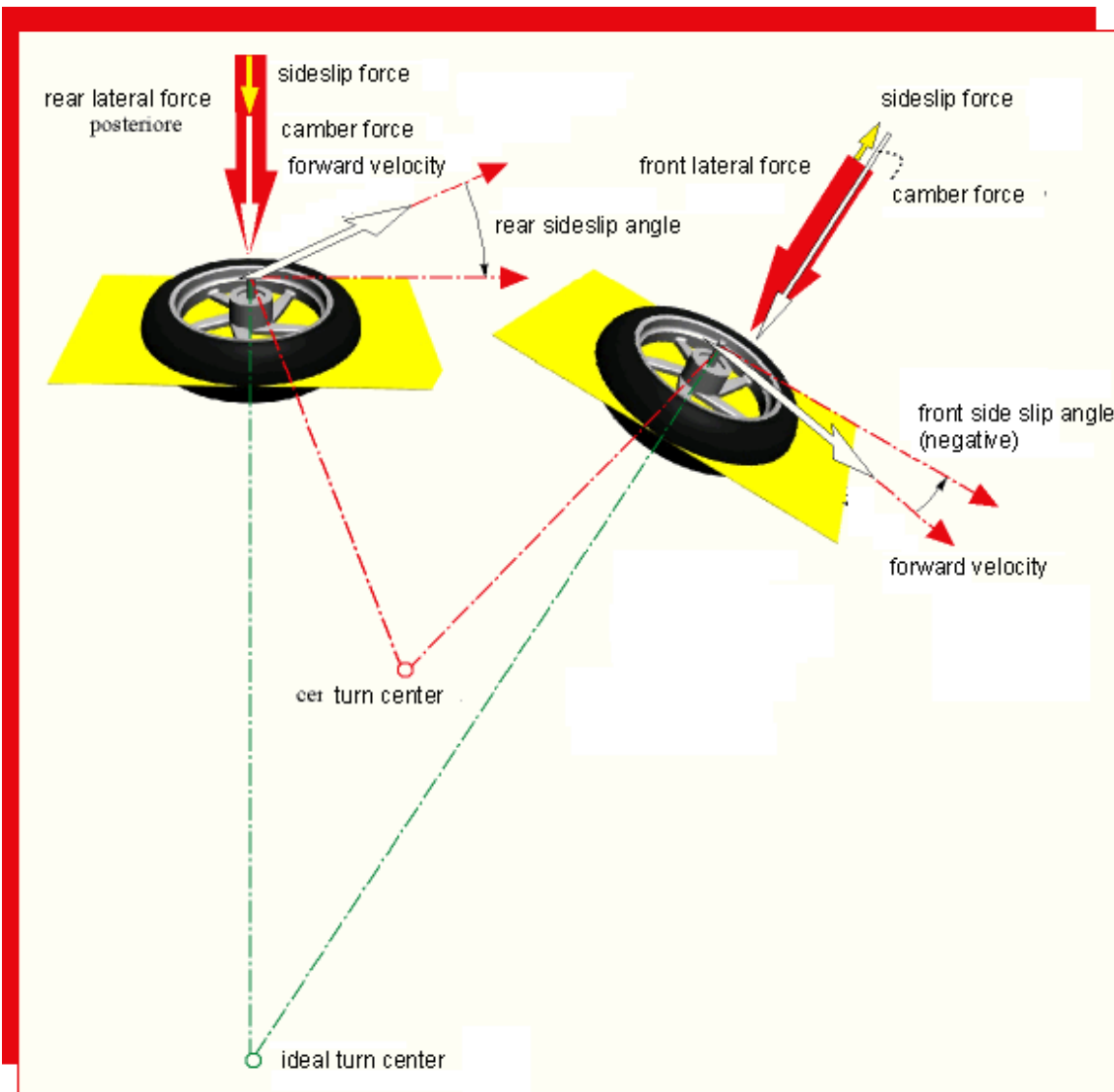
En el primer caso, con fuerza insuficiente, se necesita un deslizamiento lateral que es positivo al ángulo de derrapaje que hace parte de la fuerza restante para el equilibrio; en el segundo caso, el ángulo de derrapaje tiene que ser negativo para hacer decrecer la fuerza lateral.



Consideramos los neumáticos cuyas características están representadas en la figura 7 y la hipótesis de que la motocicleta corre en una curva con un grado de inclinación de  $40^\circ$ .

Para la rueda trasera la fuerza de la inclinación es insuficiente para el equilibrio. De hecho la fuerza lateral con el nudo del ángulo de derrapaje es de 0.73 (punto A) que la fuerza requerida es 0.85. La rueda trasera patinará hacia fuera y el ángulo de derrapaje será tal que incrementará la fuerza lateral hasta el valor para el equilibrio (Punto B).

Para el equilibrio en la rueda delantera tendremos un ángulo de derrapaje negativo porque para una inclinación de  $40^\circ$ , la fuerza lateral debido a la inclinación (punto B) es mayor que la fuerza requerida para el equilibrio (punto A).



Podría ser posible utilizar un neumático delantero de una calidad mala y un buen neumático atrás. Sería un caso de deslizamiento lateral delantero grande y no-deslizamiento atrás. Esto provocaría que la motocicleta fuese mas sub-viradora. Esto es un problema porque en el caso de querer forzar la inclinada, se le esta pidiendo a la rueda delantera que aguante una fuerza lateral mas grande y por lo tanto se le pide un ángulo de derrapaje mucho mas grande.

¿Qué pasaría si la rueda no fuese capaz de generar esta fuerza? Bueno, esta claro, acabas clavando los dientes en el suelo, porque aunque parezca curioso no lo es; si se te va la rueda de delante por imposibilidad de generar esa fuerza lo primero que toca el suelo es tu cara (por eso casco integral) y no las manos.

Prof. Vittore Cossalter  
Universidad de Pádova  
Traducido por Goose