



universidad de buenos aires - exactas
departamento de Física

DINÁMICA. FUERZA DE ROZAMIENTO

COEFICIENTE DE ROZAMIENTO ESTÁTICO

Laboratorio 1 – 2do. Cuatrimestre de 2020

Lucía Famá - Joaquín Sacanell
Mauro Silberberg - Pedro Schmied

Departamento de Física
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Universidad de Buenos Aires

Fuerza de rozamiento

Guillaume Amontons (1663-1705)

Charles Agustín de Coulomb (1736-1806)



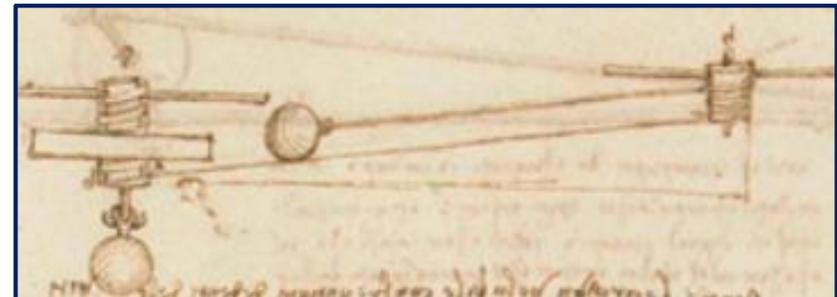
En el siglo XVII Guillaume Amontons:

“ La fuerza de rozamiento entre cuerpos rígidos es independiente del área de las superficies en contacto y su valor es proporcional a la fuerza normal entre las superficies. ”

Históricamente

Leonardo da Vinci (1452-1519).

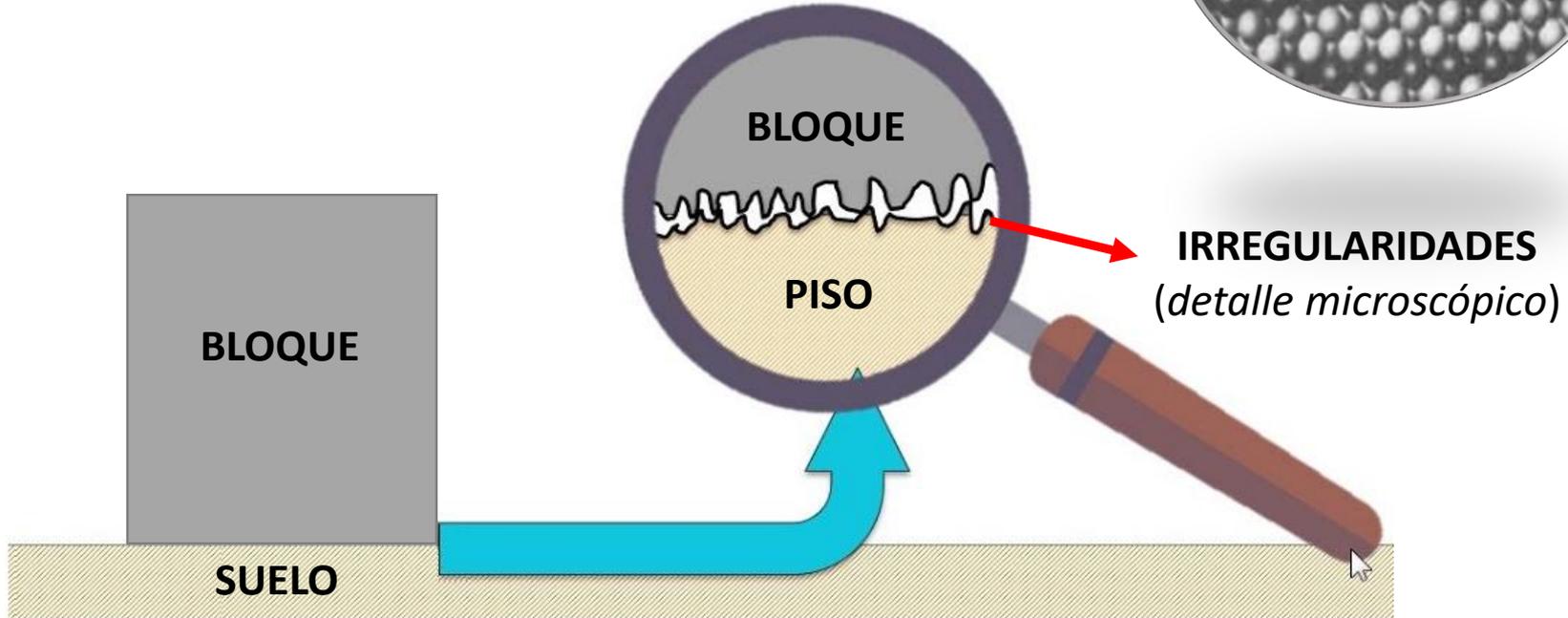
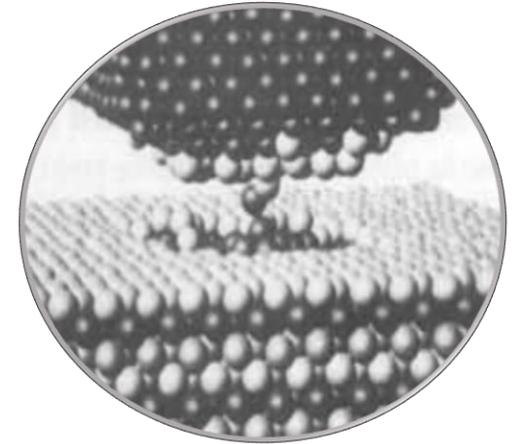
Principios de la fricción o rozamiento, a partir de una fuerza asociada a la resistencia de dos superficies en contacto.



Bosquejo (1493). Biblioteca Nacional de Madrid

Fuerza de rozamiento

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

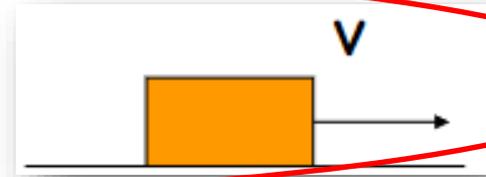


*M. Alonso y E. Finn. Física Vol. 1 Mecánica.
R. Feynman. Física Vol. 1 Mecánica, radiación y calor.*

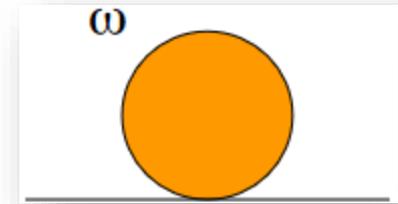
Fuerza de rozamiento

Clases de Fuerza de rozamiento

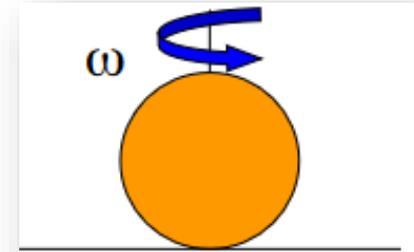
Deslizamiento. Cuando en los puntos de contacto existe una velocidad tangencial respecto al otro cuerpo



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



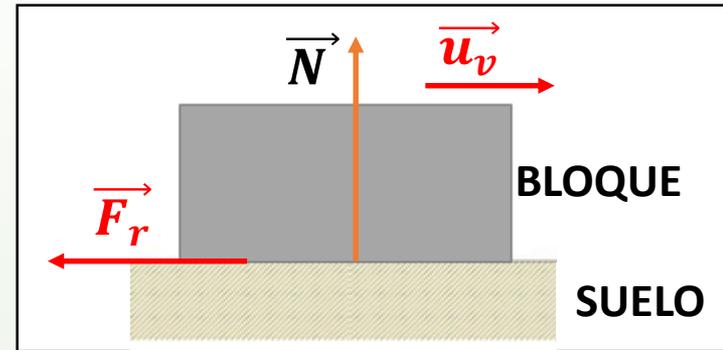
Pivotamiento. Cuando el eje de rotación es normal a la superficie en el punto de contacto.



Fuerza de rozamiento

Propiedades de F_r :

- ❖ Es proporcional a la fuerza normal (\vec{N}) que ejerce un objeto sobre el otro.
- ❖ No depende del área de contacto, sino de la naturaleza de sus materiales.
- ❖ No depende de la velocidad relativa entre los objetos.
- ❖ Tiene sentido opuesto al movimiento.



$$\vec{F}_r = -\mu \vec{u}_v N$$

μ → Coeficiente de rozamiento

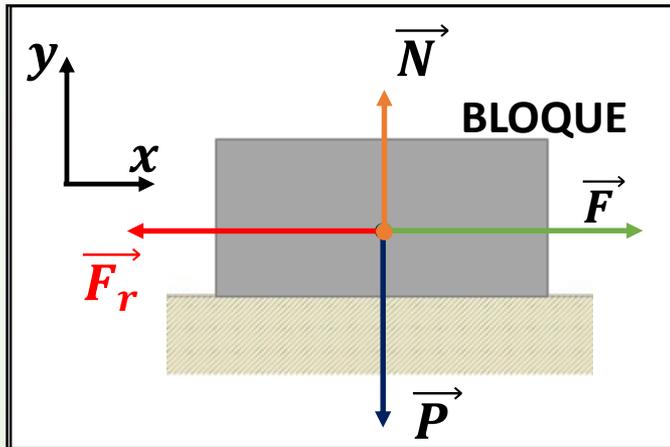
\vec{u}_v → Vector unitario en la dirección y sentido del vector velocidad

N → Módulo de la fuerza normal

$$F_r = \mu N$$

Módulo de la Fuerza de rozamiento

Coeficiente de rozamiento



2^{da} Ley de Newton: $\sum \vec{F}_{ext} = m\vec{a}$

$$\begin{cases} \hat{y}: N - P = ma_y \rightarrow a_y = 0 \rightarrow \boxed{N = P} \\ \hat{x}: F - F_r = ma_x \rightarrow F_r = F - ma_x \end{cases}$$

ESTÁTICO

$$a_x = 0$$

Fuerza para comenzar el movimiento ($F_{re(Máx)}$)

$$F_r = F$$

$$F_{re(Máx)} = \mu_e N$$

Coeficiente de rozamiento ESTÁTICO

$$a_x \neq 0$$

DINÁMICO

Fuerza para mantener el movimiento (F_{rd})

$$F_r = F - ma_x$$

$$F_{rd} = \mu_d N$$

Coeficiente de rozamiento DINÁMICO

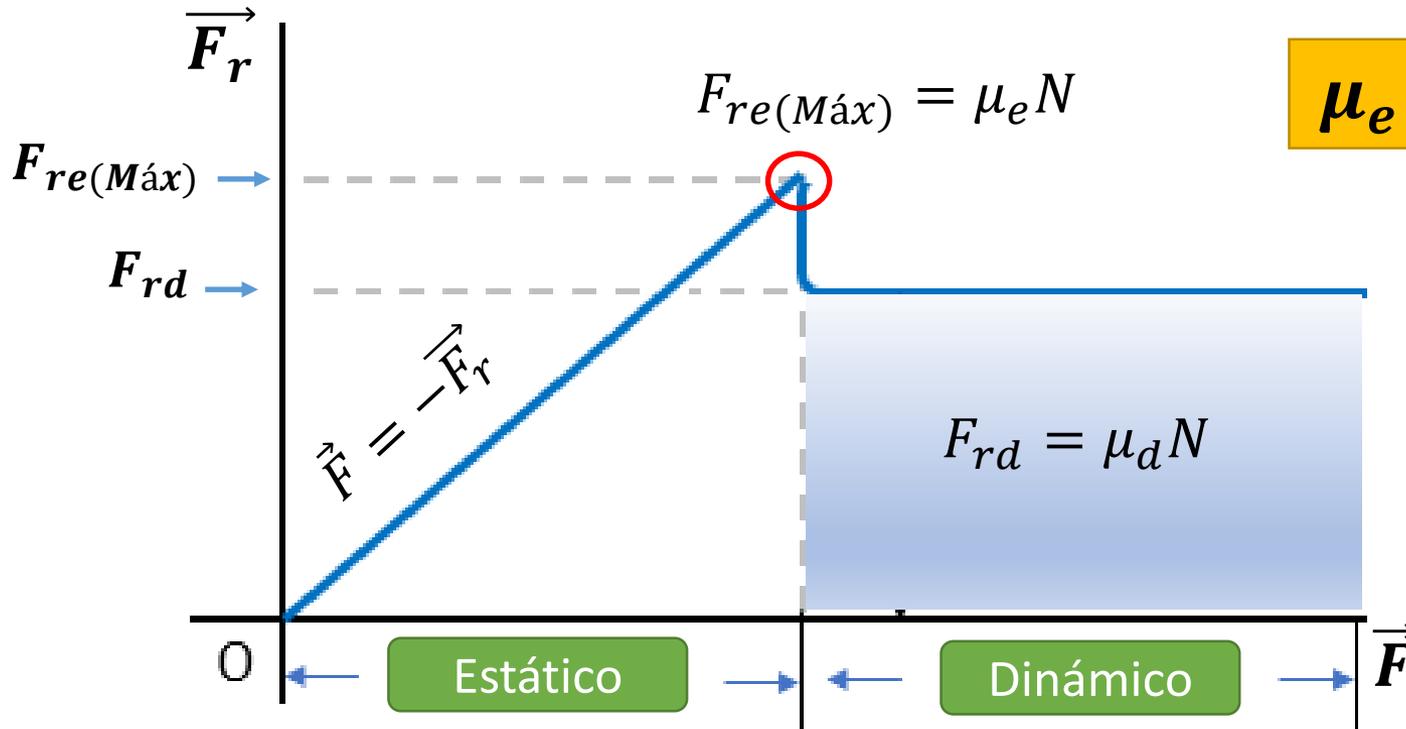
Fuerza de rozamiento

A partir de las características de F_r en el caso estático y dinámico, es posible inferir que:

$$F_{re(Máx)} > F_{rd}$$



$$\mu_e > \mu_d$$





Coefficiente de rozamiento

Coefficientes de rozamiento (superficies secas)*

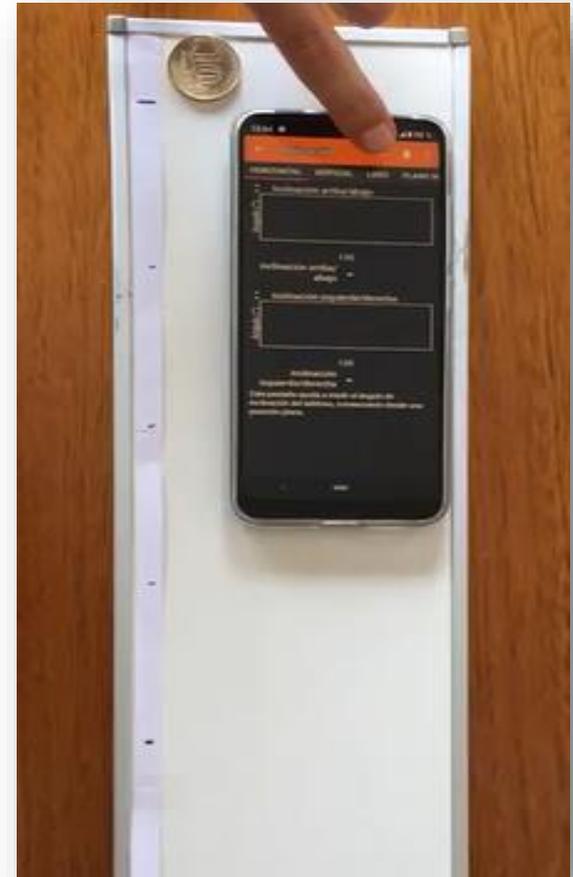
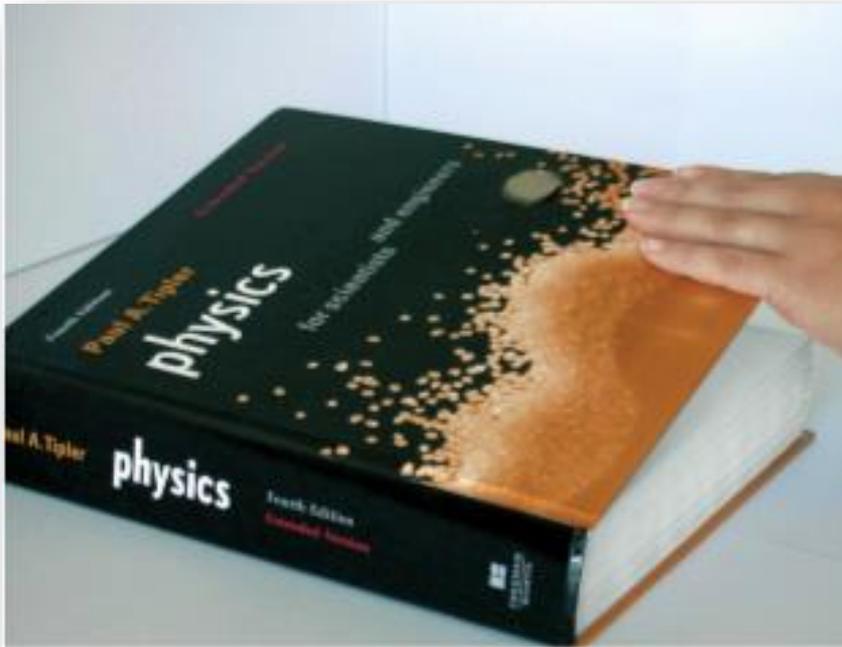
Material	μ_e	μ_d
Acero sobre acero (duro)	0,78	0,42
Acero sobre acero (blando)	0,74	0,57
Plomo sobre acero (blando)	0,95	0,95
Cobre sobre acero (blando)	0,53	0,36
Níquel sobre níquel	1,10	0,53
Fierro fundido sobre fierro fundido	1,10	0,15
Teflón sobre teflón (o sobre acero)	0,04	0,04

*M. Alonso y E. Finn. *Física Vol. 1 Mecánica*, pág 171 (Edición 1967).

$$\mu_e > \mu_d$$



OBTENCIÓN DEL COEFICIENTE DE ROZAMIENTO ESTÁTICO Y DINÁMICO



Plano Inclinado

2^{da} Ley de Newton: $\sum \vec{F}_{ext} = m\vec{a}$

$$F_r = \mu N \quad (1)$$

$$\begin{cases} \hat{y}: N - P_y = ma_y \\ \hat{x}: P_x - F_r = ma_x \end{cases}$$

$$P_y = mg \cos\alpha, \quad P_x = mg \sin\alpha$$

$$\hat{y}: a_y = 0 \rightarrow N = P_y$$

$$N = mg \cos\alpha \quad (2)$$

$$\hat{x}: F_r = mg \sin\alpha - ma_x$$

$$a_x = 0$$

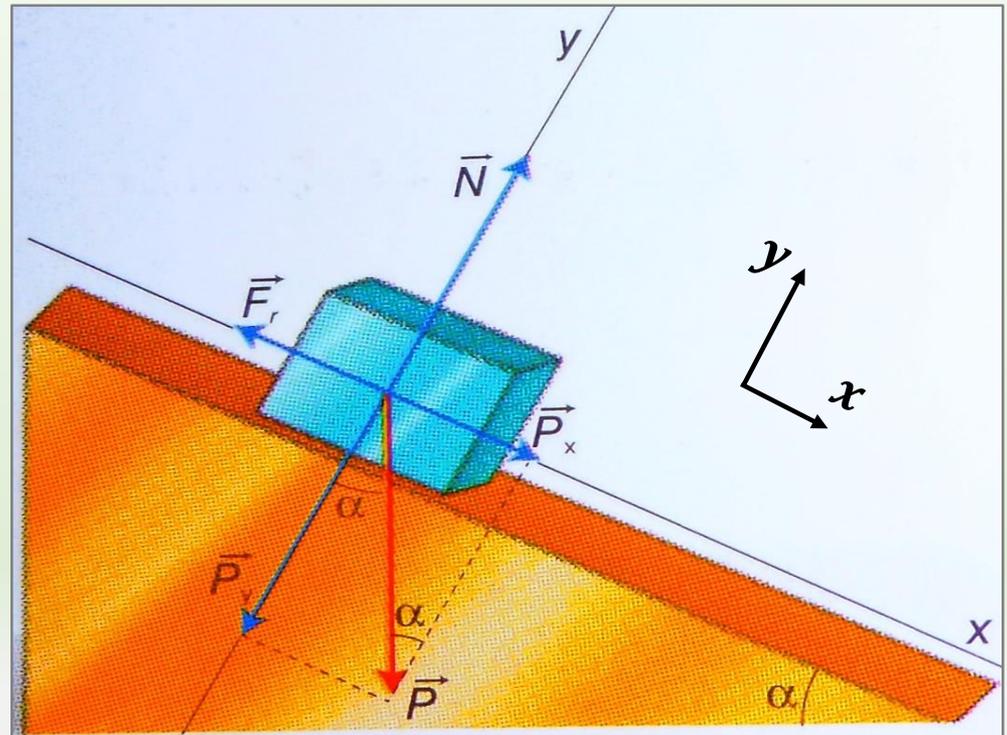


ESTÁTICO

$$a_x \neq 0$$



DINÁMICO



Plano Inclinado

$$\hat{x}: F_r = mg \operatorname{sen} \alpha - ma_x$$

$$F_r = \mu N \quad (1)$$

$$N = mg \operatorname{cos} \alpha \quad (2)$$

$$a_x = 0$$

$$a_x \neq 0$$

ESTÁTICO

$$F_r = mg \operatorname{sen} \alpha$$

$$\mu \cancel{mg} \operatorname{cos} \alpha = \cancel{mg} \operatorname{sen} \alpha$$

$$\mu_e = \frac{\operatorname{sen} \alpha}{\operatorname{cos} \alpha}$$

$$\mu_e = \operatorname{tan} \alpha$$

DINÁMICO

$$F_r = mg \operatorname{sen} \alpha - ma_x$$

$$\mu \cancel{mg} \operatorname{cos} \alpha = \cancel{mg} \operatorname{sen} \alpha - \cancel{ma_x}$$

$$\mu_d = \frac{g \operatorname{sen} \alpha - a_x}{g \operatorname{cos} \alpha}$$

$$\mu_d = \operatorname{tan} \alpha - \frac{a_x}{g \operatorname{cos} \alpha}$$

Usando Eq. (1) y Eq. (2)



OBTENCIÓN DEL COEFICIENTE DE ROZAMIENTO ESTÁTICO

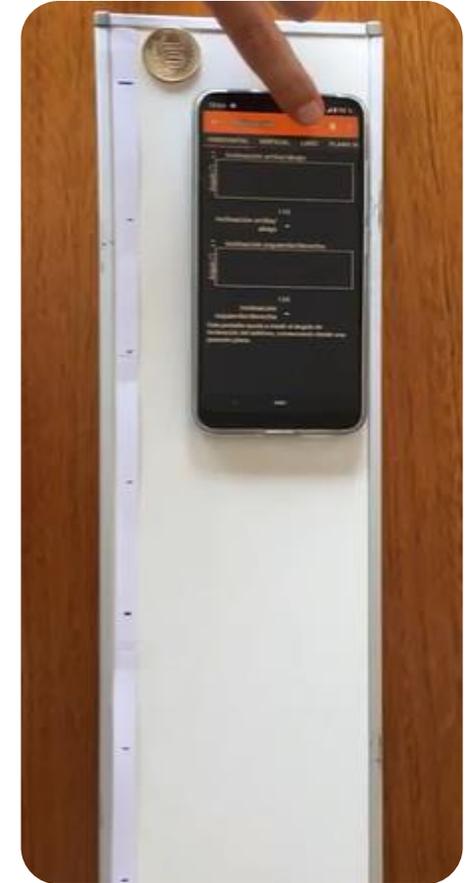
Al menos 2 Sistemas

- ❖ Sistema 1: → Moneda-Superficie original
(la superficie que tiene el plano inclinado)
- ❖ Sistema 2: → Moneda-Hoja A4
- ❖ Sistema 3 (*optativo*): → Moneda-Material
con superficie muy diferente (*lija, film aluminio, ...*)

OBTENCIÓN DEL COEFICIENTE DE ROZAMIENTO ESTÁTICO

MATERIALES

- **Moneda** (elijan la misma todos los integrantes del grupo)
- Tabla, cartón duro, cuaderno tapa dura, etc., para usar como **plano inclinado (con al menos 50 cm de largo)**
- **Hoja A4** y *optativo*: lija, film aluminio, etc. (basta con un trozo de 4x4 cm)
- Programa **Phyphox** en el celular. Si no tiene celular compatible: transportador o regla.





EXPERIMENTO

OBTENCIÓN DEL COEFICIENTE DE ROZAMIENTO ESTÁTICO

$$\boxed{\mu_e = \tan \alpha} \rightarrow \alpha = \bar{\alpha} \pm \Delta\alpha \rightarrow \boxed{\alpha = \alpha_f - \alpha_i}$$

- Obtener el ángulo del plano sin inclinar (α_i)
- Inclinar el plano hasta que la moneda comience a moverse.
- Determinar el ángulo justo antes del momento en que la moneda comenzó a moverse (α_f)
- Determinar α utilizando α_i y α_f
- Calcular μ_e a partir de α

¿Cómo determinamos el valor de α_i ?

$$\mu_e = \tan \alpha$$

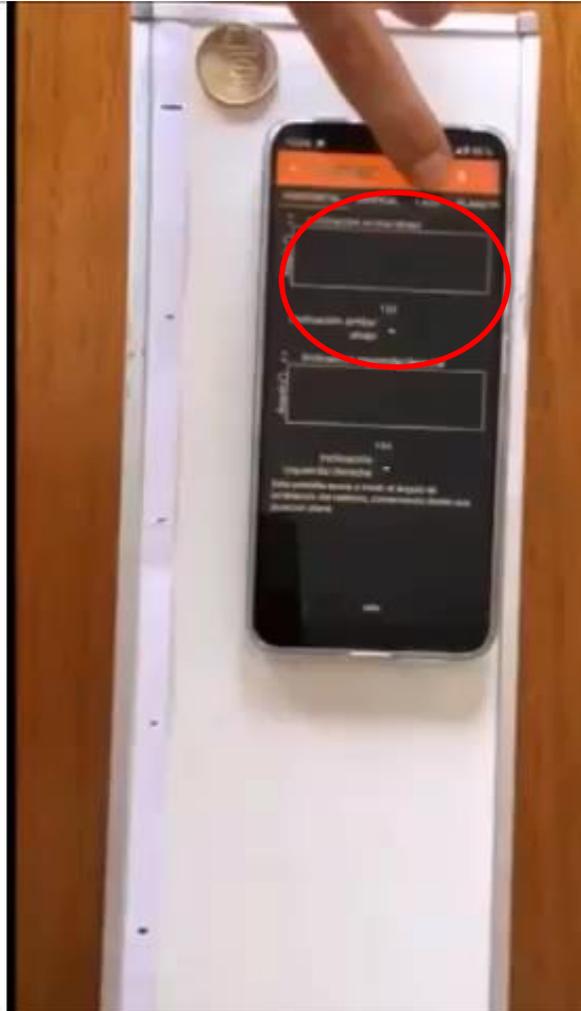


$$\alpha = \alpha_f - \alpha_i$$



α_i (plano sin inclinar)

$$\alpha_i = \bar{\alpha}_i \pm \Delta\alpha_i$$



Tomar alrededor de 100 datos para realizar un análisis estadístico

Calcular $\bar{\alpha}_i$ y su **incerteza absoluta**

¿Cómo determinamos el valor de α_i ?

$$\mu_e = \tan \alpha$$

$$\alpha = \alpha_f - \alpha_i$$

α_i (plano sin inclinar)

$$\alpha_i = \bar{\alpha}_i \pm \Delta\alpha_i$$



EXPERIMENTO

¿Cómo determinamos el valor de α_f ?

$$\mu_e = \tan \alpha$$



$$\alpha = \alpha_f - \alpha_i$$



α_f (plano inclinado)

$$\alpha_f = \bar{\alpha}_f \pm \Delta\alpha_f$$



¿Qué sucede si
repite el
experimento?

EXPERIMENTO

α_f (plano inclinado)

$$\alpha_f = \bar{\alpha}_f \pm \Delta\alpha_f$$

$$\alpha_{f1}, \alpha_{f2}, \dots, \alpha_{f10} \rightarrow \text{¿ } \Delta\alpha_1 = \Delta\alpha_2 = \dots = \Delta\alpha_{10}?$$

10 Veces

$$\bar{\alpha}_f = \frac{1}{10} \sum_{j=1}^{10} \alpha_j \quad \text{¿ } \Delta\alpha_f?$$

Coefficiente de rozamiento estático

$$\Rightarrow \mu_e = \tan\alpha \rightarrow \alpha = \bar{\alpha} \pm \Delta\alpha$$

$$\mu_e = \bar{\mu}_e \pm \Delta\mu_e$$

Ayuda

$$\frac{\partial \tan\alpha}{\partial \alpha} \downarrow = \frac{1}{\cos^2\alpha}$$

$$\bar{\mu}_e = \tan\bar{\alpha}$$

$$\Delta\mu_e = \sqrt{\left(\frac{\partial \mu_e}{\partial \alpha}\right)^2 \Delta\alpha^2}$$