



En un caso real la rueda (o el suelo) sí presentan deformación. La parte de la rueda en contacto con el suelo estará aplanada, y la normal no se encuentra debajo del centro de masas. Así, el movimiento se produce por pivotamiento en el punto P (último punto de contacto), con lo que la normal está desplazada hacia la

derecha una cantidad que denominaremos d, y el centro de masas no está a una distancia del suelo igual al radio, sino menor, que marcaremos como h. Las fuerzas de contacto con el suelo seguirán siendo la normal y la fuerza de rozamiento, y supongamos una fuerza externa **F**. Tendremos lo que aparece en la figura. Aplicamos la ecuaciones dinámicas del sólido rígido:

$$\begin{aligned}\Sigma F_X &= ma_{CMX} \Rightarrow F - F_r = ma_{CM} \\ \Sigma F_Y &= ma_{CMY} \Rightarrow N - mg = 0 \\ \Sigma M_{CM} &= I_{CM}\alpha \Rightarrow F_r h - Nd = I_{CM}\alpha\end{aligned}$$

Las condiciones de rodadura obviamente serán las mismas que en el caso ideal:

$$\begin{aligned}F_r &\leq \mu_c N \\ a_o &= a_{CM} = \alpha r\end{aligned}$$

Si la rueda se mueve con velocidad constante, tendremos que:

$$v_{CM} = \text{cte} \Rightarrow a_{CM} = 0 \Rightarrow \alpha = 0$$

Así, nos quedan las ecuaciones:

$$\begin{aligned}F - F_r &= ma_{CM} \Rightarrow F - F_r = 0 \Rightarrow F = F_r \\ N - mg &= 0 \Rightarrow N = mg \\ F_r h - Nd &= I_{CM}\alpha \Rightarrow F_r h - Nd = 0 \Rightarrow F_r = N \frac{d}{h}\end{aligned}$$

En esta situación, la fuerza F que hay que aplicar para que la rueda se mueva a velocidad constante es:

$$F = F_r = N \frac{d}{h} = mg \frac{d}{h} \approx mg \frac{d}{r} = \mu_{rod} mg$$

donde definimos el coeficiente de fricción por rodadura, μ_{rod} , como: $\mu_{rod} = \frac{d}{r}$



Fijémonos ahora en la diferencia entre la rodadura (derecha) y el deslizamiento (izquierda). En el caso del deslizamiento:

$$F = F_r = \mu_c N = \mu_c mg$$

En el caso de la rodadura:

$$F = F_r = \frac{d}{r} mg = \mu_{rod} mg$$

Es ventajoso que el sistema ruede a que deslice, ya que el rozamiento por rodadura suele ser menor que el rozamiento por deslizamiento:

$$\mu_{rod} < \mu_c$$

Como ejemplo, en el caso de los neumáticos de un automóvil $\mu_c = 0,9$, $\mu_c = 0,8$, $\mu_{rod} = 0,02$.