

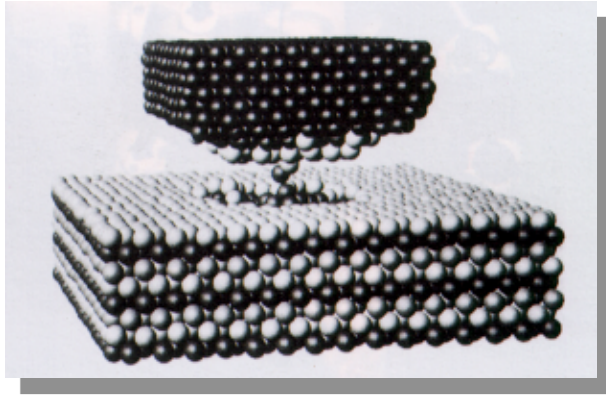
TEMA 4: Inercia y rozamiento
Capítulo 1: Rozamiento

Tema 4: Inercia y rozamiento

- Capítulo 1: Rozamiento

- ¿Qué es el rozamiento?
- Propiedades de la fuerza de rozamiento.
- Tipos de movimientos simples.
- Resistencia al deslizamiento.
- Rozamiento estático vs. Rozamiento dinámico.
- Resistencia a la rodadura y al pivotamiento.

¿Qué es el rozamiento?



Diseño por ordenador del contacto entre dos superficies oro (abajo) y níquel (arriba).

- El rozamiento aparece debido a la formación de enlaces moleculares entre dos superficies que se ponen en contacto.

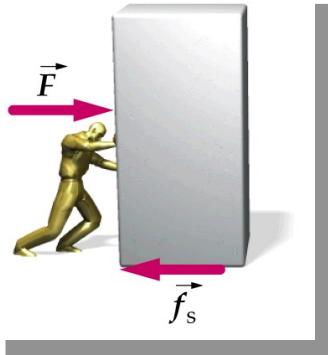
Superficie áspera y rugosa



Superficie de acero pulida. La altura media de estas irregularidades es del orden de 5×10^{-5} cm (varios miles de diámetros atómicos).

- Vamos a formular una fuerza macroscópica de naturaleza estadística, con una determinación colectiva por métodos experimentales (descripción fenomenológica)

Propiedades de la fuerza de rozamiento



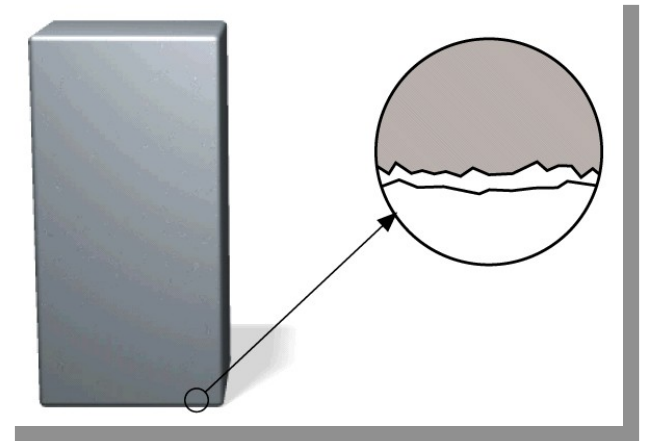
- La fuerza de rozamiento es una fuerza que se opone al movimiento.

- No depende del área.

El área microscópica de contacto entre el bloque y el suelo es solo una pequeña fracción del área macroscópica del bloque.

- Es proporcional a la fuerza normal

Esta fracción es proporcional a la fuerza normal ejercida entre las superficies.



Detalle del área microscópica.

Tipos de movimientos simples

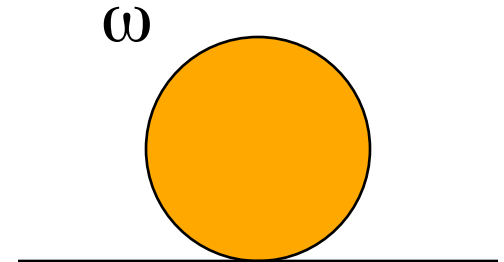
- Deslizamiento.

Cuando en los puntos de contacto existe una velocidad tangencial respecto al otro cuerpo



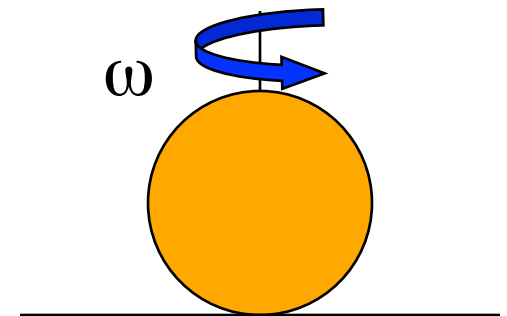
- Rodadura.

Cuando el eje de rotación es una recta tangente a la superficie de contacto.

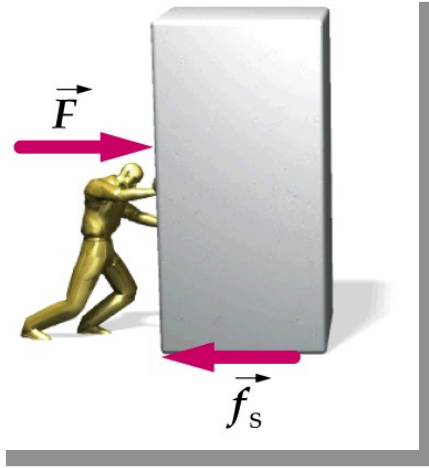


- Pivotamiento.

Cuando el eje de rotación es normal a la superficie en el punto de contacto.



Resistencia al deslizamiento



- La fuerza de fricción que se debe a la interacción entre dos cuerpos del **mismo material** se conoce como cohesión. Mientras que se habla de adhesión cuando los **materiales son diferentes**.

La fuerza de fricción depende:

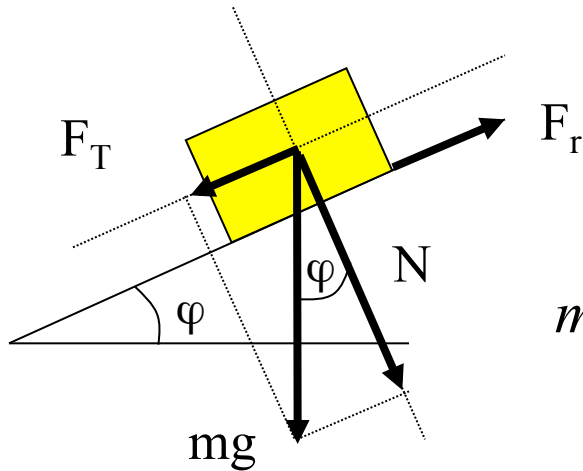
- 1) **Los materiales** que están en contacto.
- 2) **El estado de las superficies** (humedad, rugosidad, lubricación, etc.).
- 3) **es proporcional a la fuerza normal** con que apoya un sólido en otro.

Resistencia al deslizamiento

- La fuerza de fricción por tanto será directamente proporcional a la fuerza normal (N o f_n).
- μ se conoce como el coeficiente de rozamiento, y engloba las características de las superficies de contacto y se **obtiene experimentalmente**.

$$F_R = \mu N$$

Obtención experimental de μ



$$F_T = F_R$$

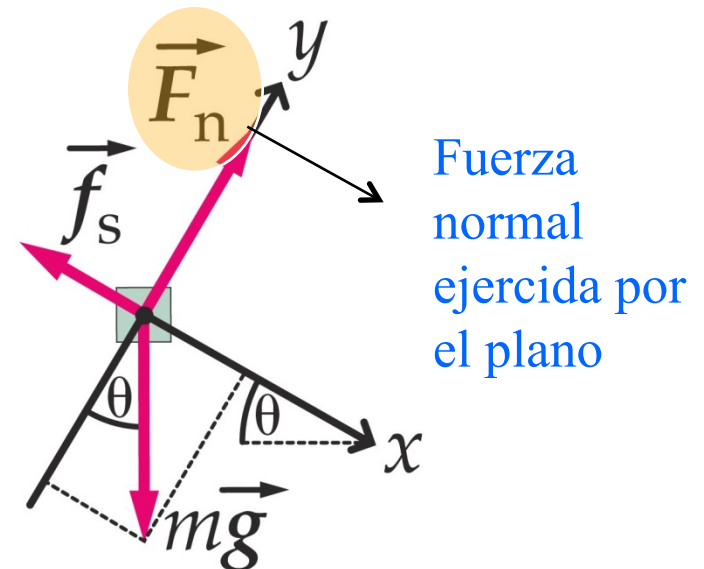
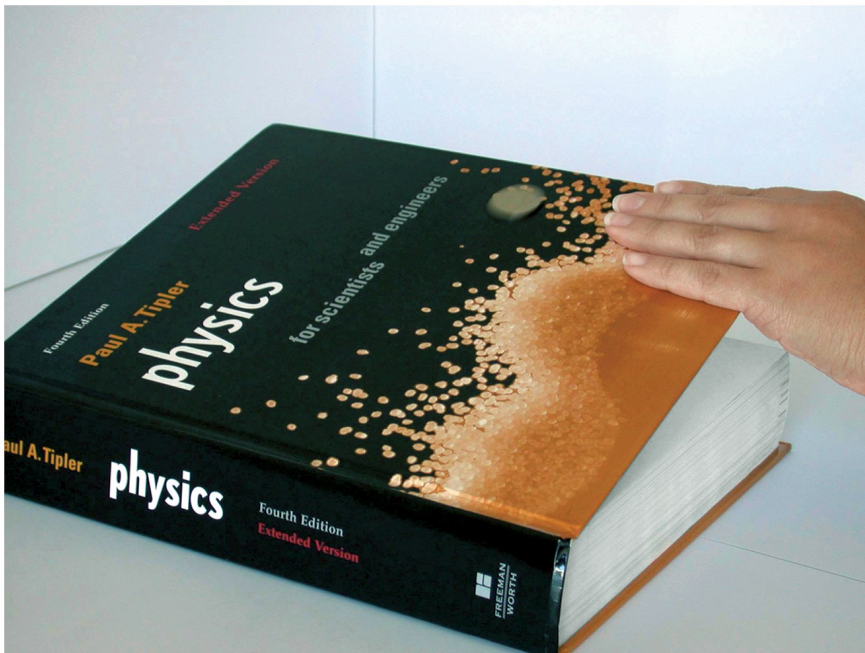
$$mg \sin \varphi = \mu mg \cos \varphi \Rightarrow \mu = \frac{mg \sin \varphi}{mg \cos \varphi} = \tan \varphi$$

$$\mu = \tan \varphi_L$$

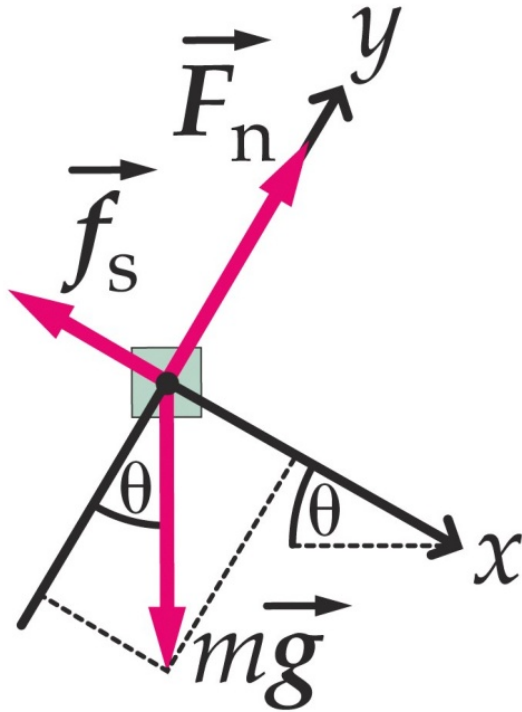
ÁNGULO CRÍTICO

Problema: una moneda que resbala

Sobre la cubierta superior de un libro de tapas duras que está sobre la mesa hay una moneda. Poco a poco se levanta la tapa del libro hasta que la moneda empieza a deslizar. El ángulo θ_{\max} es el ángulo que forma la tapa con la horizontal en el momento en que la moneda empieza a moverse. Calcular el coeficiente de rozamiento estático μ_e entre la tapa del libro y la moneda en función del θ_{\max} .



Solución



Componentes **verticales** de las fuerzas:

$$F_n - mg \cos \theta = 0$$

$$F_n = mg \cos \theta$$

$$f_s^{\max.} = \mu_s \cdot F_n = \mu_s \cdot mg \cos \theta_{\max.}$$

Componentes **horizontales** de las fuerzas:

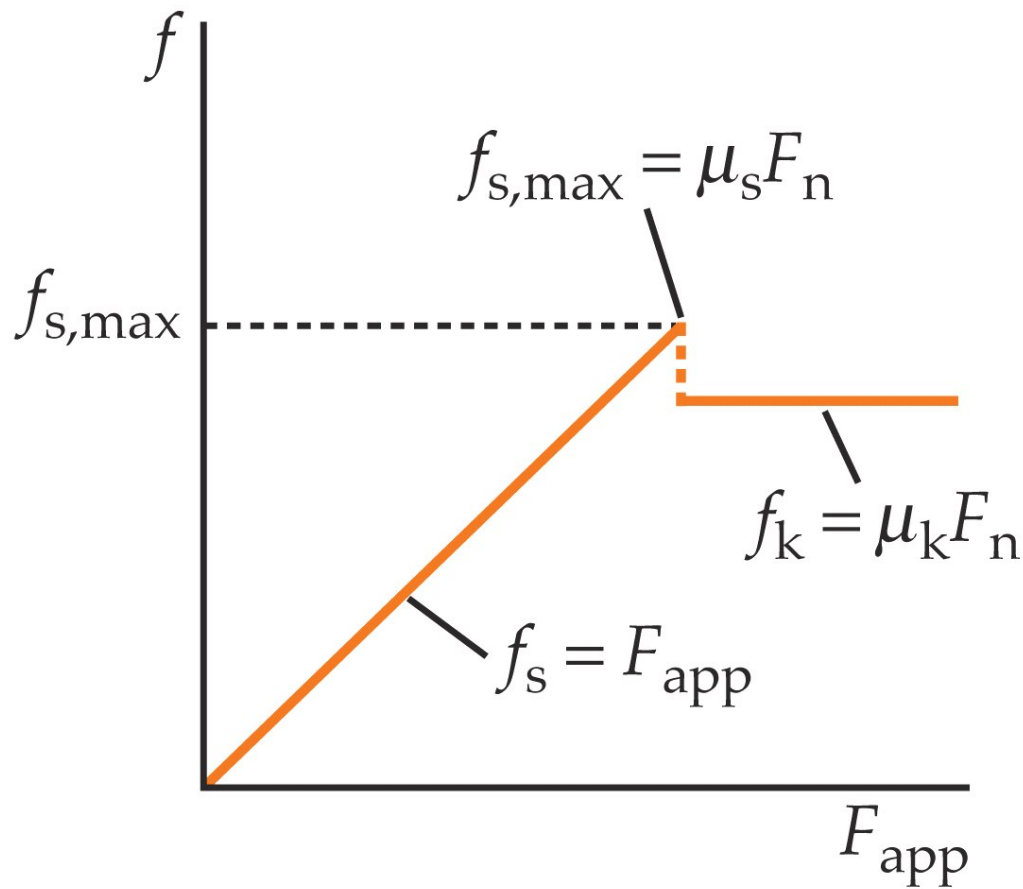
$$- f_s^{\max.} + mg \sen \theta_{\max.} = 0$$

$$f_s^{\max.} = mg \sen \theta_{\max.}$$

$$mg \sen \theta_{\max.} = \mu_s \cdot mg \cos \theta_{\max.}$$

$$\mu_s = \frac{mg \sen \theta_{\max.}}{mg \cos \theta_{\max.}} = \boxed{tg \theta_{\max.}}$$

Rozamiento estático vs. Rozamiento dinámico



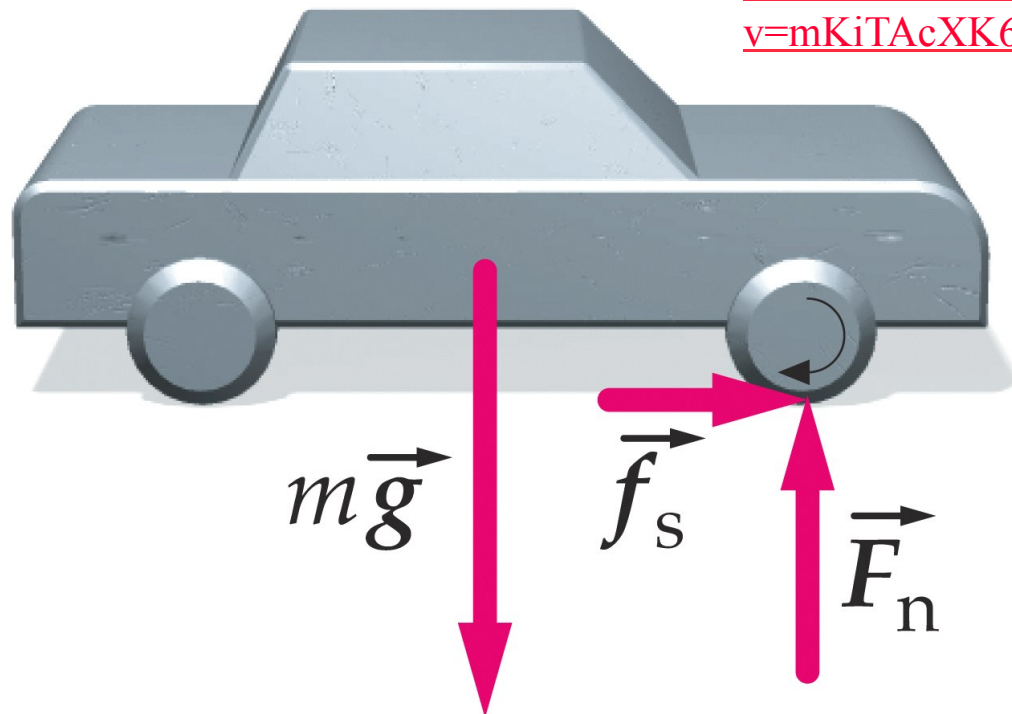
- Relación entre los coeficientes de rozamiento estático (f_s) y dinámico o cinético (f_k)

$$\mu_k < \mu_s$$

Frenado antibloqueo (**ABS: Anti-Lock Brake System**): se utilizan sensores para medir la velocidad de la rueda

- Si nos encontramos con el **coche atascado en hielo o nieve**, para poder salir es mejor acelerar con mucha suavidad.

Video sobre ABS: <https://www.youtube.com/watch?v=mKiTAcXK6M4>



- De la misma forma, **si tenemos que parar completamente el coche**, la fuerza que ejerce el asfalto sobre las ruedas es estática o cinética, dependiendo de la forma como frenamos:

Si **frenamos bruscamente**, los neumáticos resbalan y la fuerza que parará el coche será la fuerza de **rozamiento cinético**. En cambio, si **frenamos despacio**, la fuerza es **de rozamiento estático**.

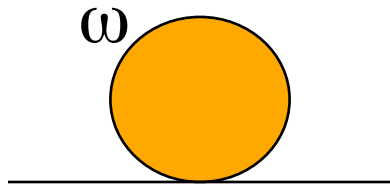
Rozamiento estático vs. Rozamiento dinámico

TABLE 5-1

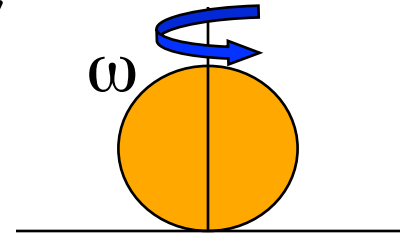
Approximate Values of Frictional Coefficients

Materials	μ_s	μ_k
Steel on steel	0.7	0.6
Brass on steel	0.5	0.4
Copper on cast iron	1.1	0.3
Glass on glass	0.9	0.4
Teflon on Teflon	0.04	0.04
Teflon on steel	0.04	0.04
Rubber on concrete (dry)	1.0	0.80
Rubber on concrete (wet)	0.30	0.25
Waxed ski on snow (0°C)	0.10	0.05

Resistencia a la rodadura y al pivotamiento



• Los movimientos de rodadura y pivotamiento encuentran resistencia debido a las deformaciones en el punto de contacto.



• Aparece un **momento resistente**, M_r que tiende a detener el movimiento.

$$M_r = \rho N$$

• El **coeficiente de rodadura** ρ depende de los materiales y del estado de las **superficies de contacto**.

$$[\rho] = \frac{MLT^{-2}L}{MLT^{-2}} = L$$

Comparación entre rodadura y deslizamiento

- Comparamos la fuerza de rozamiento total que se genera en un movimiento de **deslizamiento** y otro de **rodadura**.

$$\begin{array}{l}
 F_T = \mu N \\
 M_r = rF_T = \rho N \Rightarrow F_T = \frac{\rho}{r} N
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} F_T = \mu N \\ M_r = rF_T = \rho N \Rightarrow F_T = \frac{\rho}{r} N \end{array}} \right\} \begin{array}{l} \tau = F_T r = F \cdot r \cdot \text{sen} \phi = F \cdot \ell \\ \rho < \mu \Rightarrow \frac{\rho}{r} \ll \mu \end{array}$$

- Vemos que para la misma fuerza normal el coeficiente de rozamiento es mucho mayor que el cociente entre el de rodadura y el radio de giro.

• ρ (metal-metal) = 10^{-3} m	$F_T = \frac{\rho}{r} N = \frac{10^{-3}}{0.5} N = 0.2 \cdot 10^{-2} N$
• ρ (caucho-suelo) = $2 \cdot 10^{-2}$ m	$F_T = \frac{\rho}{r} N = \frac{2 \cdot 10^{-2}}{0.5} N = 4 \cdot 10^{-2} N$
• μ (metal-metal) = 0.2	$F_T = \mu N = 0.2 \cdot N = 0.2 N$

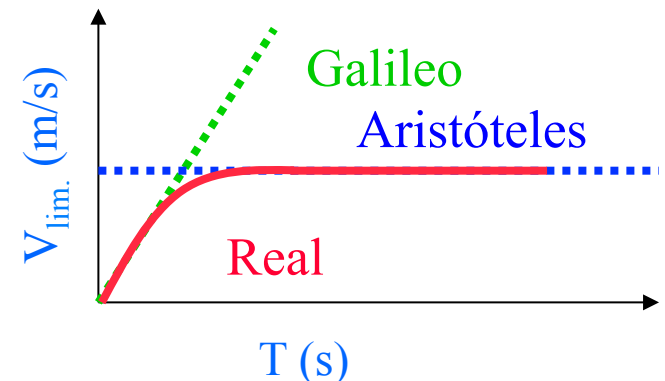
Fuerzas de arrastres

- Cuando un objeto se mueve a través de un fluido, tal como el aire o el agua, el fluido ejerce una fuerza de resistencia o **fuerza de arrastre** que tiende a reducir la velocidad del objeto.
- Consideremos un **objeto que cae libremente** desde el reposo bajo la influencia de la fuerza de gravedad (mg) y la fuerza de arrastre (bv^n):

$$bv_{\text{lim.}}^n = mg$$

- El objeto alcanzará una velocidad límite o velocidad terminal:

$$v_{\text{lim.}} = \left(\frac{mg}{b} \right)^{1/n}$$



Cuanto mayor sea la constante b , menor es la velocidad límite.



200 km/h



20 km/h

<https://www.youtube.com/watch?v=p0IZsfzDS4s>

Problema: Una prueba de carretera

Durante un trabajo de verano, un equipo de estudiantes diseña neumáticos de coches. Se prueba un nuevo prototipo de neumáticos para ver si su comportamiento cumple las previsiones. En un prueba de deslizamiento, un BMW fue capaz de recorrer a velocidad constante un círculo de 45.7 m de radio en 15.2 s sin patinar. (a) ¿Cuál fue su velocidad? (b) ¿Cuál fue la aceleración centrípeta? (c) suponiendo que la fuerza del aire y el rozamiento son despreciables, ¿Cuál es el valor mínimo del coeficiente de rozamiento estático?