FUERZAS DE VALORES VARIABLES O DE LIGADURA. FUERZA DE ROZAMIENTO

Ocurre en muchos casos que el valor de ciertas fuerzas ejercidas por los contactos que el cuerpo tiene con el exterior es variable y se amolda a las solicitaciones que ese exterior ejerce sobre el cuerpo. La tensión de una cuerda de la que cuelga un cuerpo es igual al peso del cuerpo, pero si yo me cuelgo ahora del cuerpo la tensión cambia y es igual al peso de los dos, el del cuerpo que ya estaba colgado y el mío propio. Lo mismo ocurre con la normal y la fuerza de rozamiento, pero, como vamos a estudiar en los párrafos siguientes, aunque su valor dependa de las solicitaciones exteriores **NO PUEDEN TOMAR CUALQUIER VALOR Y TIENEN QUE CUMPLIR CIERTAS RESTRICCIONES.** En esta lección hablaremos de la fuerza de rozamiento.

FUERZA DE ROZAMIENTO:

Destacamos "fervientemente" que la fuerza de rozamiento **SOLO TIENE UN VALOR CONSTANTE CUANDO HAY DESLIZAMIENTO, μN, y sólo en ese caso, podemos asegurar que va dirigida en sentido contrario al movimiento**. Estudiemos más profundamente su comportamiento, veremos que el coeficiente de rozamiento,μ, toma dos valores.

Para ello, cojamos una masa, por ejemplo, de ***1000 Kg***, simplemente apoyada sobre una superficie plana, en la carretera, y vayamos tirando de ella por medio de una cuerda. Al principio, **con fuerzas pequeñas**, la masa sigue quieta, entonces, aplicando la ley de Newton

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

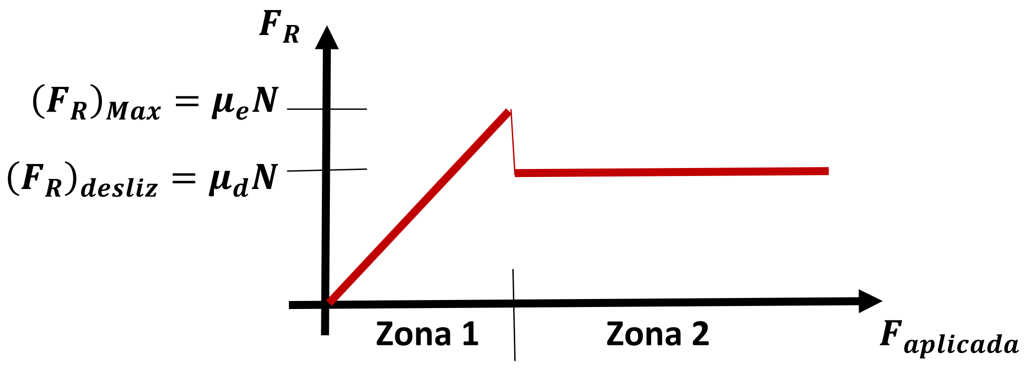
y dado que la aceleración es cero porque no se mueve, las fuerzas han de ser cero y, por lo tanto**, el rozamiento ha de valer lo mismo que la fuerza aplicada, pero en sentido contrario**. A medida que vamos aplicando una fuerza mayor, aunque todavía con el cuerpo quieto, el rozamiento va creciendo e igualándola para que la resultante sea cero como sabemos que ha de ser. Pero llega un momento que, siendo la fuerza suficientemente grande, el cuerpo empieza a moverse.

Se sabe experimentalmente que **justamente antes de que el cuerpo empiece a moverse el rozamiento toma su valor máximo, $\mu_e N$ donde μ_e se llama coeficiente de rozamiento estático**. **Su valor es superior al del coeficiente dinámico.** Cuando el cuerpo se empieza a mover la fuerza de rozamiento toma ya un valor constante y hacia atrás, como ya se ha dicho cuando hemos hablado de la traslación, siendo este valor $\mu_d N$, **donde μ_d se llama coeficiente dinámico de rozamiento**. Por ello, **cuando un cuerpo no deslice sobre la superficie en la que se apoya, el rozamiento se denomina de tipo estático y su valor es en principio desconocido ya que depende de las condiciones en las que se encuentra el cuerpo. Sin embargo, como se ha dicho, ha de cumplir la siguiente restricción:**

$$\boldsymbol{F_r \leq \mu_e N}$$

Que es su valor máximo.

Si representamos en una gráfica el valor del rozamiento según la fuerza aplicada, resumiendo los párrafos anteriores, tenemos:



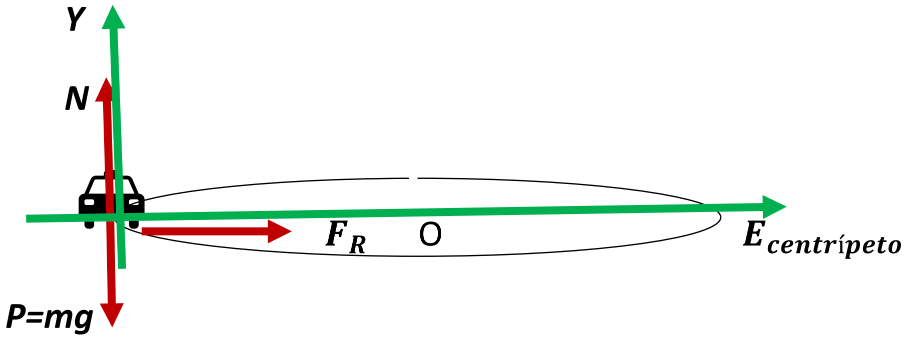
En la zona 1 el cuerpo no desliza sobre la superficie de apoyo y el rozamiento no tiene un valor fijo, habrá que calcularlo según la situación del móvil. En la zona 2 ya hay deslizamiento y su valor es constante, conocido, y de sentido contrario a la velocidad.

Veamos un ejemplo.

Ejemplo 1

Un coche de 500 Kg de masa toma una curva de 20 m de radio con una velocidad de 20 m/s. Los coeficientes de rozamiento son $\mu_e = 3$ y $\mu_d = 1.9$. Calcular el valor de la fuerza de rozamiento en esta situación y si es posible que, en esta situación, el coche tome la curva sin derrapar. Calcular también la velocidad máxima a la que el coche puede tomar la curva sin salirse.

Lo primero que debemos de pensar es si estamos ante una traslación o ante una rotación, pues ya hemos visto que las pautas son distintas. La respuesta a esta pregunta creemos que es clara: estamos ante una rotación, además sobre un plano horizontal. Teniendo esto en mente, aplicamos la **primera pauta, dibujamos el diagrama de fuerzas**:



Las fuerzas peso y normal creemos que no necesitan comentario. Sabemos que el sentido del rozamiento dibujado siempre extraña. **Deduzcamos que ésa es su dirección y sentido**.

Lo primero que debemos tener claro es que **sobre el coche NO puede haber más fuerzas.** Recordando el tipo de fuerzas que actúan sobre un cuerpo dado en la lección dedicado a ello tenemos:

Las que se "transmiten" al cuerpo sin necesidad de tocarlo, en nuestro caso el peso.

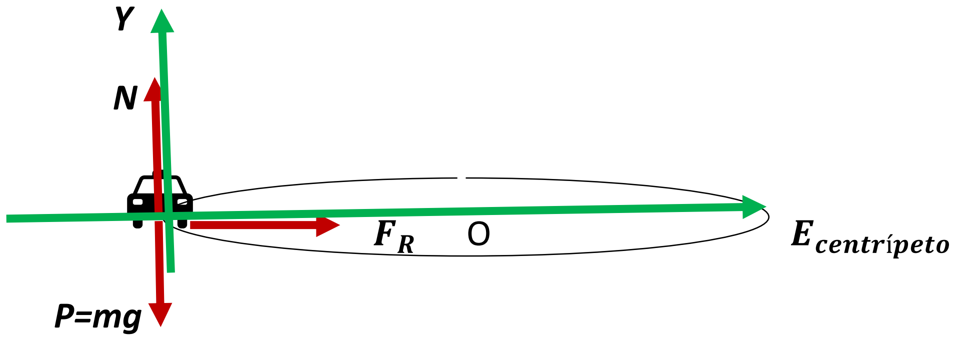
Las demás, **que obligatoriamente tienen su origen donde el cuerpo está tocando al exterior**. En nuestro caso es la superficie de apoyo, por lo tanto, la normal y la fuerza de rozamiento. Sobre la normal no creemos que haya duda. **La fuerza de rozamiento es de tipo estático, puesto que el coche no está derrapando sobre la carretera**. Tiene la dirección de la superficie de apoyo, horizontal en nuestro caso. Pero, ¿cuál es su sentido? ¿hacia la derecha o hacia la izquierda? Aquí es donde cobra peso lo que se ha dicho antes en cuanto a que **se amolda a las solicitaciones exteriores, al movimiento del cuerpo, cuando no hay deslizamiento. Sabemos que el coche está realizando una rotación de centro el punto O, hemos de deducir, casi automáticamente, que debe de haber una fuerza hacia ese punto, una fuerza centrípeta que provoque la aceleración centrípeta que sabemos que existe hacia ese punto y de lo cual no podemos dudar. Por lo tanto, si sólo nos queda por dibujar una fuerza, la fuerza de rozamiento, y sabemos que debe de haber una fuerza hacia el centro, la conclusión es clara: su sentido es hacia la derecha.**

También, si nos extraña que la fuerza de rozamiento es la fuerza centrípeta que produce el giro, no tenemos nada más que imaginarnos que no existe, que estamos sobre una pista "helada". Enseguida vemos que sobre una pista helada no se puede tomar una curva, seguimos con la misma velocidad por el principio de inercia, la primera ley de Newton. Nos vamos "hacia afuera", no porque la huerta que hay al lado de la carretera nos atraiga, sino porque no disponemos de la fuerza centrípeta que es necesaria para que giremos.

Aunque la explicación ha sido larga, creemos que es absolutamente necesaria. Ahora pasamos a contestar a las preguntas, siguiendo las pautas de las que hemos hablado en la lección anterior sobre los movimientos de rotación.

2º Paso: descomponer las fuerzas sobre el eje centrípeto y, si la rotación es en un plano horizontal, como en nuestro caso, sobre el eje Y vertical.

Este paso ya está hecho, puesto que todas las fuerzas van sobre esos ejes.



3º Paso: aplicar las leyes a cada eje

$$\sum \boldsymbol{F_Y} = \mathbf{0} \rightarrow N = mg \rightarrow \boldsymbol{N} = \mathbf{500} \cdot \boldsymbol{g} \approx \mathbf{5000}\ \boldsymbol{N}$$

$$\sum \boldsymbol{F_{centr}} = \boldsymbol{m}\frac{\boldsymbol{v^2}}{\boldsymbol{R}} \rightarrow \boldsymbol{F_R} = m\frac{v^2}{R} \rightarrow F_R = 500\frac{20^2}{20} = \mathbf{10^4}\ \boldsymbol{N}$$

Pero ¿es esto posible? ¿Puede tomar la fuerza de rozamiento este valor? Sabemos que el valor máximo de la fuerza de rozamiento es

$$(\boldsymbol{F_r})_{\boldsymbol{MAX}} = \mu_e \cdot N = 3 \cdot 5000 = \mathbf{15000}\ \boldsymbol{N}$$

Como, para que el coche tome la curva nos hacen falta ***10000 N*** y "disponemos" de 15000 N, **el coche toma la curva sin derrapar**, puesto que

$$\mathbf{10000 \leq 15000} \rightarrow \boldsymbol{F_R} \leq (\boldsymbol{F_R})_{\boldsymbol{Max}}$$

Esta es la repuesta a la primera pregunta. Veamos ahora la segunda, calculemos la velocidad máxima a la que ese coche puede tomar esa curva.

La velocidad máxima a la que se pueda tomar la curva es cuando actúe la fuerza centrípeta máxima de la que disponemos, la fuerza de rozamiento estática máxima, $\mu_e \cdot N$. Por lo tanto

$$\boldsymbol{\mu_e \cdot N = m\frac{v_{MAX}^2}{R}} \rightarrow 3 \cdot 5000 = 500\frac{v_{MAX}^2}{20} \rightarrow 600 = v_{MAX}^2 \rightarrow$$

$$\boldsymbol{v_{MAX}} = \sqrt{600} \approx \boldsymbol{24.49\ {}^{m}/_{s}}$$