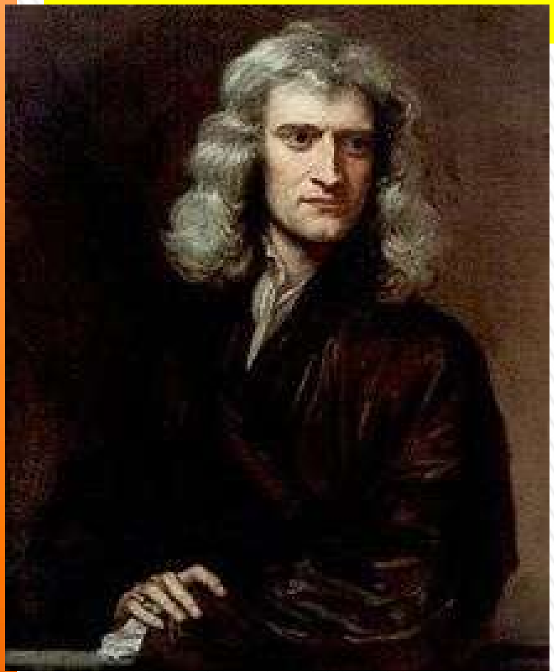
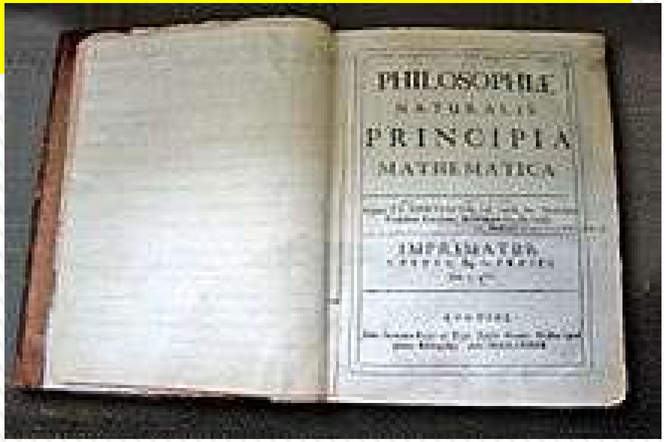
Curso Física 1 para Bio-Geociencias (FI252) 2026
Clase N° 9



1642 (1643) -1727



Hoy veremos: Fuerzas gravitacionales, peso, peso efectivo y fuerzas de fricción. Ejemplos.

La clase pasada: Comenzamos la Unidad 3, vimos las 3 leyes de Newton¿Alguna pregunta?

Clases de consultas generales virtuales: miércoles de 17:30 a 19:00 por Zoom (enlace de clase teórica de los martes)

Enunciados de las leyes de Newton del movimiento

PRIMERA LEY DE NEWTON- Si un objeto no interactúa con otros objetos, es posible identificar un marco de referencia en el que el objeto tiene aceleración cero. Este marco de referencia se llama **marco de referencia inercial.**

Esta ley sirve para definir qué son los marcos de referencia inercial. Un enunciado alternativo es el siguiente:

En ausencia de fuerzas externas, y cuando se ve desde un marco de referencia inercial, un objeto en reposo se mantiene en reposo y un objeto en movimiento continúa en movimiento con velocidad constante (es decir con movimiento rectilíneo uniforme).

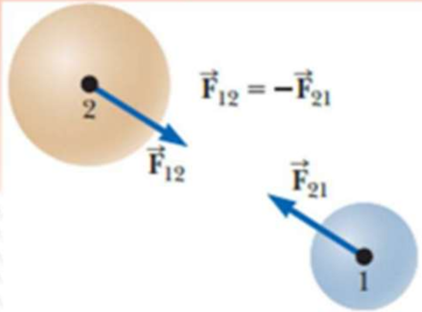
SEGUNDA LEY DE NEWTON: Cuando se ve desde un marco de referencia inercial, la aceleración de un objeto (de masa constante) es directamente proporcional a la fuerza neta que actúa sobre él e inversamente proporcional a su masa:

$$\sum \overline{F} = m\overline{a}$$

Observar que para que esta formulación sea válida se debe expresar que se observa desde un marco de referencia inercial y que la masa del objeto no varía con el tiempo.

TERCERA LEY DE NEWTON (Principio de Acción y Reacción): Si dos objetos interactúan, la fuerza $\overline{F}_{12}$ que ejerce el cuerpo 1 sobre el 2 (fuerza de **acción**) es igual en magnitud y dirección, pero de sentido opuesto a la fuerza $\overline{F}_{21}$ que el cuerpo 2 ejerce sobre 1 (fuerza de **reacción**). $\overline{F}_{12} = -\overline{F}_{21}$

Las fuerzas de acción y reacción siempre actúan sobre cuerpos distintos y son de la misma naturaleza.



Ejercicio 3.2

Después de caer desde el reposo partiendo de una altura de 30 m, una pelota de 0,50 kg rebota hacia arriba, logrando una altura de 20 m. Si el contacto entre la pelota y la superficie de la tierra dura 2,0 ms, ¿qué fuerza promedio se ejerció sobre la pelota?

La fuerza promedio en el choque la podemos calcular como el producto de la aceleración media por la masa de la pelota. Esta fuerza va a ser vertical hacia arriba (sentido que consideraremos positivo).
A su vez, la aceleración media la podemos calcular a través de la definición de velocidad media considerando un intervalo de tiempo Δt = 2,0 m. Sea ***v**$_F$* la velocidad de la pelota luego de chocar con la superficie de la tierra y ***v**$_I$* la velocidad antes de chocar. Entonces:

$$\bar{a}_m = \frac{\bar{v}_F - \bar{v}_I}{\Delta t}$$

La rapidez con que un objeto llega al piso cuando se suelta con rapidez inicial nula y desde una altura *h* vale

$$v = \sqrt{2gh}$$

$$F_m = ma_m = 0{,}50 \times 22.024 = 11.012\ N$$

F_{media} = 11 kN

$$v_I = \sqrt{2gh_I} = \sqrt{2(9.80)(30)} = 24,2487 \text{ m/s} \ \text{(hacia abajo)}$$
$$v_F = \sqrt{2gh_F} = \sqrt{2(9.80)(20)} = 19{,}7990 \text{ m/s} \ \text{(hacia arriba)}$$

Entonces, teniendo en cuenta los signos: $a_m = \frac{v_F - v_I}{\Delta t} = \frac{\sqrt{2gh_F} - (-\sqrt{2gh_I})}{\Delta t} = \frac{\sqrt{2gh_F} + \sqrt{2gh_I}}{\Delta t}$

$$a_m = \frac{\sqrt{2gh_F} + \sqrt{2gh_I}}{\Delta t} = \frac{\sqrt{2(9{,}8)(20)} + \sqrt{2(9{,}8)(30)}}{2{,}0 \times 10^{-3}} = 22024\ m/s^2$$

FUERZAS GRAVITATORIAS

Estudios del movimiento planetario condujo a Newton a establecer la ***ley de la gravitación universal.***

Con esta ley y las tres leyes del movimiento, pudo deducir las leyes observadas del movimiento planetario.

Establece que todos los objetos del universo se atraen entre sí.

Para dos esferas, o para dos cuerpos de cualquier forma que sean tan pequeños en comparación con su separación que se puedan considerar como partículas puntuales, la ley tiene una forma sencilla.

Si dos esferas o partículas tienen masas gravitatorias *m y m' y si sus centros están separados* por una distancia *r*, las fuerzas entre ambas partículas valen:

$$F_g = G\frac{m.m'}{r^2}$$

G = $6{,}67\times10^{-11}$ $N.m^2/kg^2$ es la constante de gravitación universal

Las fuerzas gravitatorias se dirigen en la dirección de la recta que une los centros de las dos esferas (por esta razón a este tipo de fuerzas se les denomina fuerzas centrales), y son fuerzas de atracción.

Además varían con el cuadrado de la distancia de separación entre los cuerpos que interactúan.

FUERZAS GRAVITATORIAS

La expresión anterior se aplica directamente a esferas y partículas puntuales..
La fuerza gravitatoria ejercida por la Tierra sobre un objeto es relativamente grande a causa de la gran masa de la Tierra.
Por el contrario, la fuerza gravitatoria entre dos objetos de masa mediana es muy pequeña y difícil de detectar, como se muestra en el siguiente ejemplo.

Ejemplo: Los centros de dos esferas de 10 kg distan entre sí 10 cm
a) ¿Cuál es su atracción gravitatoria?
b) ¿Cuál es la razón de esta atracción al peso de una de las esferas?

$$F_g = G\frac{m.m'}{r^2} = (6{,}67 \times 10^{-11}\ Nm^2/kg^2)\frac{(10\ kg)(10\ kg)}{(0{,}10\ m)^2} = \mathbf{6{,}67\times10^{-7}\ N}$$

Mientras que el peso vale: Peso = m.g = 10 kg × 9,8 m/s^2 = 98 N

$$\frac{F_g}{Peso} = \frac{6{,}11 \times 10^{-7}}{98} = \mathbf{6{,}8\times10^{-9}}$$

Este pequeño valor de este cociente explica po qué no notamos la atracción gravitatoria entre objetos de dimensiones ordinarias.

FUERZA GRAVITACIONAL Y PESO

El **peso** de un objeto es la fuerza gravitacional que éste experimenta.
Para un objeto próximo a la superficie terrestre, dicha fuerza se debe en su mayor parte a la atracción de la Tierra.

Si R_T *es el radio de la Tierra y* M_T *su masa,* un objeto de masa gravitatoria *m en la superficie* de la Tierra está sometido a una fuerza gravitatoria:

$$F_g = G\frac{M_T.m}{R_T^2}$$

La aceleración *g resultante de esta fuerza se calcula* mediante la segunda ley de Newton, F = ma**:**

$$g = \frac{F_g}{m} = G\frac{M_T}{R_T^2}$$

Este resultado dice que la aceleración de la gravedad es la misma para todos los objetos. Como el radio de la Tierra R_T es de 6.400 km, la aceleración gravitatoria a unos pocos metros o incluso a unos pocos kilómetros por encima de la superficie terrestre no diferirá mucho de 9,8 m/s^2.
Estrictamente, el valor de g para una altura h sobre la superficie de la Tierra vale:

$$g(h) = G\frac{M_T}{r^2} = G\frac{M_T}{(R_T + h)^2}$$

FUERZA GRAVITACIONAL Y PESO

Todos los objetos son atraídos hacia la Tierra. La fuerza de atracción que ejerce la Tierra sobre un objeto se llama **fuerza gravitacional** $\overline{F}_g$

Esta fuerza se dirige hacia el centro de la Tierra (si se ignora que su distribución de masa no es perfectamente esférica) y su magnitud se llama **peso del objeto.**

Para un objeto en caída libre: $\overline{F}_g = m\overline{g}$ $F_g = m\,g$

Como depende de *g, el peso varía con la ubicación geográfica.*

Estrictamente, el peso cuantifica la fuerza gravitacional sobre el objeto y no requiere que el objeto se mueva.
La masa m en esa ecuación establece la intensidad de la atracción gravitacional entre el objeto y la Tierra y por esto *se le llama* ***masa gravitacional***
Diferente del descrito antes para la masa en la segunda ley de Newton, la ***masa inercial***: que miden la resistencia al cambio en movimiento como respuesta a una fuerza externa.
Aun cuando esta cantidad sea diferente en comportamiento de la masa inercial:
una de las conclusiones experimentales de la dinámica newtoniana es que la masa gravitacional y la masa inercial tienen el mismo valor, por lo cual no las distinguiremos.

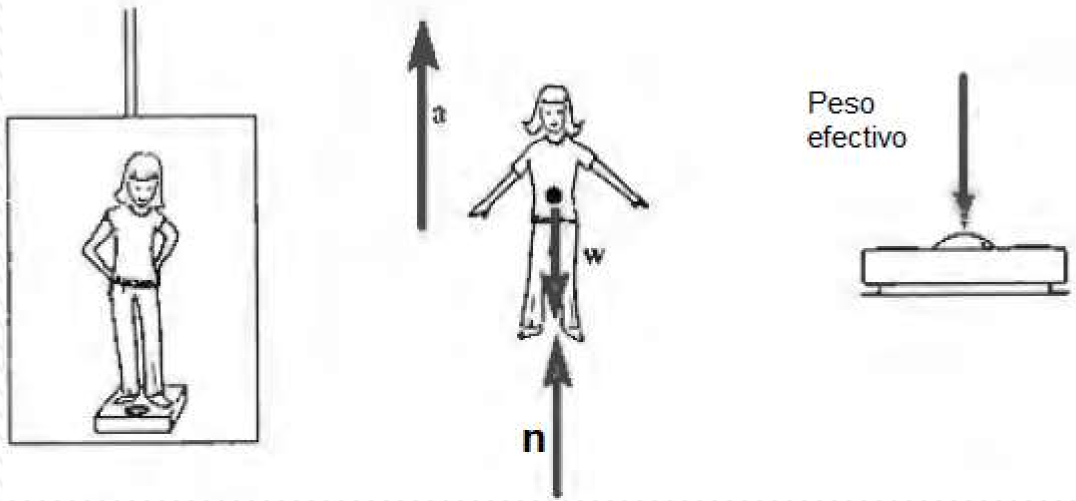
Peso efectivo e ingravidez aparente

Cuando un ascensor empieza a moverse hacia arriba, acelera brevemente y a continuación sigue a velocidad constante hasta que se aproxima al piso deseado. Durante la aceleración hacia arriba nos sentimos más pesados que lo habitual. Análogamente, cuando la aceleración se dirige hacia abajo, sentimos como si nuestro peso se redujera.

Nuestro peso es la fuerza gravitatoria que sobre nosotros ejerce la Tierra, y ésta, claro está, no varía por el hecho de encontrarnos en el ascensor.

Sin embargo, *la percepción de nuestro peso viene* determinada por las fuerzas que sobre nosotros ejerzan el suelo, la silla o lo que nos soporte.

Estas fuerzas no son iguales al peso cuando estamos sometidos a una aceleración.



El ***peso efectivo*** de un objeto se define como **la fuerza total que dicho objeto ejerce sobre un dinamómetro, o balanza de resorte.**

Según la 3era. ley de Newton, **ésta tiene el mismo módulo y sentido opuesto a la fuerza n que el dinamómetro ejerce sobre la persona o el objeto**.

El vector correspondiente al peso efectivo = **-n**

Peso efectivo e ingravidez aparente

Pasajero de masa *m viaja en ascensor que sube* con aceleración a_y, *una balanza da como peso aparente:* $n = m(g+a_y)$

El caso extremo caída libre: $a_y = -g$

En este caso, n = 0 y el pasajero siente que no tiene peso.

Un astronauta en órbita alrededor de la Tierra en su nave espacial experimenta ***ingravidez aparente.***

En ambos casos, la persona no está verdaderamente en ingravidez (hay fuerza gravitacional); pero las sensaciones de las personas en caída libre son las mismas que experimentan los individuos cuando se encuentran en el espacio exterior sin experimentar gravedad.

Ejercicio 3.7: Dentro de un ascensor

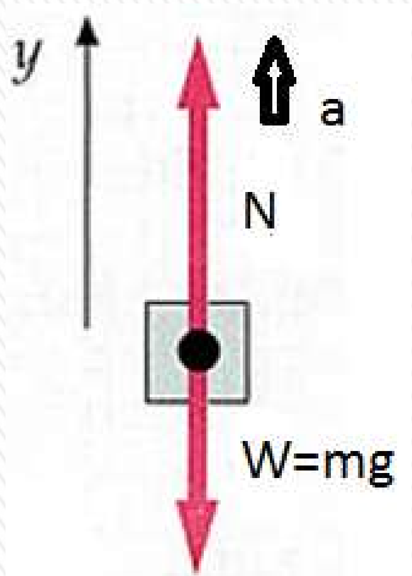
7.- Una mujer tiene 65 kg de masa, y está parada en el interior de un elevador en una báscula (balanza) de baño, calibrada en newton.
Calcule la indicación o lectura de la báscula en cada uno de los casos siguientes, y explique, en términos de las fuerzas que actúan sobre la báscula, por qué da esas lecturas:

a) el elevador está estacionario
b) el elevador acelera hacia arriba a 2,0 m/s^2
c) el elevador acelera hacia abajo a 2,0 m/s^2
d) el elevador desciende con velocidad constante
e) el elevador cae libremente al romperse su cable.

D.C.L.

¿Qué es lo que indica la balanza?

La balanza m*arca la magnitud* de la fuerza hacia abajo ejercida *por la mujer sobre la balanza; por la 3era.* ley de Newton, es igual a la magnitud de la fuerza normal hacia arriba ejercida *por la báscula sobre la mujer.*
Por lo tanto, nuestra incógnita es la magnitud *N de la fuerza normal: la cual es igual y opuesta en sentido al llamado peso aparente.*



2da. Ley de Newton: $ma = N - W$ $N = ma + W = ma + mg = m(a+g)$

7.- Una mujer tiene 65 kg de masa, y está parada en el interior de un elevador en una báscula (balanza) de baño, calibrada en newton.
Calcule la indicación o lectura de la báscula en cada uno de los casos siguientes, y explique, en términos de las fuerzas que actúan sobre la báscula, por qué da esas lecturas:

a) el elevador está estacionario
b) el elevador acelera hacia arriba a 2,0 m/s^2
c) el elevador acelera hacia abajo a 2,0 m/s^2
d) el elevador desciende con velocidad constante
e) el elevador cae libremente al romperse su cable.

$N = m(a+g)$

a) Si el elevador está estacionario, $a = 0$ entonces $N = m.g = 65\times9,8 = 637$ N
indicación de la balanza: $6,4\times10^1$ N (lo que mostraría sería 640 N)

b) $a = +2,0\ m/s^2$ entonces $N = m.(g+a) = 65\times(9,8+2,0) = 767$ N
indicación de la balanza: $7,7\times10^1$ N (lo que mostraría sería 770 N)

c) $a = -2,0\ m/s^2$ entonces $N = m.(g-a) = 65\times(9,8-2,0) = 507$ N
indicación de la balanza: $5,1\times10^1$ N (lo que mostraría sería 510 N)

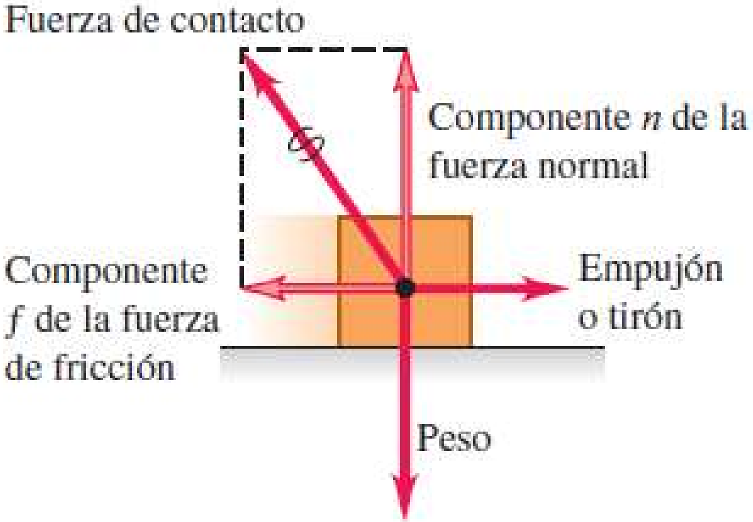
d) $a = 0\ m/s^2$ entonces $N = m.(g) = 65\times(9,8) = 637$ N
indicación de la balanza: $6,4\times10^1$ N (lo que mostraría sería 640 N)

e) $a = -9,8\ m/s^2$ entonces $N = m.(g-g) = 65\times(0) = 0$ N
indicación de la balanza: 0 N (lo que mostraría sería 0 N)

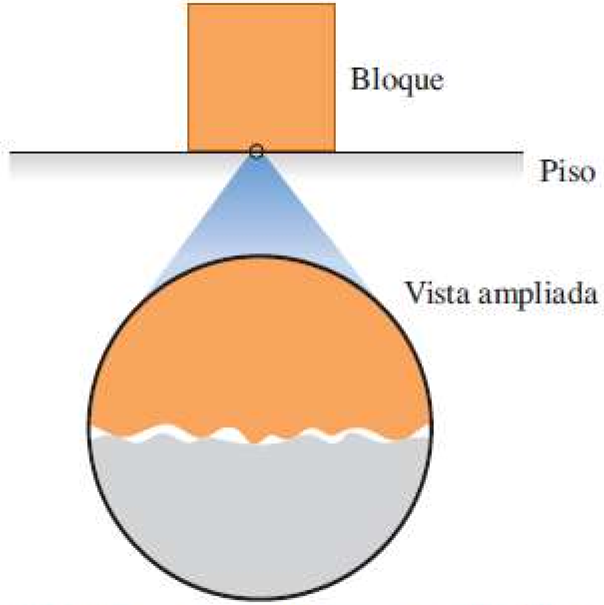
FUERZAS DE FRICCIÓN

5.17 Cuando se empuja el bloque o se tira de él sobre una superficie, esta última ejerce una fuerza de contacto sobre el bloque.

Las fuerzas de fricción y normal son realmente componentes de una sola fuerza de contacto.



5.18 Las fuerzas normal y de fricción surgen de interacciones entre moléculas en los puntos elevados de las superficies del bloque y del piso.



A nivel microscópico, inclusive las superficies lisas son ásperas y tienden a "engancharse".

Sin fricción entre los neumáticos y el asfalto, el automóvil no podría avanzar ni dar vuelta.

El arrastre del aire reduce el rendimiento del combustible en los automóviles, pero hace que funcionen los paracaídas.

Sin fricción, los clavos se desclavarían, las bombillas se desatornillarían sin esfuerzo, el hockey sobre hielo sería imposible y no podríamos caminar.

Fricción cinética y estática

Cuando un cuerpo descansa o se desliza sobre una superficie, esta última ejerce una sola fuerza de contacto sobre el cuerpo, con componentes de fuerza perpendiculares y paralelas a la superficie.

La componente vectorial perpendicular es la **fuerza normal (n o N)**

La componente vectorial paralela a la superficie (y paralela) a es la **fuerza de fricción (f)**

Si la superficie no tiene fricción, entonces será cero, pero habrá todavía una fuerza normal. Las superficies sin fricción son una idealización inalcanzable.

El sentido de la fuerza de fricción siempre es opuesta al movimiento relativo de las dos superficies.

La fricción que actúa cuando un cuerpo se desliza sobre una superficie es la **fuerza de fricción cinética f_K.**
Su magnitud *se determina en forma experimental es aproximadamente proporcional a la magnitud **n** de la fuerza normal.*

$$f_k = \mu_k n \qquad \text{(magnitud de la fuerza de fricción cinética)}$$

μ_K: coeficiente de fricción cinético

FUERZAS DE FRICCIÓN

Tabla 5.1 Coeficientes de fricción aproximados

Materiales	Coeficiente de fricción estática, μ_s	Coeficiente de fricción cinética, μ_k
Acero sobre acero	0.74	0.57
Aluminio sobre acero	0.61	0.47
Cobre sobre acero	0.53	0.36
Latón sobre acero	0.51	0.44
Zinc sobre hierro colado	0.85	0.21
Cobre sobre hierro colado	1.05	0.29
Vidrio sobre vidrio	0.94	0.40
Cobre sobre vidrio	0.68	0.53
Teflón sobre teflón	0.04	0.04
Teflón sobre acero	0.04	0.04
Hule sobre concreto (seco)	1.0	0.8
Hule en concreto (húmedo)	0.30	0.25

Las fuerzas de fricción también actúa a pesar de que *no haya movimiento relativo.*

Fuerza de fricción estática f_S.

Los experimentos revelan que su valor máximo, llamado $(f_s)_{máx}$, *es aproximadamente proporcional a n;*
llamamos ***coeficiente de fricción estática*** *al factor de proporcionalidad* μ_S.

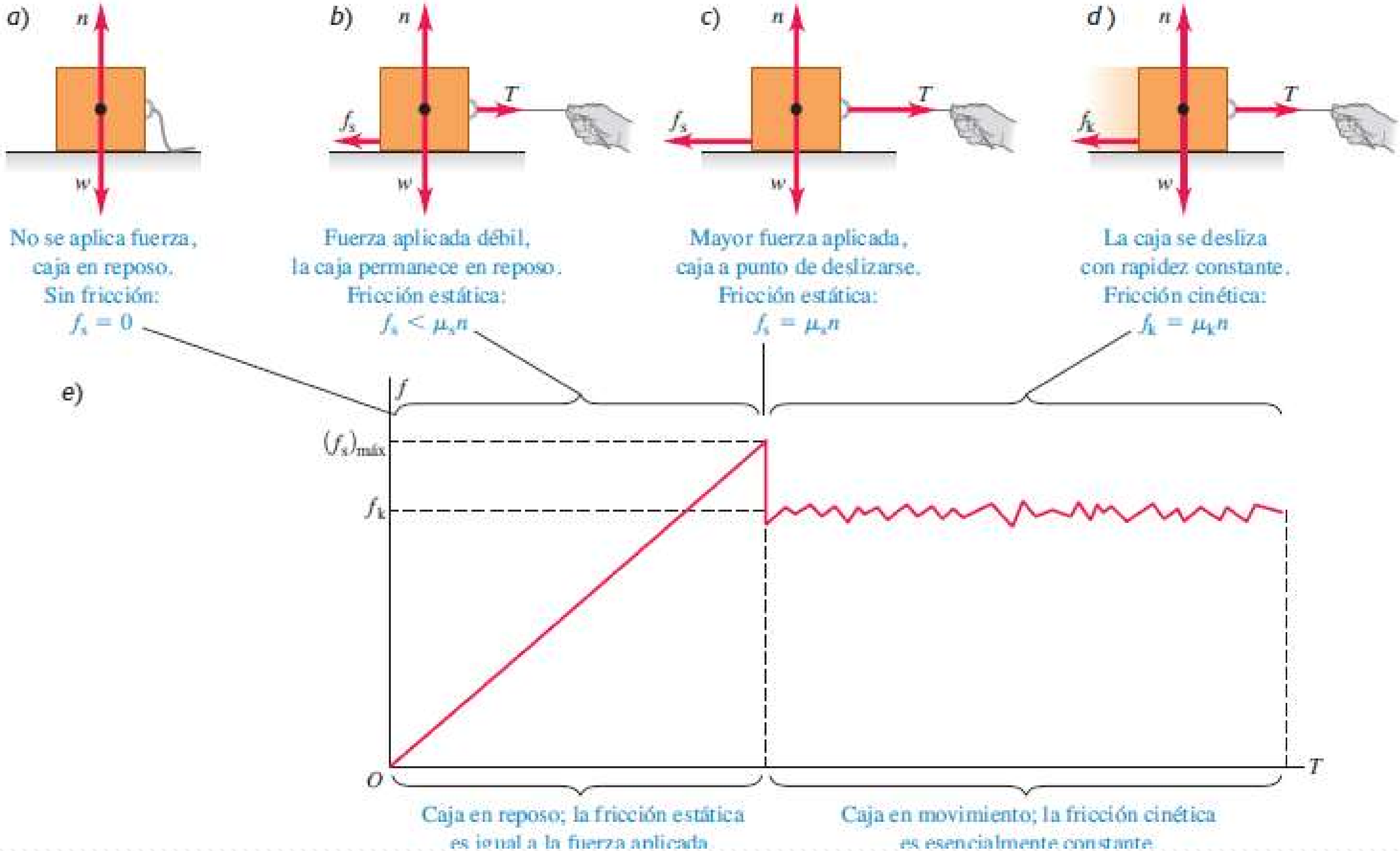
$$f_s \leq \mu_s n \qquad \text{(magnitud de la fuerza de fricción estática)}$$

El coeficiente de fricción cinética suele ser *menor que el* de fricción estática para un par de superficies dado.

La **fuerza de fricción** es la que hace que una persona o animal pueda acelerar desde el reposo hasta una cierta velocidad de carrera. El valor máximo estará dado $f_{smáx}$ para la aceleración inicial, y a f_k cuando ya está en movimiento.

FUERZAS DE FRICCIÓN

5.19 *a*), *b*), *c*) Si no hay movimiento relativo, la magnitud de la fuerza de fricción estática f_s es igual o menor que $\mu_s n$. *d*) Si hay movimiento relativo, la magnitud de la fuerza de fricción cinética f_k es igual a $\mu_k n$. *e*) Gráfica de la magnitud de la fuerza de fricción f en función de la magnitud de T de la fuerza aplicada. La fuerza de fricción cinética varía un poco conforme se forman y se rompen los enlaces intermoleculares.



DIAGRAMAS DE CUERPO LIBRE (D.C.L.)

1. La 1era. ley de Newton y la 2da. se refieren a un cuerpo específico.

Al usar la primera ley de Newton, $\sum \bar{F} = 0$ **, en una situación de equilibrio, o la** segunda, $\sum \bar{F} = m\bar{a}$ en una situación sin equilibrio, debemos decidir desde un principio a qué cuerpo nos estamos refiriendo.

2. Sólo importan las fuerzas que actúan sobre el cuerpo.

La sumatoria $\sum \bar{F}$ *incluye* todas las fuerzas que actúan *sobre el cuerpo en cuestión.*
Por lo tanto, una vez elegido el cuerpo que analizará, tendremos que identificar todas las fuerzas que actúan sobre él.

Por ejemplo, para analizar a una persona que camina, incluiríamos en la fuerza que el suelo ejerce sobre la persona al caminar, pero *no la fuerza que la persona ejerce* sobre el suelo.

DIAGRAMAS DE CUERPO LIBRE (D.C.L.)

3. Los DCL son indispensables para identificar las fuerzas relevantes.

Diagrama de cuerpo libre (DCL) es un diagrama que muestra solamente el cuerpo elegido,“libre” de su entorno, con vectores que muestran las magnitudes y direcciones de todas las fuerzas aplicadas sobre el cuerpo por todos los cuerpos que interactúan con él.

Se debe incluir todas las fuerzas que actúan *sobre el cuerpo, y cuidar de no incluir fuerzas que* el cuerpo ejerza sobre otro cuerpo.

Las dos fuerzas de un par acción-reacción *nunca deben aparecer en el mismo DCL* porque nunca actúan sobre el mismo cuerpo.

Tampoco se incluyen las fuerzas que un cuerpo ejerce sobre sí mismo, ya que estas no pueden afectar su movimiento.

Algunos tips a tener en cuenta:

1) Tercera ley de Newton: Las fuerzas de acción y reacción actúan sobre objetos diferentes.

2) Diagrama de cuerpo libre (DCL).
La etapa más importante en la resolución de un problema que utiliza las leyes de Newton es dibujar un bosquejo adecuado, el diagrama de cuerpo libre.

3) El signo igual se usa en situaciones limitadas: $f_E \leq \mu_E . n$
En esta el signo igual se usa sólo en caso de que las superficies estén a punto de liberarse y comiencen a deslizarse.
No caiga en la trampa común de usar $f_E = \mu_E . n$ en cualquier situación estática.

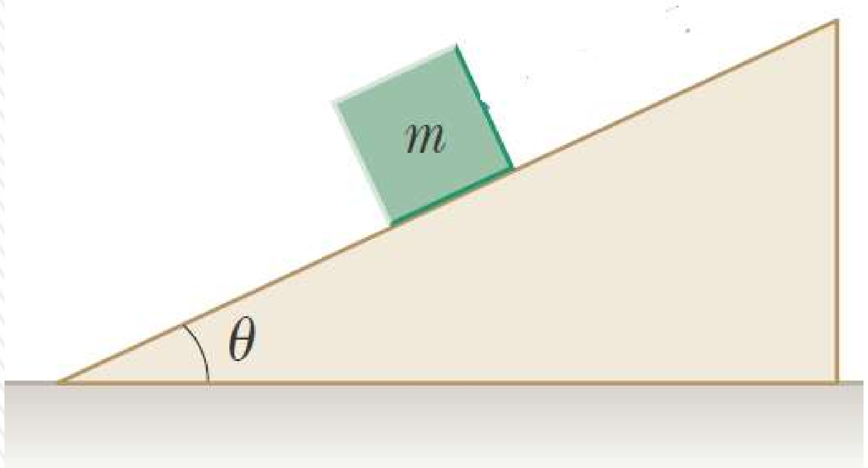
4) Ecuaciones de fricción no son ecuaciones vectoriales.

5) Sentido de la fuerza de fricción: la fuerza de fricción en un objeto es opuesta a su movimiento o al movimiento inminente en relación con la superficie".

6) Es un error decir que la fuerza de fricción se opone al movimiento!!

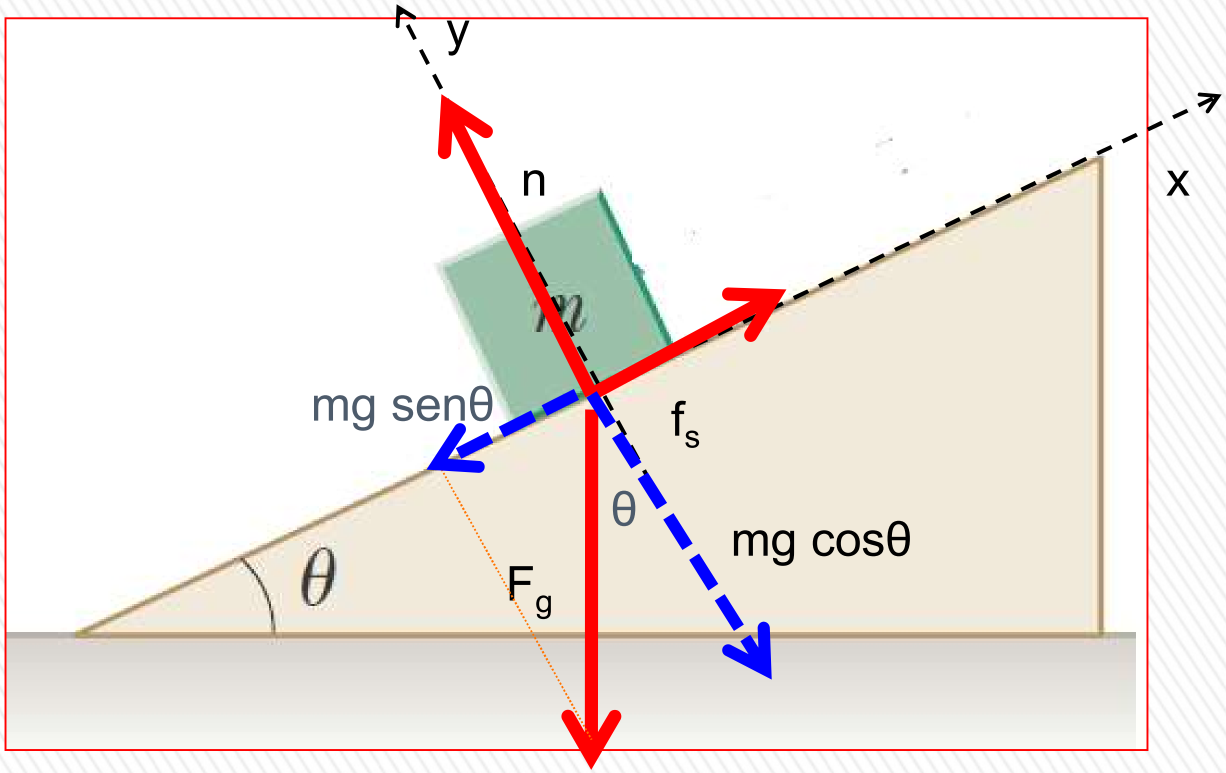
Ejemplo: determinación de coeficientes de fricción

Suponga que un bloque con masa de m = 2,50 kg está en reposo sobre una rampa. Si el coeficiente de fricción estática entre el bloque y la rampa es μ_s= 0,350, ¿cuál es el ángulo máximo θ_m que la rampa puede formar con la horizontal antes de que el bloque empiece a deslizarse hacia abajo?



- Es una aplicación de la segunda ley de Newton, con la particularidad que busco el ángulo θ máximo, para que el bloque se quede en equilibrio.
- Voy a elegir sistema de coordenadas inclinadas, con el eje x, según la dirección del plano inclinado.
- Realizo el DCL.
- Analizo la situación en que el bloque está a punto de deslizarse cuando la fuerza de fricción estática toma su valor máximo: $f_s = \mu_s . n$.
- *Planteo la 2da. Ley de Newton para c/u de los ejes (asumo que estoy en marco referencia inercial)*

Ejemplo: determinación de coeficientes de fricción



El peso. F_g vale mg

Planteo la 2da. Ley de Newton para c/u de los ejes:

$\Sigma F_x = m.a_x$ (1)

$\Sigma F_y = m.a_y$ (2)

En este caso como queremos que esté en equilibrio: $a_x = a_y = 0$

x) $f_s - mg\ sen\theta = 0$ $\qquad f_s = mg\ sen\theta$ (3)

y) $n - mg\cos\theta = 0$ $\qquad n = mg\cos\theta$ (4)

Recordar que en general f_s es menor o igual a $\mu_s n$

Como estoy considerando la condición límite: $f_s = \mu_s n$ $\qquad \mu_s n = mg\ sen\theta$ (3')

Dividiendo (3')/(4): $\frac{\mu_s n}{n} = \frac{mg \sin\theta}{mg\cos\theta}$ $\qquad \mu_s = \tan\theta \quad \theta = \tan^{-1}\mu_s$

$\theta = \tan^{-1}\mu_s = \tan^{-1} 0{,}350$ =19,3°

Ejemplo: ejercicio 3.6

6.- Considere dos bloques del mismo material, uno con el doble de masa que el otro, que son colocados en una rampa inclinada, de forma que permanecen en reposo.

a) Si se aumenta el ángulo de la rampa con la mesa, ¿cuál de los dos bloques cae primero?
b) ¿Cómo cambian los ángulos a los cuales comienzan a deslizar si la superficie es más rugosa?
c) ¿Cómo se podría determinar el coeficiente de rozamiento estático entre la superficie del bloque y la de la rampa a partir de la experiencia?

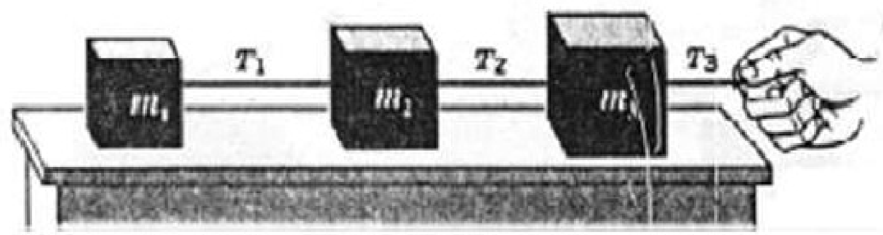
a) Por lo visto en el ejemplo, no depende la masa del bloque.
b) Si la superficie se hace más rugosa, aumenta μ_s y por tanto el ángulo θ puede crecer.
c) Voy variando el ángulo θ, hasta que comienza a deslizar, cuándo sucede eso, mido el ángulo y el coeficiente de fricción estático valdrá la tangente de dicho ángulo.

Ejercicio 3.5

Tres bloques están unidos como se muestra en la figura sobre una mesa horizontal carente de fricción y son jalados hacia la derecha con una fuerza T_3 = 6,50 N. Si m_1 = 1,20 kg, m_2 = 2,40 kg y m_3 = 3,10 kg, calcule:

a) la aceleración del sistema

b) las tensiones T_1 y T_2.



a) Los tres bloques se mueven juntos, entonces considero el conjunto de los tres bloques, con una masa M = 1,20 + 2,40 +3,10 = 6,70 kg

Sobre este conjunto, sólo actúa como fuerza externa horizontal T_3.

Por tanto al aplicar la 2da ley de Newton al conjunto: $Ma = T_3$

$a = T_3 /M = 6,50/6,70 = 0,970\ m/s^2$

$a = 0,970\ m/s^2$

b) Los tres bloques se mueven juntos, por los que todos tienen la misma aceleración que la del conjunto.

Por tanto al aplicar la 2da ley de Newton al primer bloque: $m_1 a = T_1$

$T_1 = m_1 a$ = (1,20 kg) (0,970 m/s)= 1,16 N

Por tanto al aplicar la 2da ley de Newton al segundo bloque: $m_2 a = T_2 - T_1$

$T_2 = m_2 a + T_1$ = (2,40 kg) (0,970 m/s) + 1,16 = 3,49 N

T_1 = 1,16 N **T_2 = 3,49 N**