



Universidad de Buenos Aires - Exactas
departamento de física

Laboratorio 1

1er Cuatrimestre 2023

**Dinámica: Fuerza de Rozamiento
Coeficientes de Rozamiento**

Lucía Famá, Germán Patterson,

Lucia Novacovsky,

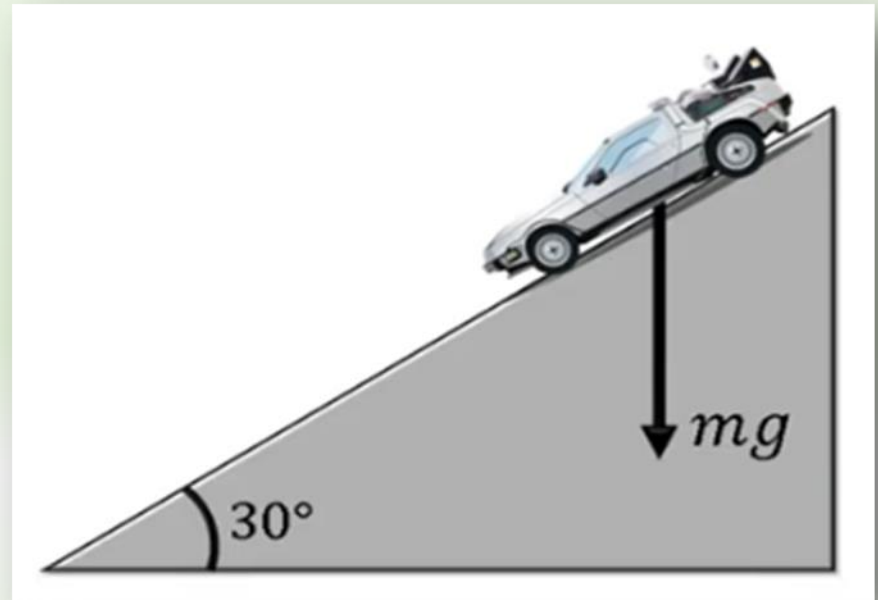
Luciana Martínez, Anael Zurdo

Objetivos de la clase de hoy

Determinar el **coeficiente de rozamiento** que existe **entre dos superficies** en un experimento de **un objeto deslizando sobre un plano inclinado**

Utilizaremos un **nuevo instrumento de medición!!!**

Seguir **PENSANDO** en forma experimental



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).

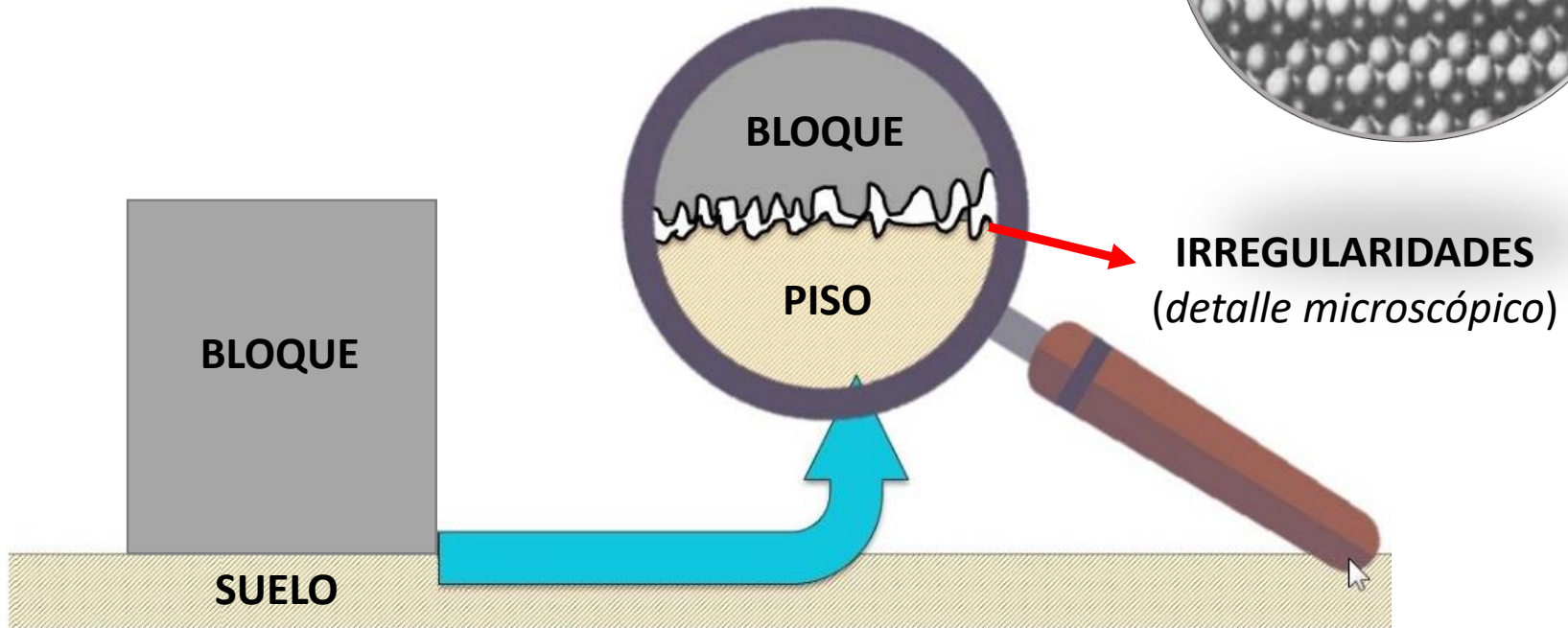
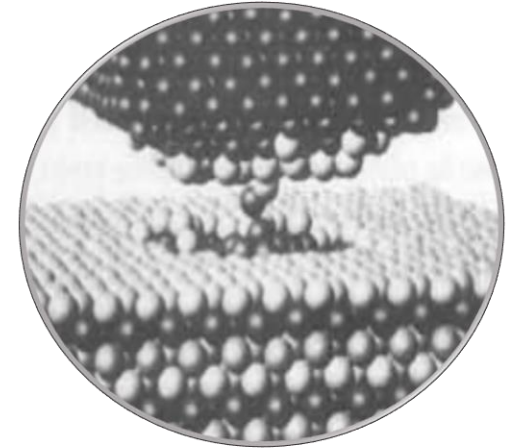
Principios de la fricción o rozamiento, a partir de una fuerza asociada a la resistencia de dos superficies en contacto.



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



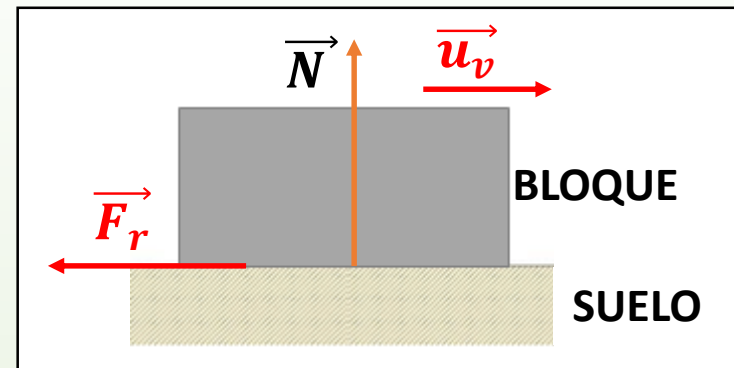
-M. Alonso y E. Finn (1971). *Física Vol. 1 Mecánica*.

-R. Feynman (1972). *Física Vol. 1 Mecánica, radiación y calor*.

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

u_v → Vector unitario en la dirección y sentido del vector velocidad

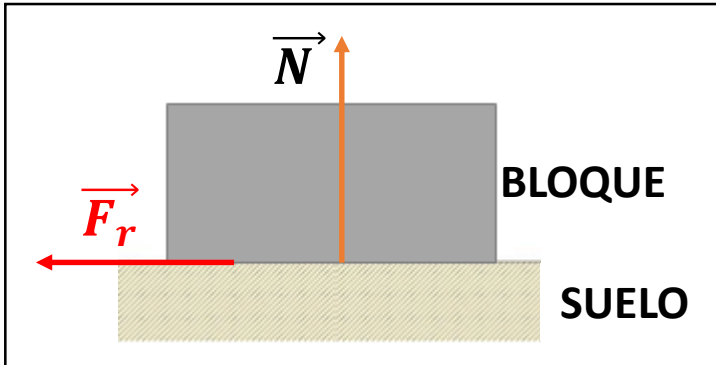
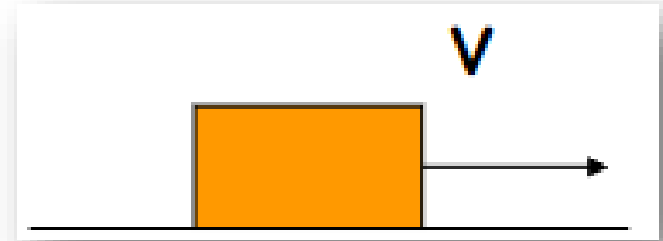
N → Módulo de la fuerza normal

**Módulo de la Fuerza
de rozamiento**

$$F_r = \mu N$$

Fuerza de rozamiento por deslizamiento

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



μ → Coeficiente de rozamiento
 N → Módulo de la fuerza normal

Módulo de la Fuerza de rozamiento

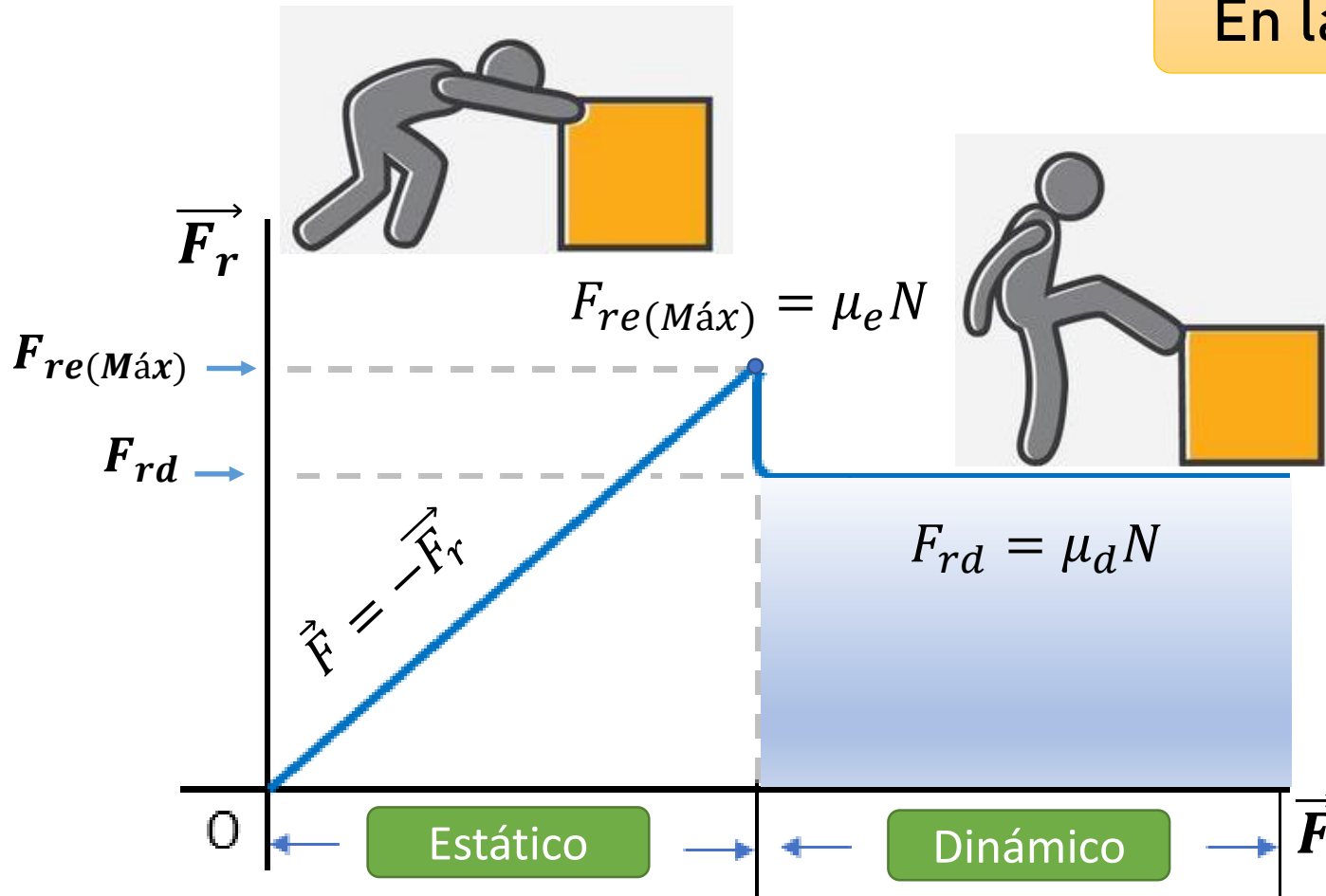
$$F_r = \mu N$$

¿Cómo es la expresión de μ ?

Fuerza de rozamiento

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

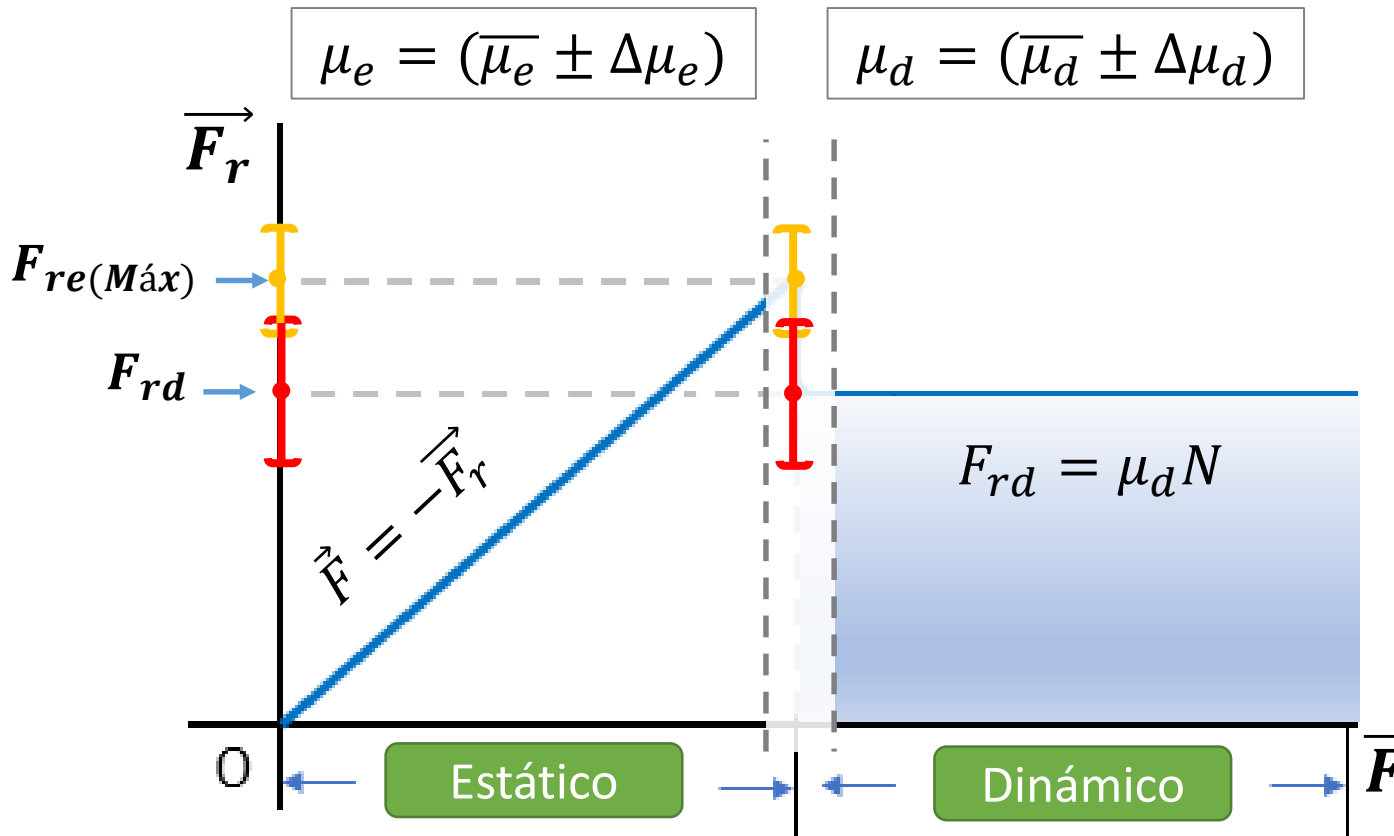
En la Teoría!!



Fuerza de rozamiento

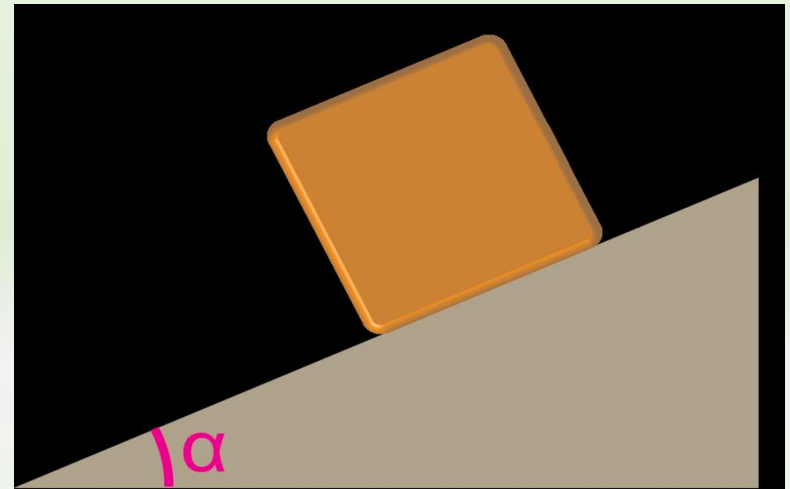
A partir de las características de F_r en el caso estático y dinámico, es posible inferir que:

En el Labo!!



DETERMINAR EL **COEFICIENTE DE ROZAMIENTO ENTRE DOS SUPERFICIES** EN UN EXPERIMENTO DE UN OBJETO DESLAZÁNDOSE **EN UN PLANO INCLINADO**

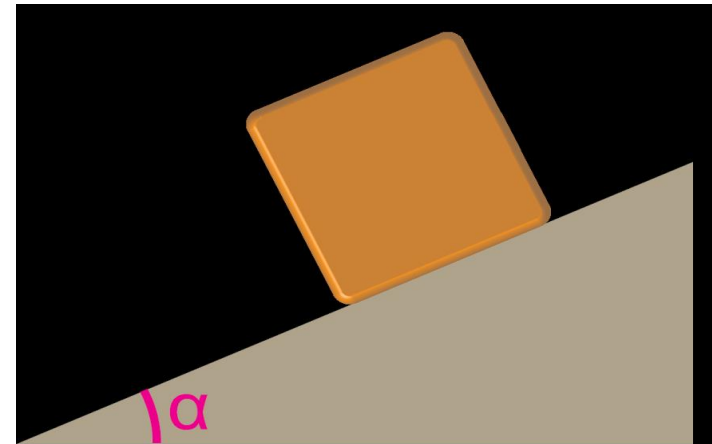
- A) COEFICIENTE DE ROZAMIENTO ESTÁTICO (μ_e)
- B) COEFICIENTE DE ROZAMIENTO DINÁMICO (μ_d)



DETERMINAR EL **COEFICIENTE DE ROZAMIENTO ENTRE DOS SUPERFICIES** EN UN EXPERIMENTO DE UN OBJETO DESLAZÁNDOSE **EN UN PLANO INCLINADO**

¿Cómo puedo idear una estrategia?

- 1- Física básica: **BUSCO Leyes Físicas** que contengan μ y se adapten al experimento
- 2- Equipamiento/Instrumental: **BUSCO** qué **Ley Física** podría reproducir en el **Laboratorio**
- 3- Método: **BUSCO** el **método** para llevar a cabo el **experimento**



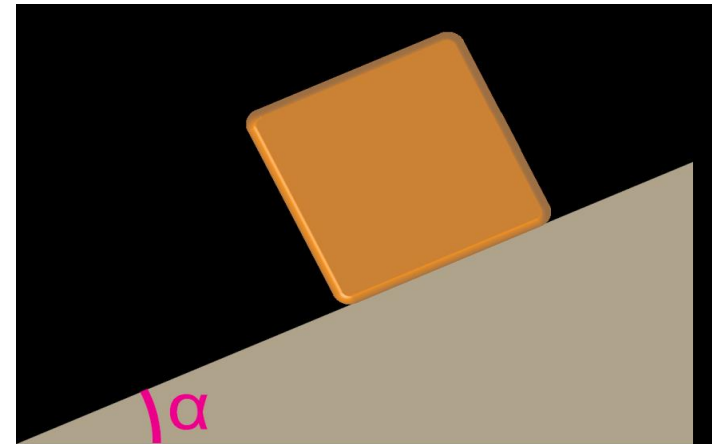
DETERMINAR EL **COEFICIENTE DE ROZAMIENTO ENTRE DOS SUPERFICIES** EN UN EXPERIMENTO DE UN OBJETO DESLAZÁNDOSE **EN UN PLANO INCLINADO**

¿Cómo puedo idear una estrategia?

1- Física básica: **BUSCO Leyes Físicas** que contengan μ y se adapten al experimento

¿Dónde encuentro μ_e y μ_d ?

Repasemos la
2º Ley de Newton!!



Repasemos la 2ª Ley de Newton!!

2ª Ley de Newton: $\sum \vec{F} = m\vec{a}$

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

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

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

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

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

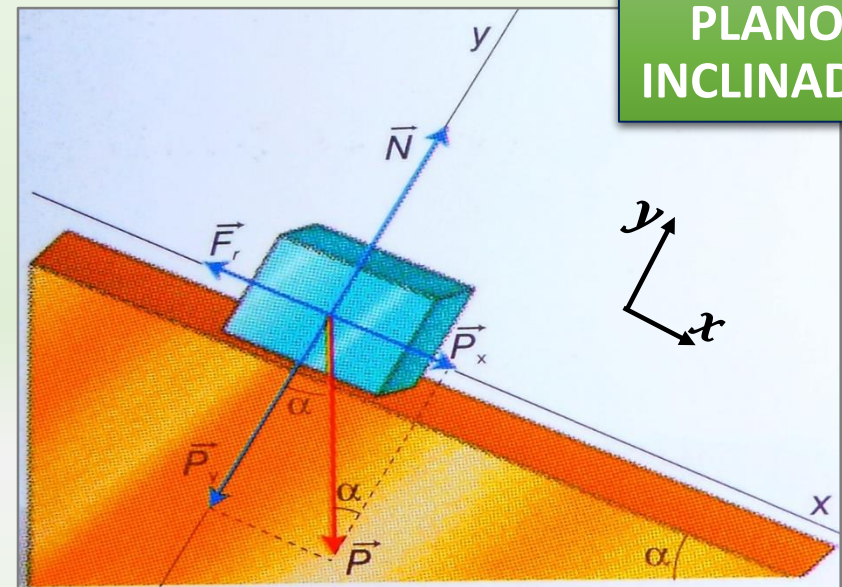
$$\hat{x}: F_r = mg \sin\alpha - ma_x$$

$$a_x = 0$$

$$a_x \neq 0$$

ESTÁTICO

DINÁMICO



1- Caso Estático

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

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

$$F_r = mg \operatorname{sen}\alpha - ma_x \quad (3)$$

$$a_x = 0$$

ESTÁTICO



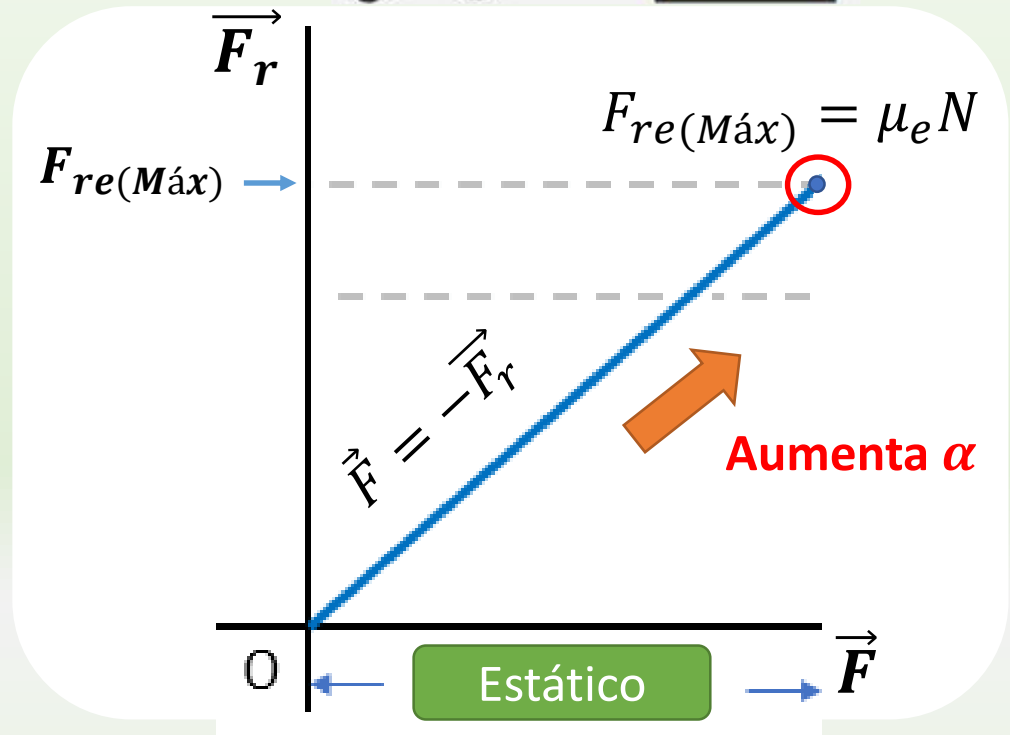
$$F_r = mg \operatorname{sen}\alpha$$

$$\mu N = mg \operatorname{sen}\alpha$$

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

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

$$\mu_e = \tan\alpha$$



2- Caso Dinámico

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

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

$$F_r = mg \operatorname{sen}\alpha - ma_x \quad (3)$$

$$a_x \neq 0$$

DINÁMICO



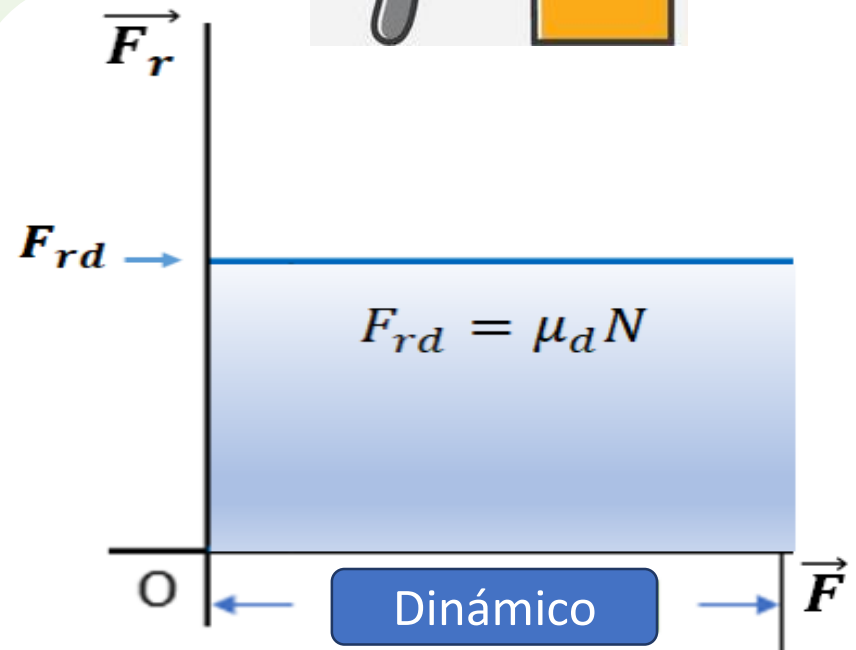
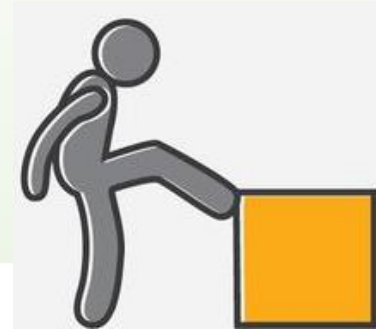
$$F_r = mg \operatorname{sen}\alpha - ma_x$$

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

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

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

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



DETERMINAR EL **COEFICIENTE DE ROZAMIENTO ENTRE DOS SUPERFICIES** EN UN EXPERIMENTO DE UN OBJETO DESLAZÁNDOSE **EN UN PLANO INCLINADO**

A) COEFICIENTE DE ROZAMIENTO ESTÁTICO (μ_e)

$$\mu_e = \tan \alpha_1 \rightarrow \alpha_1: \text{Ángulo máximo antes de deslizar}$$

¿Cómo determinaremos α ?

2- Equipamiento/Instrumental: **BUSCO** qué Ley Física podría reproducir en el Laboratorio

3- Método: **BUSCO** el método para llevar a cabo el experimento

DETERMINAR EL **COEFICIENTE DE ROZAMIENTO ENTRE DOS SUPERFICIES** EN UN EXPERIMENTO DE UN OBJETO DESLAZÁNDOSE **EN UN PLANO INCLINADO**

A) COEFICIENTE DE ROZAMIENTO ESTÁTICO (μ_e)

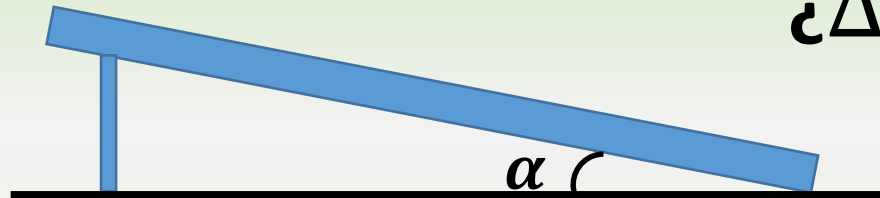
$\mu_e = \tan\alpha_1$ → α_1 : Ángulo máximo antes de deslizar

¿Cómo determinaremos α ?

¿ $\Delta\alpha$?

¿ $\Delta\mu_e$?

α : Trigonometría



DETERMINAR EL **COEFICIENTE DE ROZAMIENTO ENTRE DOS SUPERFICIES** EN UN EXPERIMENTO DE UN OBJETO DESLAZÁNDOSE **EN UN PLANO INCLINADO**

A) COEFICIENTE DE ROZAMIENTO ESTÁTICO (μ_e)

$$\mu_e = \tan \alpha_1 \rightarrow \alpha_1: \text{Ángulo máximo antes de deslizar}$$

- Realice 5 veces el experimento y compare los resultados de α_1
¿Presentan diferencias significativas?
- Repita el experimento hasta tener **20 valores y reporte α_1 en grados**

$\Delta \alpha_1$?

USAR 3 SISTEMAS:

- METAL-PAÑO
- METAL-PAÑO CON MASA
- METAL-GOMA

DETERMINAR EL **COEFICIENTE DE ROZAMIENTO ENTRE DOS SUPERFICIES** EN UN EXPERIMENTO DE UN OBJETO DESLAZÁNDOSE **EN UN PLANO INCLINADO**

A) COEFICIENTE DE ROZAMIENTO ESTÁTICO (μ_e)

$$\mu_e = \tan \alpha_1 \rightarrow \alpha_1: \text{Ángulo máximo antes de deslizar}$$

- Obtenga μ_e de cada sistema utilizando el valor de α_1 en cada caso

$\Delta \mu_e$?

Para el cálculo de μ_e y $\Delta \mu_e$ usar $\bar{\alpha}$ y $\Delta \alpha$ en **RADIANES!!**

DETERMINAR EL **COEFICIENTE DE ROZAMIENTO ENTRE DOS SUPERFICIES** EN UN EXPERIMENTO DE UN OBJETO DESLAZÁNDOSE **EN UN PLANO INCLINADO**

B) COEFICIENTE DE ROZAMIENTO DINÁMICO (μ_d)

$$\mu_d = \tan\alpha_2 - \frac{a_x}{g \cos\alpha_2}$$

a_x : Aceleración del objeto

α_2 : Ángulo donde desliza

g tabulado

¿Cómo determinaremos a_x ?

2- Equipamiento/Instrumental

3- Método

DETERMINAR EL **COEFICIENTE DE ROZAMIENTO ENTRE DOS SUPERFICIES** EN UN EXPERIMENTO DE UN OBJETO DESLAZÁNDOSE **EN UN PLANO INCLINADO**

B) COEFICIENTE DE ROZAMIENTO DINÁMICO (μ_d)

$$\mu_d = \tan\alpha_2 - \frac{a_x}{g \cos\alpha_2}$$

a_x : Aceleración del objeto

α_2 : Ángulo donde desliza

g tabulado

¿Cómo determinaremos a_x ?

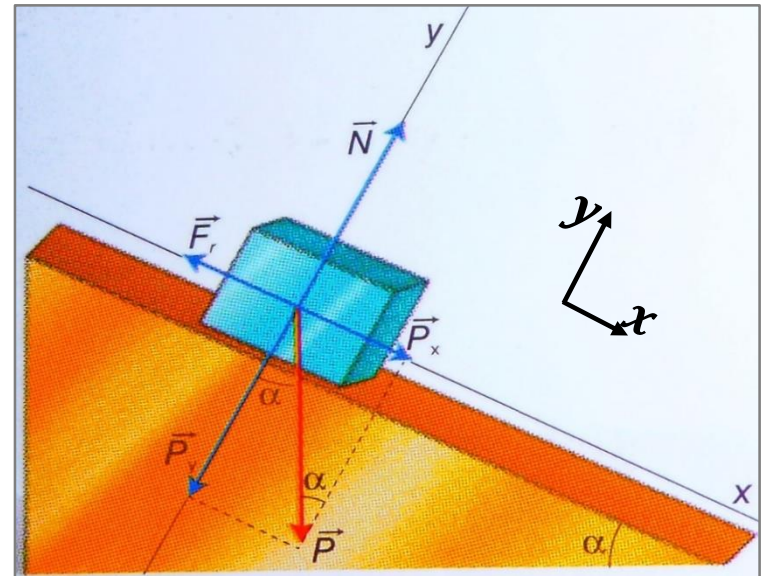
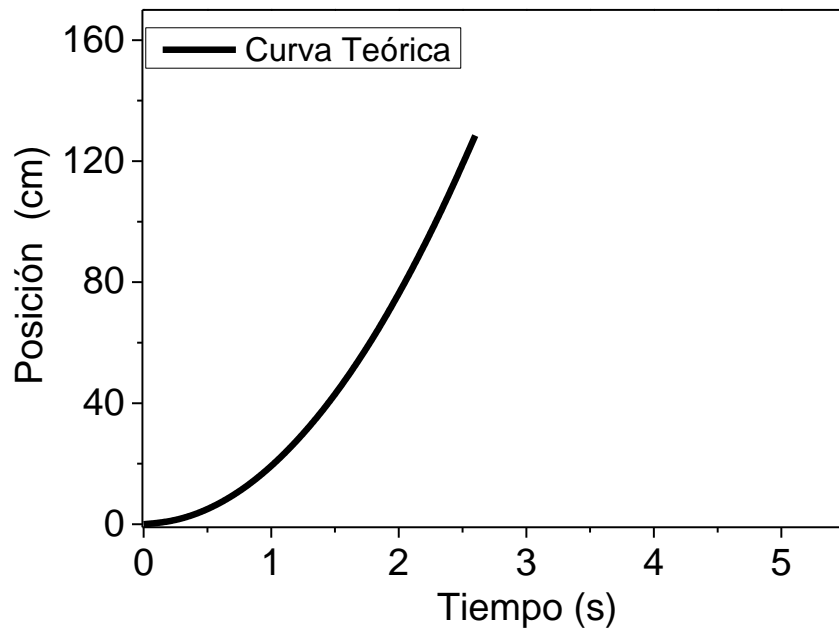
a : Sensor de movimiento

!!! Luciana !!!



¿Qué movimiento realiza el objeto?

↳ $x(t) \quad x(t) = x_0 + v_0(t - t_0) + \frac{1}{2} a_x(t - t_0)^2$

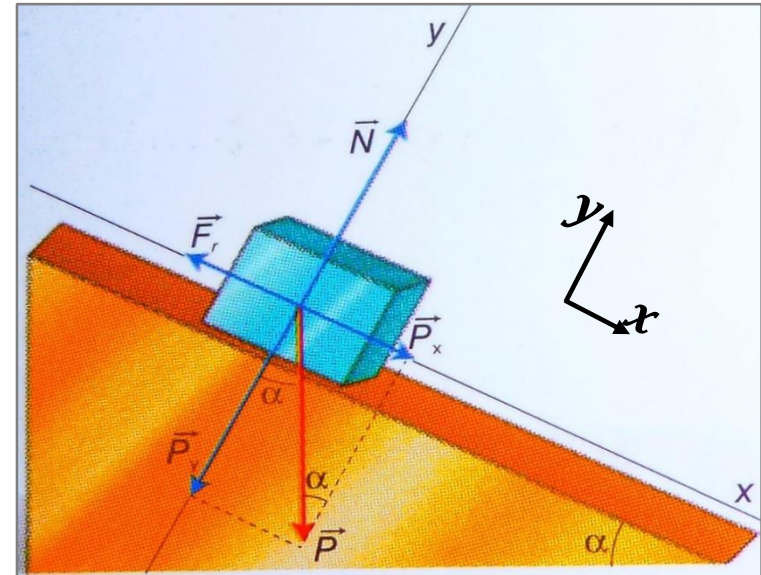
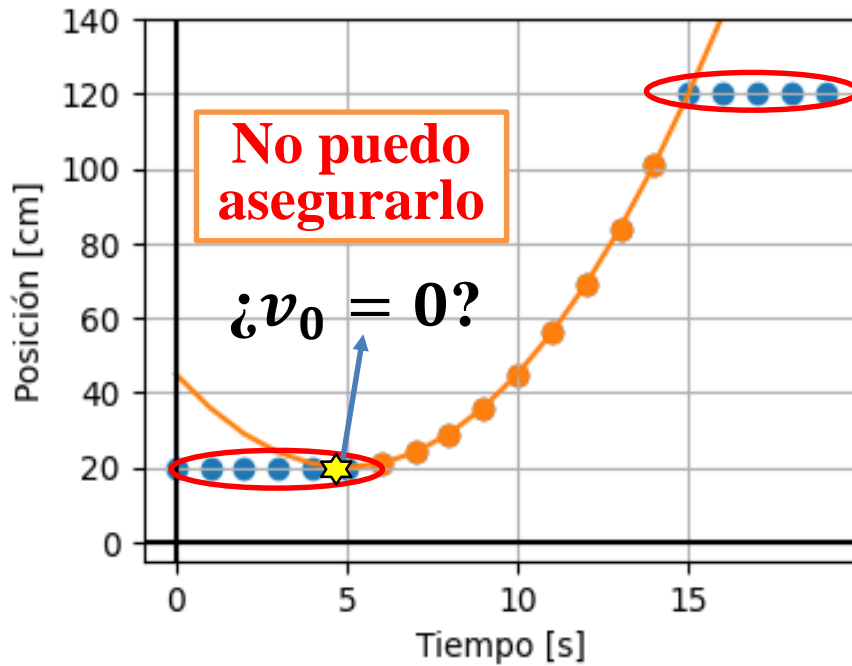


a : Sensor de movimiento



¿Qué movimiento realiza el objeto?

↳ $x(t)$ $x(t) = x_0 + v_0(t - t_0) + \frac{1}{2} a_x(t - t_0)^2$



AJUSTE NO LINEAL

EXPERIMENTO

B) COEFICIENTE DE ROZAMIENTO DINÁMICO (μ_d)

$$\mu_d = \tan\alpha_2 - \frac{a_x}{g\cos\alpha_2}$$

Para el cálculo de μ_d y $\Delta\mu_d$ usar $\bar{\alpha}$ y $\Delta\alpha$ en RADIANES!!

USAR 1 SISTEMA: METAL-PAÑO

- Para un ángulo fijo α_2 (calcule su valor), obtenga a_x usando el sensor de posición y el tracker. Grafique las curvas de $x(t)$ superpuestas, con sus incertezas.
- Calcule μ_d ¿Presentan diferencias significativas los dos resultados? ¿Qué instrumento le resultó más confiable? ¿Por qué?

Ayuda

Coeficiente de rozamiento estático

$$\mu_e = \tan \alpha$$

$$\text{Remplazando } \alpha \rightarrow \alpha = \bar{\alpha} \pm \Delta\alpha$$

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

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

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

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

Usar RADIANES para el cálculo de μ_e y $\Delta\mu_e$!!