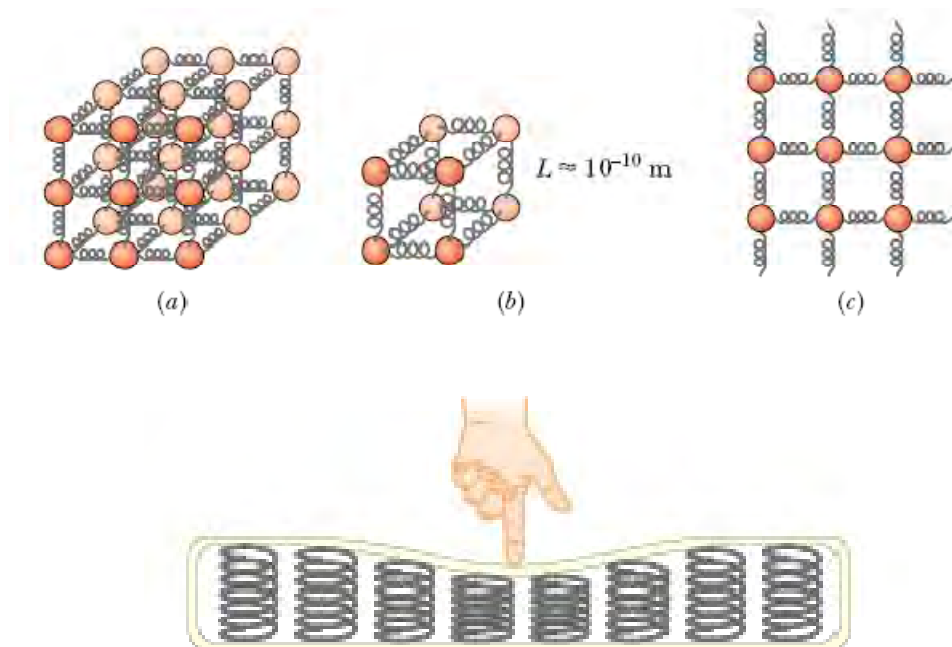
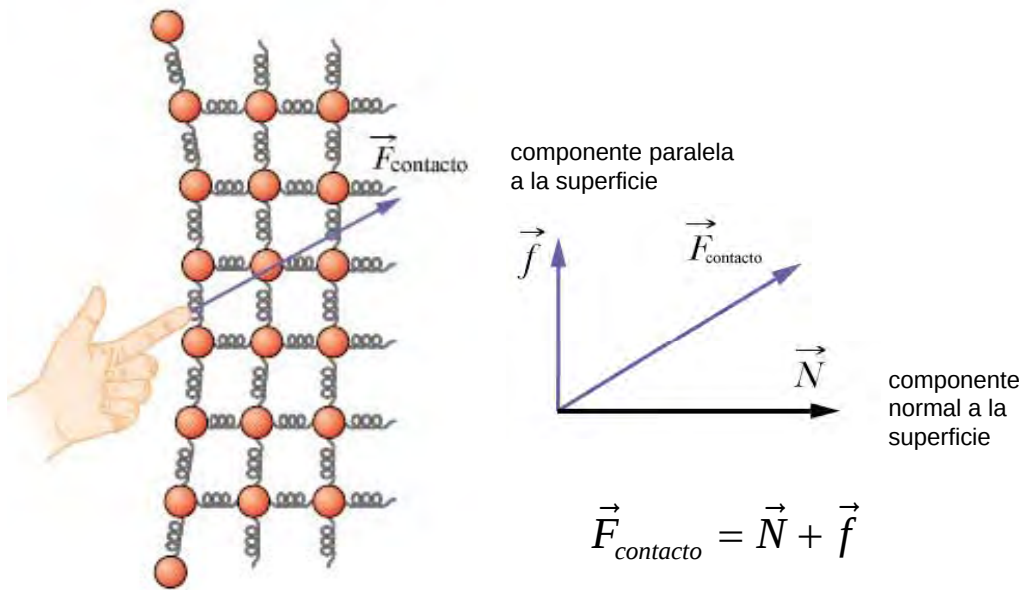


Fuerzas de contacto

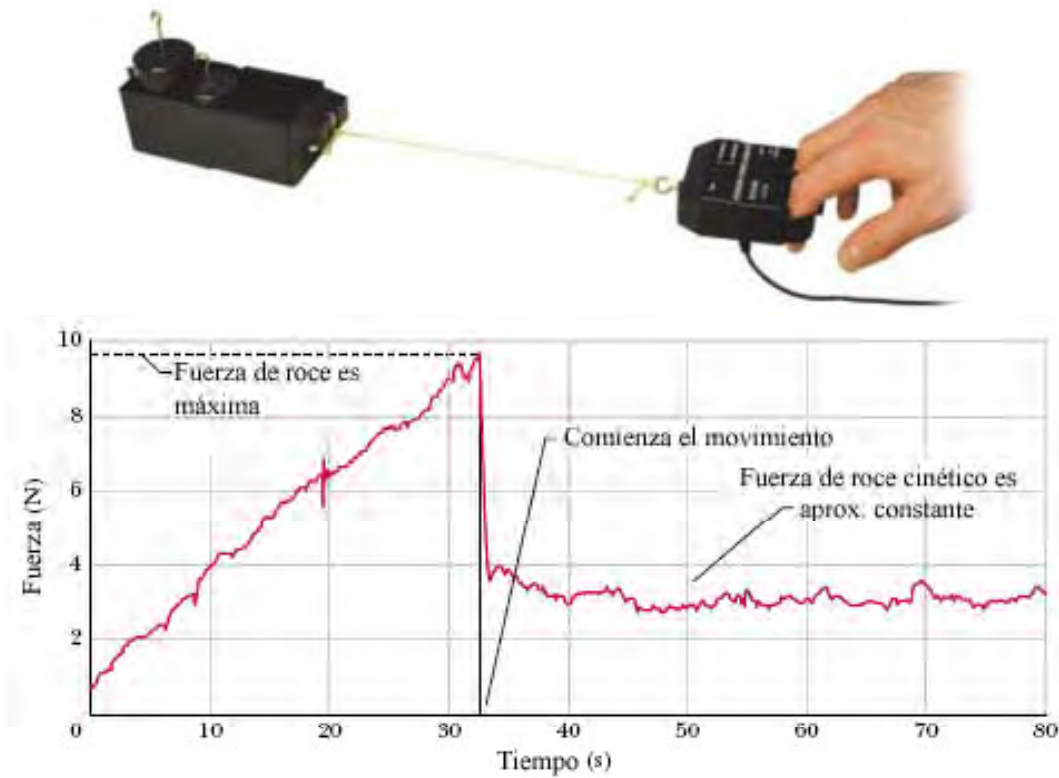
Modelo simple para los sólidos = esferas (átomos) unidas por resortes que representan los enlaces atómicos



Por la Tercera Ley de Newton, al aplicar una fuerza sobre un sólido éste ejerce una fuerza de la misma magnitud en dirección opuesta.



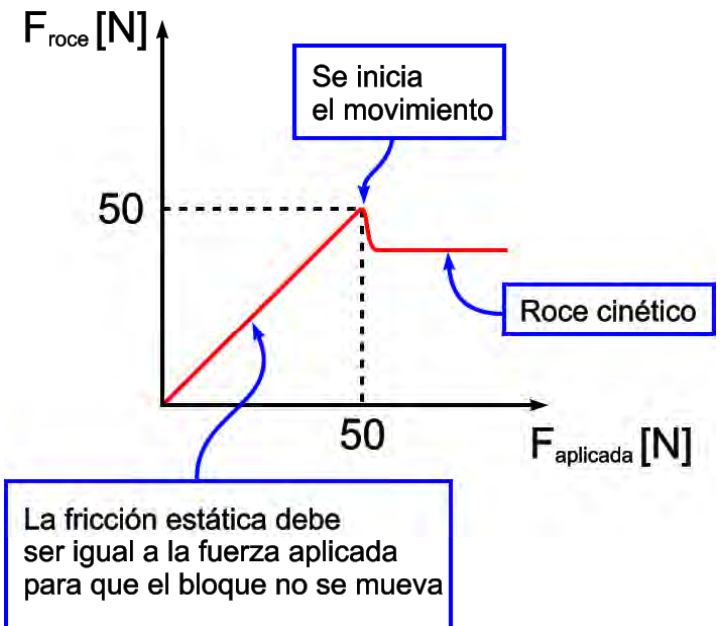
Fuerza de roce



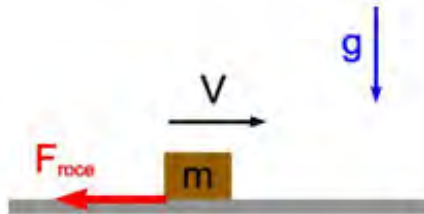
FUERZAS DE ROCE

EVIDENCIA EXPERIMENTAL

- (1) LA FUERZA DE ROCE ES INDEPENDIENTE DEL TAMAÑO DE LAS SUPERFICIES EN CONTACTO.
- (2) LA FUERZA DE ROCE ES PROPORCIONAL A LA FUERZA NORMAL (PERPENDICULAR) A LAS SUPERFICIES EN CONTACTO.
- (3) LA FUERZA REQUERIDA PARA MOVER UN OBJETO EN REPOSO ES GENERALMENTE MAYOR QUE LA FUERZA NECESARIA PARA MANTENERLO EN MOVIMIENTO CON VELOCIDAD CONSTANTE.



ROCE CINEMÁTICO O DINÁMICO



$$F_{roce} = \mu_k N$$

LEY EMPÍRICA QUE
RELACIONA EL MÓDULO
DE LA FUERZA DE ROCE
CON EL VALOR DE LA
NORMAL

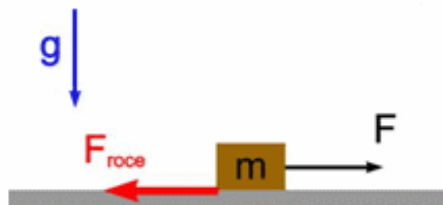
μ_k = COEFICIENTE DE ROCE CINEMÁTICO

μ_k DEPENDE DEL TIPO DE SUPERFICIES
EN CONTACTO PERO NO DEPENDE
DEL ÁREA DE CONTACTO

$\vec{F}_{roce}$ ES PARALELA A LA SUPERFICIE
DE CONTACTO Y APUNTA EN LA
DIRECCIÓN OPUESTA AL MOVIMIENTO
RELATIVO DE LOS CUERPOS

μ_k ES INDEPENDIENTE DE LA VELOCIDAD
RELATIVA DE LAS SUPERFICIES

ROCE ESTÁTICO



SE APLICA UNA FUERZA F
PARALELA A LA SUPERFICIE
DE CONTACTO TAL QUE
EL BLOQUE PERMANECE
INMÓVIL

$$F_{roce} \leq \mu_s N$$

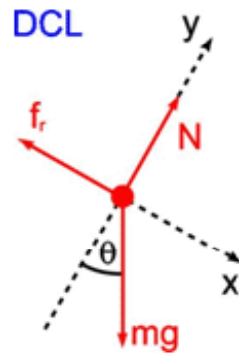
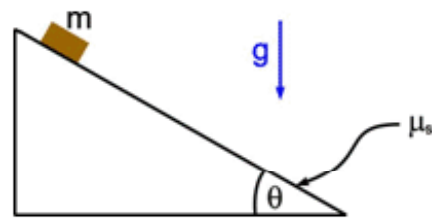
μ_s = COEFICIENTE DE ROCE ESTÁTICO

$$F_{roce \text{ estático}}^{\text{máxima}} = \mu_s N$$

$\Rightarrow$ EL BLOQUE COMIENZA A MOVERSE

¿CÓMO MEDIR μ_s Y μ_k ?

CASO ESTÁTICO μ_s



Eje x : $mg \sin \theta - f_r = 0$

Eje y : $N - mg \cos \theta = 0$

$\Rightarrow f_r = mg \sin \theta$

$N = mg \cos \theta \Rightarrow mg = \frac{N}{\cos \theta}$

POR LO TANTO $f_r = N \tan \theta$

EXISTE UN VALOR CRÍTICO DEL ÁNGULO θ
PARA EL CUAL EL BLOQUE COMIENZA
A DESLIZAR, PARA DICHO VALOR SE
TIENE

$$f_r = \mu_s N = \tan \theta_c N$$

$$\mu_s = \tan \theta_c$$

CASO DINÁMICO μ_k

EXISTE UN ÁNGULO θ_D TAL QUE EL BLOQUE
SE MUEVE CON VELOCIDAD CONSTANTE

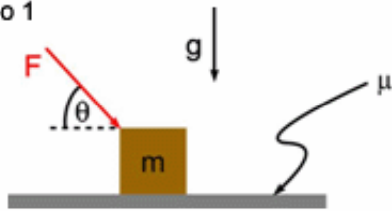
$$\Rightarrow f_r = \mu_k N = \tan \theta_D N$$

$$\mu_k = \tan \theta_D$$

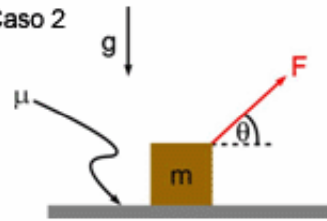
EN GENERAL, $\theta_D < \theta_c \Rightarrow \mu_s > \mu_k$

EJEMPLO

Caso 1



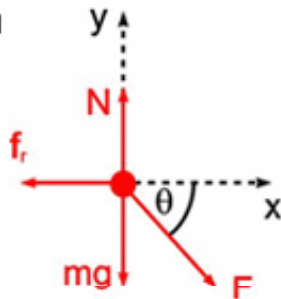
Caso 2



¿QUÉ ES MEJOR: EMPUJAR O TIRAR EL BLOQUE?

SOL:

Caso 1

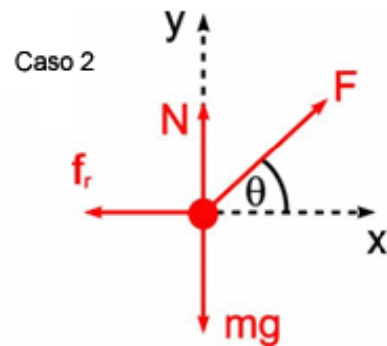


Eje y:

$$N - mg - F \sin \theta = 0$$

$$N = mg + F \sin \theta$$

$$\Rightarrow f_r = \mu N = \mu (mg + F \sin \theta)$$



Eje y :

$$N - mg + F \sin \theta = 0$$

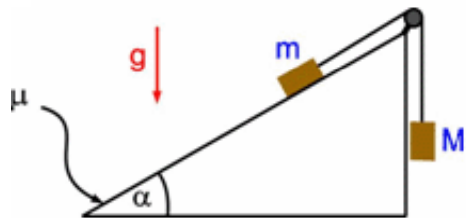
$$N = mg - F \sin \theta$$

$$\Rightarrow f_r = \mu N = \mu (mg - F \sin \theta)$$

LA FUERZA DE ROCE EN EL CASO 2 ES
MENOR QUE EN EL CASO 1

∴ ES MEJOR TIRAR EL BLOQUE

PROBLEMA

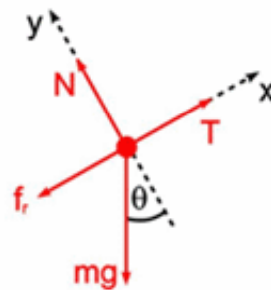
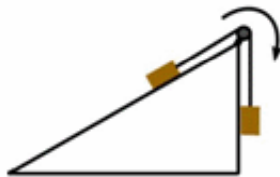


i) $a = ?$

ii) VALOR MÍNIMO Y MÁXIMO
DE M PARA QUE EL
SISTEMA ESTE QUIETO

SOL

CASO 1



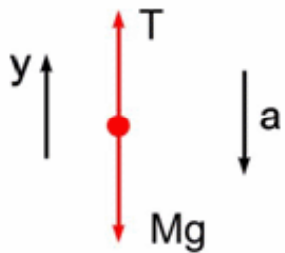
Eje x : $T - f_r - mg \sin \theta = ma$

Eje y : $N - mg \cos \theta = 0 \Rightarrow N = mg \cos \theta$

ENTONCES

$$T - \mu mg \cos \theta - mg \sin \theta = ma$$

POR OTRO LADO



$$T - Mg = -Ma$$

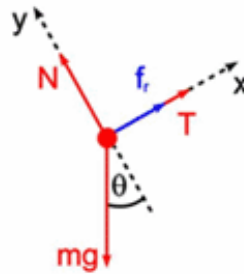
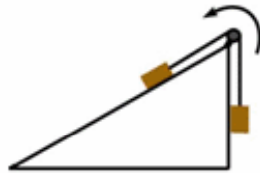
$$\Rightarrow T = M(g - a)$$

ENTONCES

$$M(g - a) - \mu mg \cos \theta - mg \sin \theta = ma$$

$$a = \frac{Mg - mg(\mu \cos \theta + \sin \theta)}{m + M}$$

CASO 2



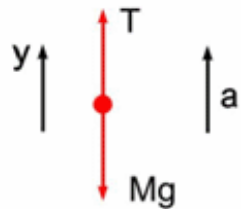
$$\text{Eje } x : \quad T + f_r - mg \sen \theta = -ma$$

$$\text{Eje } y : \quad N - mg \cos \theta = 0$$

ENTONCES

$$T + \mu mg \cos \theta - mg \sen \theta = -ma$$

PARA LA MASA M



$$T - Mg = Ma$$

$$\Rightarrow T = M(g+a)$$

ENTONCES

$$M(g+a) + \mu mg \cos \theta - mg \sin \theta = -ma$$

$$a = \frac{mg(\sin \theta - \mu \cos \theta) - Mg}{m+M}$$

ii)

VALOR MÍNIMO DE m : EN ESTE CASO $\mu = \mu_s$
Y LA MASA m ESTÁ A PUNTO DE MOVERSE
HACIA ARRIBA $\Rightarrow a = 0$ EN EL CASO I

ENTONCES

$$a = 0 = \cancel{Mg} - \cancel{mg}(\mu_s \cos \theta + \sin \theta)$$

$$m = \frac{M}{\mu_s \cos \theta + \sin \theta}$$

VALOR
MÍNIMO

VALOR MÁXIMO DE m :

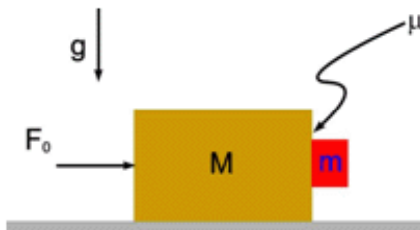
LA MASA m ESTÁ A PUNTO DE MOVERSE
HACIA ABAJO $\Rightarrow a = 0$ EN EL CASO 2

$$0 = m g (\sin \theta - \mu_s \cos \theta) - M g$$

$$m = \frac{M}{\sin \theta - \mu_s \cos \theta}$$

VALOR
MÁXIMO

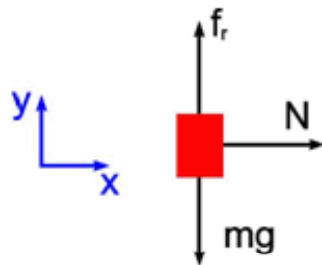
PROBLEMA



CALCULA F_0 MÍNIMO PARA
QUE m NO RESBALE

SOL.

DCL m

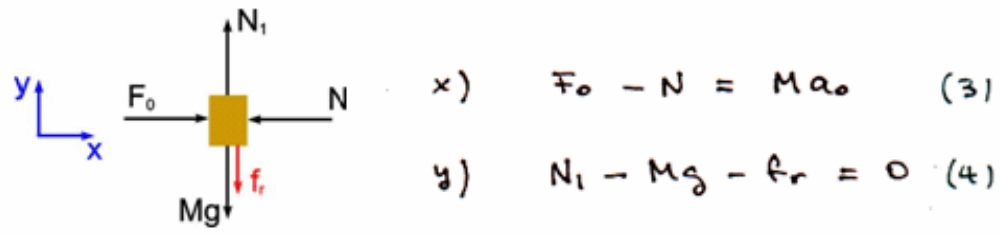


$$x) \quad N = m a_0 \quad (1)$$

$$y) \quad f_r - mg = 0 \quad (2)$$

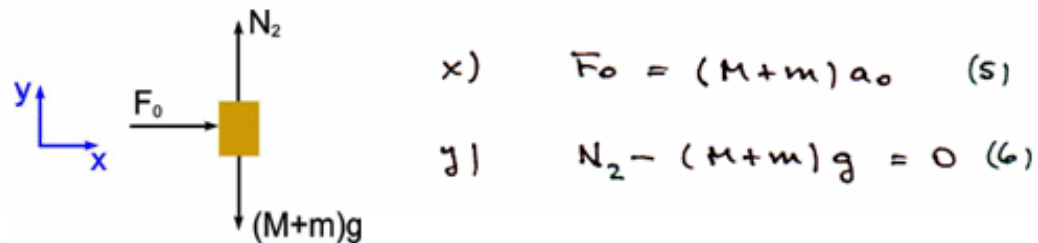
↑
EL BLOQUE
NO ESTÁ
RESBALANDO

DCL M



CÓMO M NO RESBALA PODEMOS HACER UN DCL DEL CUERPO (M+m) PORQUE AMBOS BLOQUES TIENEN LA MISMA ACELERACIÓN

DCL m+M



ROCE ESTÁTICO $\Rightarrow f_r \leq \mu_s N$

CASO CRÍTICO : $f_r = \mu_s N$

ENTONCES, DE (5) $a_o = \frac{\overline{F}_o}{M+m}$

REEMPLAZANDO EN (3)

$$\overline{F}_o - N = \frac{M}{m+M} \overline{F}_o$$

$$N = \frac{M}{m+M} \cdot \overline{F}_o$$

DE (2) SE TIENE

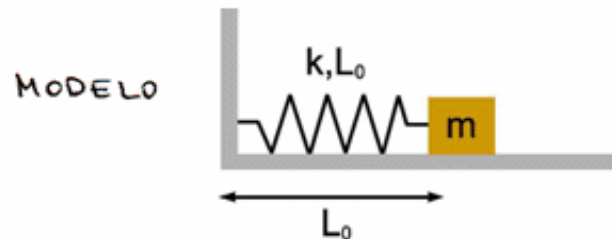
$$f_r = mg = \mu_s N$$

ENTONCES

$$mg = \frac{m}{m+M} \mu_s \overline{F}_o$$

$$\boxed{\overline{F}_o = \frac{(m+M)g}{\mu_s}} \quad \text{VALOR MÍNIMO}$$

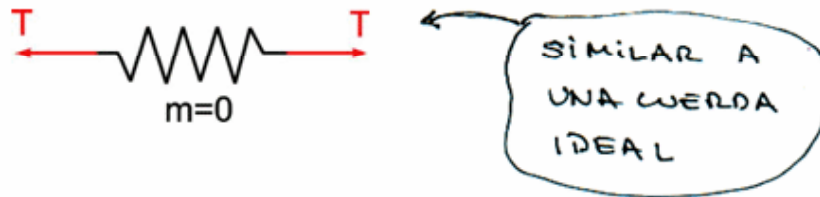
RESORTES



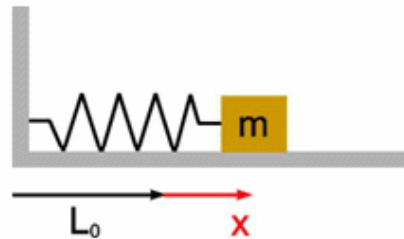
DEBE ESTAR CONECTADO A UNA MASA
PARA QUE LA 2ª LEY DE NEWTON NO
SEA TRIVIAL

SI COMPRIMIMOS UN RESORTE AL SOLTARLO
SE ESTIRA Y, AL REVÉS, SI LO ESTIRAMOS
AL SOLTARLO SE CONTRAE PARA VOLVER
A SU LARGO NATURAL L_0

RESORTE IDEAL $\Rightarrow$ MASA NULA

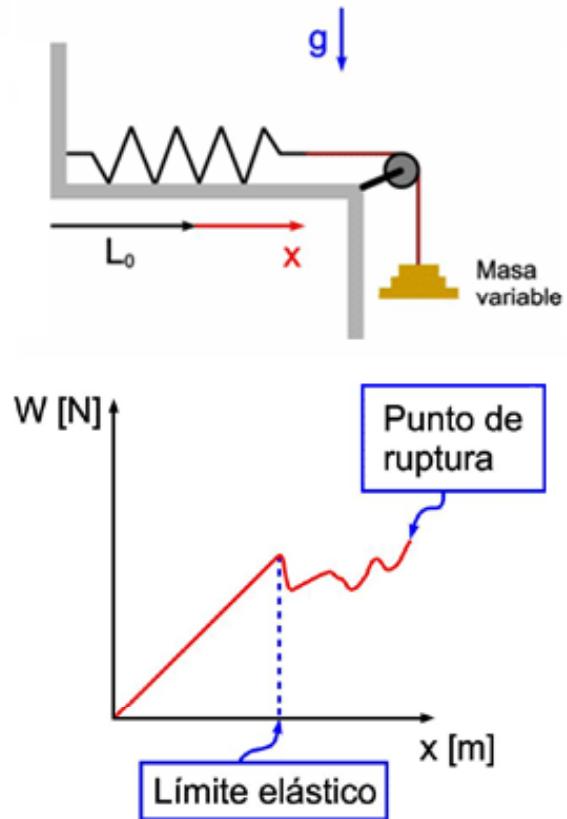


SISTEMA DE REFERENCIA



CONVIENE UBICAR EL ORIGEN DE
COORDENADAS EN EL PUNTO DE
EQUILIBRIO DEL RESORTE

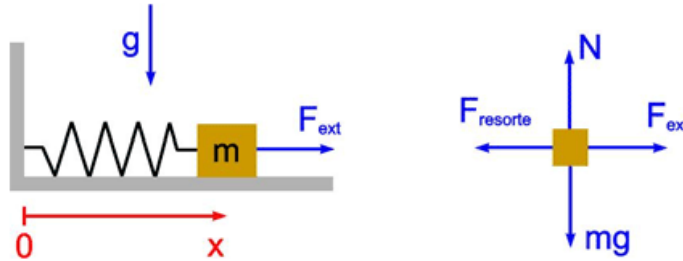
¿ FUEZA EJERCIDA POR UN RESORTE ?



LEY DE HOOKE (1635-1703)

EL ACORTAMIENTO O ALARGAMIENTO DE UN RESORTE ES PROPORCIONAL A LA FUERZA EXTERNA APLICADA

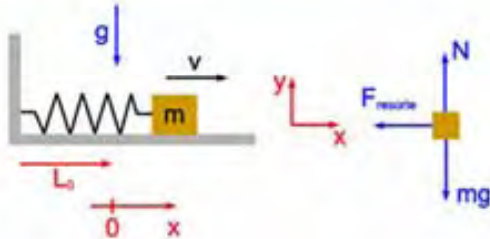
$$\vec{F}_{ext} = k\Delta$$



k = CONSTANTE ELÁSTICA DEL RESORTE
PENDIENTE DE LA RECTA

$\Delta \equiv (x - L_0)$ ES EL ACORTAMIENTO ($\Delta < 0$)
O ALARGAMIENTO ($\Delta > 0$) DEL RESORTE CON
RESPECTO A SU LARGO NATURAL

ECUACIÓN DE MOVIMIENTO



$$F_{\text{resorte}} = -kx$$

$$2^{\text{a}} \text{ LEY DE NEWTON} \Rightarrow -kx = ma_x$$

$\Rightarrow$

$$a_x = -\frac{k}{m}x$$

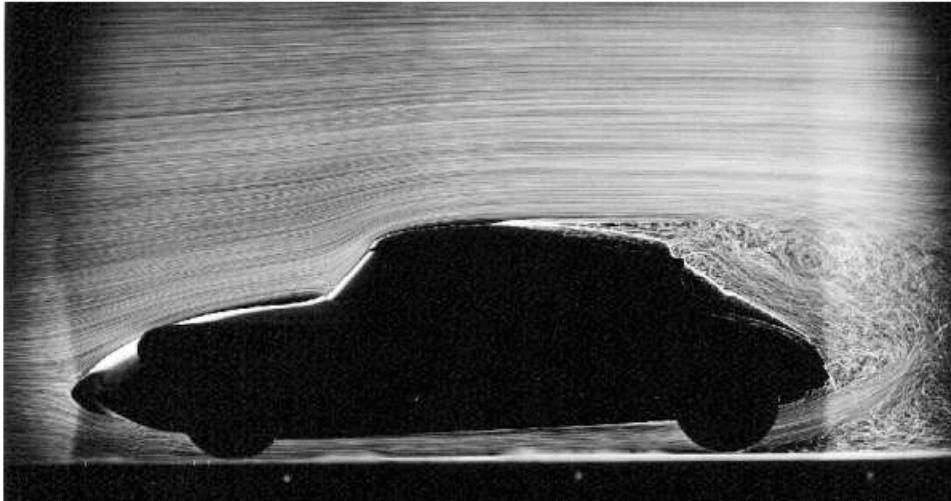
ECUACIÓN DE MOV.
PARA LA MASA m

LA ACELERACIÓN ES PROPORCIONAL AL DESPLAZAMIENTO DE LA MASA m

LA ACELERACIÓN APUNTA SIEMPRE EN SENTIDO OPUESTO AL DESPLAZAMIENTO

FUERZA DE ARRASTRE

FRENA UN OBJETO QUE SE MUEVE EN UN
FLUIDO $\rightarrow$ DEPENDE DE LA GEOMETRÍA.



EJEMPLO : MOVIMIENTO DE UNA ESFERA EN UN FLUIDO

- ES UN PROBLEMA COMPLICADO
- SE OBSERVAN DISTINTOS COMPORTAMIENTOS QUE DEPENDEN DE UNA SERIE DE CANTIDADES FÍSICAS
- DENSIDAD DEL FLUIDO ρ
- VELOCIDAD DE LA ESFERA U
- RADIO DE LA ESFERA R
- VISCOSIDAD η

SIN EMBARGO, ESTOS REGIMENES SE
PUEDEN CARACTERIZAR POR UN NÚMERO

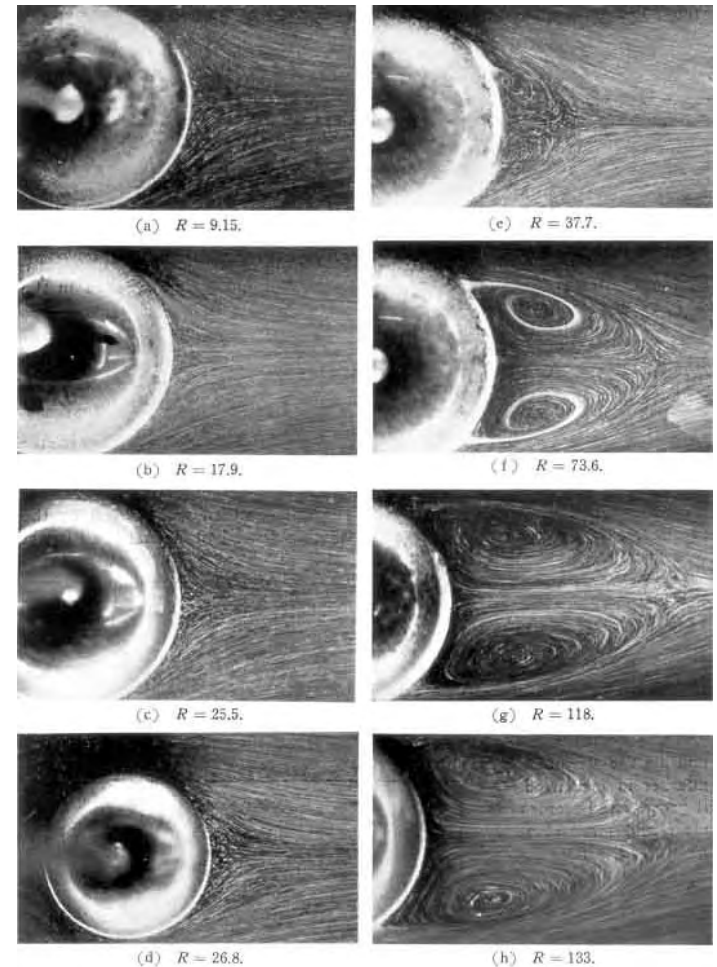
NÚMERO DE
REYNOLDS

$$Re = \frac{\rho U L}{\eta} = \frac{U L}{\nu}$$

VELOCIDAD TÍPICA $\rightarrow U$

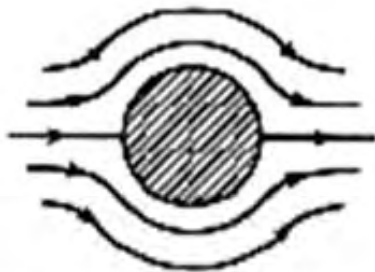
LONGITUD TÍPICA $\rightarrow L$

VISCOSIDAD CINEMÁTICA $\rightarrow \nu$



EJEMPLO: ESFERA EXISTEN DOS REGIMENES

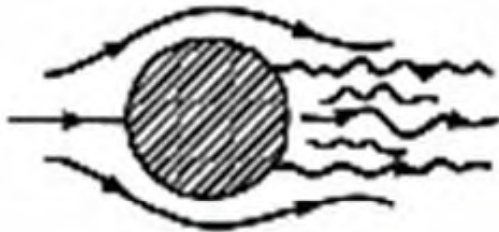
I. FLOW LAMINAR ($Re \ll 1$)



$$F_{\text{arrastre}} = 6\pi\eta R v_0$$

(LEY DE STOKES)

II. FLOW TURBULENTO ($Re \gg 1$)



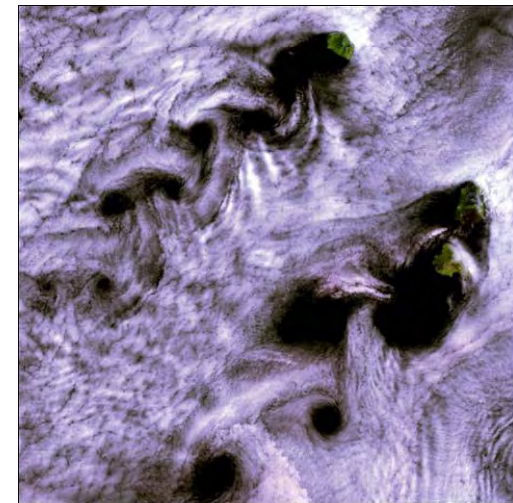
$$F_{\text{arrastre}} = \frac{1}{2} \rho C_D A v^2$$

(FORMULA DE NEWTON)

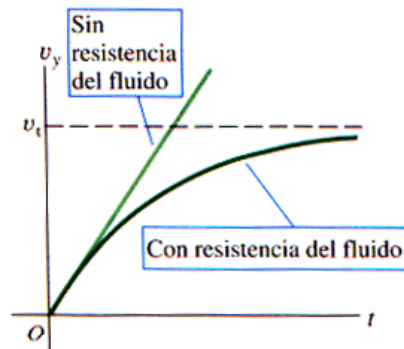
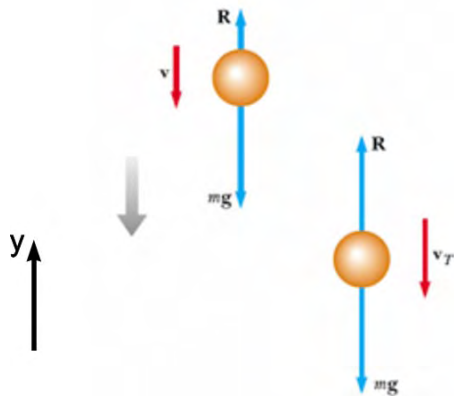
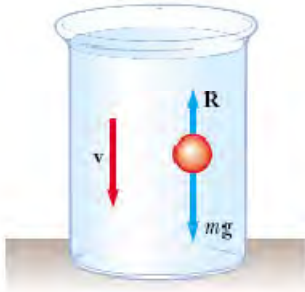
C_D = COEFICIENTE DE ARRASTRE

A $\equiv$ ÁREA FRONTAL

Vórtices de von Karman



Movimiento en presencia de fuerzas de arrastre



Segunda ley de Newton

$$R - mg = 0$$

donde R es la fuerza de arrastre. En el caso de altas velocidades

$$R = \frac{1}{2} \rho C A v^2$$

entonces la velocidad terminal está dada por

$$v_T = \sqrt{\frac{2Mg}{C\rho A}}$$



Velocidad terminal de varios objetos cayendo en el aire

Objeto	Masa (kg)	Area (m ²)	v_T (m/s)
Paracaidista	75	0.70	60
Pelota de beisbol ($r = 3,7$ cm)	0.145	$4,2 \times 10^{-3}$	43
Pelota de golf ($r = 2,1$ cm)	0.046	$1,4 \times 10^{-3}$	44
Gota de lluvia ($r = 0,2$ cm)	$3,4 \times 10^{-5}$	$1,3 \times 10^{-5}$	9.0

