Física e Introducción a la Biofísica

Ciclo Básico Común – Universidad de Buenos Aires

<u>Notas Teóricas de la Clase 4 (*)</u>

Dinámica: Leyes de Newton y Diagramas de Cuerpo Libre

(*) Las notas que figuran a continuación fueron redactadas originalmente por Carmelo Randazzo, y corregidas y re-editadas por Cristian Rueda.

Decir que cada especie de cosa está dotada de una cualidad específica oculta por la cual actúa y produce efectos manifiestos, equivale a no decir nada; pero derivar de los fenómenos de la naturaleza dos o tres principios generales de movimiento, y acto seguido explicar de qué modo se deducen de estos principios manifiestos las propiedades y acciones de todas las cosas corpóreas, sería dar un gran paso. **ISAAC NEWTON**

La dinámica es la parte de la física que estudia las causas de los movimientos. No había pasado un año de la muerte de Galilei, cuando nacía en Inglaterra Isaac Newton, quien a la edad de 23 años, y basándose en los trabajos que había realizado Galileo, enuncia los **principios de la dinámica** rompiendo definitivamente con la tradición del pensamiento aristotélico de relacionar fuerzas con velocidad. Estos principios o leyes son tres y determinan completamente el comportamiento de un cuerpo al moverse o permanecer en reposo. Pero antes, refirámonos a las fuerzas.

Decimos que aplicamos una fuerza sobre algo cuando lo golpeamos, empujamos o tiramos de él. Estas acciones las podemos ejercer en todas las direcciones: puedo empujar una caja para arrastrarla paralelamente al piso, puedo atarle una soga alrededor y tirarla de la misma oblicuamente, puedo levantarla alzándola verticalmente hacia arriba o arrojarla como si fuese un proyectil hacia los costados, para abajo, o en otra dirección. Esto nos dice que las fuerzas son **magnitudes vectoriales**, por lo que además de su valor o intensidad, es necesario indicar para dónde actúa (dirección y sentido). Por lo tanto, para su representación gráfica usaremos “flechitas” (formalmente hablando, **vectores**).

Suma de fuerzas – Fuerza Resultante

Sobre un cuerpo pueden actuar simultáneamente varias fuerzas, debido a las distintas interacciones que el mismo tenga con el medio que lo rodea. Por ejemplo, un carro cargado de cartones que es tirado por una persona, recibe la fuerza que ésta realiza al arrastrarlo, una fuerza de fricción o rozamiento hacia atrás por su interacción con el piso que asimismo lo sostiene, la fuerza que ejercen los cartones sobre él, y el peso propio del carro, que como luego veremos se trata de la interacción gravitatoria causada por la Tierra. Es cómodo reemplazar todas esas acciones por una única acción equivalente, y ésta se denomina **Fuerza Neta, Sumatoria de fuerzas ($\sum F$)** o **Fuerza Resultante (R)**. Algebraicamente, la fuerza resultante es la suma vectorial de todas las fuerzas.

$$\boxed{\vec{R} = \sum \vec{F}}$$

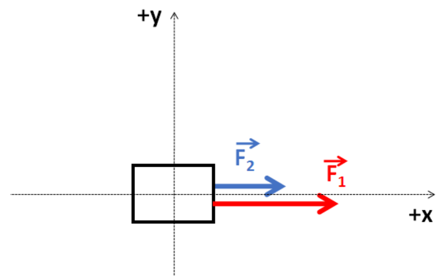
Para poder estudiar las fuerzas que actúan sobre un cuerpo, y ver la resultante, es importante definir un sistema de coordenadas apropiado. En nuestros casos, esto consistirá en dibujar un eje x y otro y. Además debemos establecer arbitrariamente un sentido positivo en cada eje (como lo hacíamos en Cinemática). Luego, será sencillo establecer la fuerza resultante **en cada eje ($\sum F_x$ y $\sum F_y$)**

$$\boxed{R_x = \sum F_x} \text{ Suma de fuerzas en el eje x}$$

$$\boxed{\vec{R} = \sum \vec{F}}$$

$$\boxed{R_y = \sum F_y} \text{ Suma de fuerzas en el eje y}$$

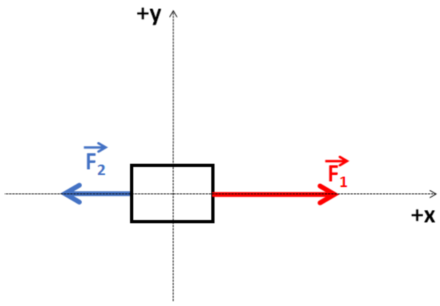
En los siguientes casos, elegimos arbitrariamente el sentido positivo hacia la derecha para la dirección horizontal, y hacia arriba para la dirección vertical. En estas condiciones, armaremos las sumatorias de fuerzas en cada eje. Cada una de ellas se arma observando que fuerzas han quedado apuntando en el sentido positivo del eje x (o y)



a) Dos fuerzas con igual dirección y sentido. Notemos que ambas fuerzas apuntan hacia el sentido +*x*. Por lo tanto, al construir la resultante de las fuerzas en dicho eje x, ambas irán acompañadas de un signo +.

En el eje x: $\mathbf{R_x = F_1 + F_2}$

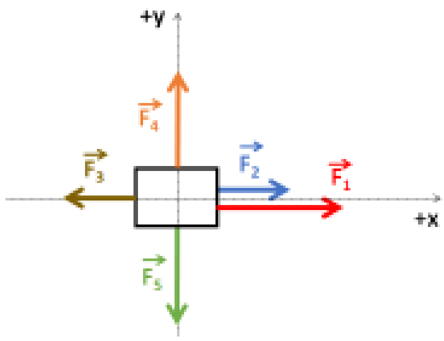
En el eje y: $\mathbf{R_y}$ = 0 (no hay fuerzas presentes, aparentemente…)



b) Dos fuerzas con igual dirección y sentidos opuestos. En este caso, notemos que F_1 apunta hacia el sentido +*x*, por lo tanto, en la resultante de las fuerzas en ese eje, F_1 irá acompañado de un signo +. En cambio, la fuerza F_2 tiene la misma dirección que F_1 (el eje x), pero sentido opuesto. Esto implica que F_2, en la resultante, irá acompañado de un signo –.

En el eje x: $R_x = F_1 - F_2$

En el eje y: $R_y = 0$ (no hay fuerzas presentes, aparentemente…)



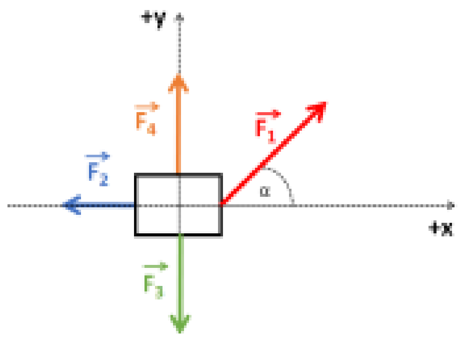
c) Varias fuerzas, en ambos ejes. Comencemos en el eje x: vemos que hacia el sentido positivo de x están ubicadas F_1 y F_2 (por lo tanto al armar la resultante en ese eje, irán acompañadas por un +), mientras que F_3 apunta en sentido opuesto. Por lo tanto:

En el eje x: $R_x = F_1 + F_2 - F_3$

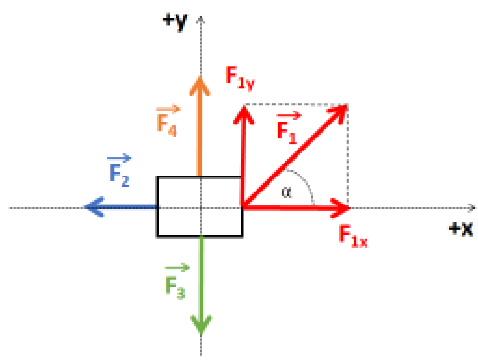
En cambio, en el eje y tenemos una fuerza F_4 que apunta hacia arriba (en el sentido positivo del eje y), y otra fuerza F_5 que apunta hacia abajo. Por consiguiente:

En el eje y: $R_y = F_4 - F_5$

d) Varias fuerzas, y una de ellas **no quedó en ninguno de los ejes elegidos** (forma un ángulo α con la horizontal



No necesariamente las fuerzas que actúen sobre un cuerpo tendrán dirección o vertical, en general podrán tener cualquier dirección y sentido. Cuando tengamos una fuerza de dirección oblicua, descompondremos (o proyectaremos) ésta en dos componentes: una de dirección horizontal (o en la dirección del movimiento) y otra en la dirección vertical (o perpendicular al movimiento), como se indica en la figura de la derecha.

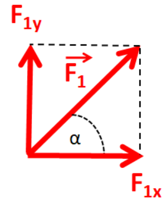


Al hacerlo, se han determinado F_{1x} y F_{1y} sobre los ejes. A estas "fuerzas" se las llama "proyecciones de la fuerza F_1". Para armar la resultante en cada eje, usaremos a dichas componentes.

Veamos cuánto valen dichas componentes: al tener la intensidad de la fuerza F, y el ángulo α que forma con el eje **horizontal**, aplicando las definiciones de las funciones trigonométricas (notar que se han formado dos triángulos rectángulos), se obtiene:

$$\sin\ \alpha = \frac{F_{1y}}{F_1} \longrightarrow \boxed{F_{1y} = F_1 \cdot \sin\ \alpha}$$

$$\cos\ \alpha = \frac{F_{1x}}{F_1} \longrightarrow \boxed{F_{1x} = F_1 \cdot \cos\ \alpha}$$



Volvamos a la figura inicial de este ejemplo. Al armar entonces la resultante en cada eje, se obtiene:

En el eje x: $R_x = F_{1x} - F_2$

En el eje y: $R_y = F_{1y} + F_4 - F_3$

LEYES DE NEWTON

La primera de ellas, conocida como el **principio de inercia**, concuerda con la idea de Galileo respecto a que en ausencia de fuerzas actuantes sobre un cuerpo en movimiento éste continuaría en movimiento.

El principio de Inercia

Todo cuerpo tiende a permanecer en el estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme a menos que sea obligado a cambiar ese estado por fuerzas que se le apliquen a tal efecto

Por lo tanto este principio establece que se requiere cierta fuerza para **cambiar** la velocidad de un cuerpo pero no para que ésta se mantenga. Dicho de otra manera, un cuerpo continuará en reposo (si estaba quieto) o en MRU (en el caso de estar moviéndose) si sobre el mismo no actúa ninguna fuerza o si la resultante de las que actúen es nula. Esto terminó con la teoría aristotélica del movimiento, que establecía que para mantener su velocidad un cuerpo necesitaba constantemente una fuerza y de lo contrario se detendría. Se requiere una fuerza para poner en movimiento cualquier objeto que se halle en reposo, pero una vez iniciado el movimiento el cuerpo continuará moviéndose sin que tenga ninguna fuerza aplicada (o que si de haberlas la resultante de las mismas sea nula).

Principio de masa

Galileo sabía que dos cuerpos de diferentes pesos (como dos piedras) caían con la misma aceleración pero no pudo explicar el por qué, Newton no sólo explicó el movimiento de los cuerpos en caída libre, sino el de cualquier otro tipo de movimiento y determino que conocidas las fuerzas aplicadas sobre cualquier cuerpo podríamos describir exactamente su movimiento.

Comprobó que aplicadas sobre un mismo cuerpo distintas fuerzas se obtenían distintas aceleraciones, pero el cociente entre la resultante de las fuerzas aplicadas y las aceleraciones respectivas obtenidas siempre era el mismo:

$$\frac{R_1}{a_1} = \frac{R_2}{a_2} = \frac{R_3}{a_3} = \ldots = \text{cte} = m$$

y llamó masa - m - a esa constante. De modo que, cuando sobre un cuerpo de masa m están aplicadas varias fuerzas, podemos expresar que **la resultante del sistema de fuerzas es igual al producto de la masa del cuerpo por la aceleración que éste adquiere.**

$$\boxed{\vec{R} = \sum \vec{F} = m \cdot \vec{a}}$$

Esta es una ecuación vectorial, dado que la aceleración y la fuerza resultante son vectores de modo que nos dice el módulo o intensidad, pero también determina que **la aceleración tendrá la misma dirección y sentido que la resultante del sistema de fuerzas aplicado.**

El principio de Acción y Reacción

En el tercer principio o **principio de interacción**, entendió que el concepto de fuerza establecía una interacción del cuerpo con el medio ambiente que lo rodea. Las fuerzas que actúan sobre un cuerpo provienen de otros cuerpos que constituyen su medio ambiente. Una fuerza es un aspecto de la interacción mutua entre dos objetos. Esta propiedad de las fuerzas fue establecida por Newton en su tercera ley del movimiento:

A toda acción se opone una reacción igual y contraria, o en otras palabras, las acciones mutuas entre dos cuerpos son siempre iguales y dirigidas en sentidos contrarios.

Newton descubrió que cualquier hecho que implique la aplicación de una fuerza establece una interacción recíproca entre el cuerpo que ejerce la fuerza y el que la recibe, de modo que en la naturaleza las fuerzas se presentan siempre de a pares, una de las fuerzas corresponde a la **acción** y la otra a la "respuesta" o **reacción**.

Si nos colocamos cerca de una pared y la empujamos, vemos que la pared también nos empuja. Si estuviésemos parados sobre patines podríamos impulsarnos empujando la pared con lo que recibiríamos la reacción de la misma sobre nuestras manos y saldríamos despedidos. Al saltar en forma vertical ejercemos una fuerza sobre el piso hacia abajo y el piso responde aplicando una fuerza sobre nosotros hacia arriba. Lo mismo obviamente ocurre cuando estamos de pie. Cuando remamos empujamos con nuestros remos el agua hacia atrás, ésta responde ejerciendo una reacción hacia delante que nos hace avanzar. Al caminar nuestros pies empujan el piso hacia atrás recibiendo entonces una reacción hacia delante, de no existir la fuerza de fricción nos resultaría imposible caminar ya que el piso no podría impulsarnos hacia adelante (si dudás intentá correr sobre hielo).

Todos estos ejemplos ponen de manifiesto que las fuerzas son interacciones mutuas, o sea actúan en parejas, de igual intensidad, igual dirección y de sentido contrario. Una de ellas sobre uno de los cuerpos y la otra en el que interacciona con él.

EL PESO DE LOS CUERPOS

Newton descubrió que si dejamos dos masas cualesquiera (no necesariamente planetas) alejadas de toda otra interacción, éstas se atraen con una fuerza, llamada **fuerza gravitatoria**, que es directamente proporcional al producto de sus masas, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa (ésta es la llamada *Ley de Gravitación Universal*). Es decir que siempre dos masas quieran o no, se atraen.

Esta fuerza, en general, es muy pequeña, y el mínimo rozamiento hace que no la notemos. ¿Acaso sentís la atracción que provoca este apunte sobre vos? Pero como la fuerza gravitatoria es proporcional a las masas, cuando la masa de alguno de los cuerpos involucrados es muy grande, o la de las dos, podemos apreciarla. Por ejemplo, esta fuerza gravitatoria es la responsable del movimiento de los planetas alrededor del Sol y de las lunas alrededor de los planetas.

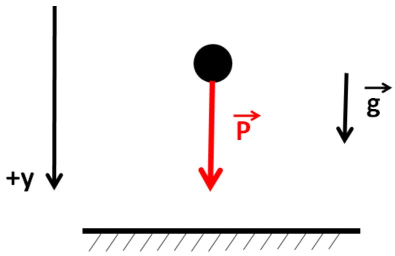
También por esta maravillosa ley se explica la popular fuerza **peso**. El peso de algo es producido por la atracción que sobre los cuerpos ejercen las masas planetarias. Por ejemplo, nuestro peso es el producto de la interacción de la masa de cada uno con la masa terrestre, si estuviésemos en la Luna, nuestro peso sería aproximadamente seis veces menor, porque la masa de la Luna es distinta de la de la Tierra, y es nulo si estamos flotando en el espacio lejos de la influencia de los astros.

Es curioso interpretar la tercera ley del movimiento en este caso. Cuando soltamos una piedra, ésta se acelera hacia abajo debido a la fuerza gravitatoria (al peso) que la Tierra le ejerce. Por lo tanto, **la Tierra siente una fuerza igual y de sentido contrario debido al cuerpo** ($F_{\text{cuerpo-Tierra}}$), que provoca que la Tierra se acelere para arriba! Esto es verdad, pero ocurre que la aceleración de la Tierra debida a su interacción con el cuerpo es imperceptible para ser detectada, porque a pesar de que las dos fuerzas son iguales, la masa de la Tierra es tan grande que casi no se acelera.

Como las fuerzas gravitatorias dependen inversamente del cuadrado de la distancia (medida desde el centro del cuerpo al centro de la Tierra), cuanto más alto estamos respecto de la superficie terrestre, menor es nuestro Peso. Pero podemos suponer al peso constante si los objetos están próximos a la superficie de la Tierra, debido a que el valor del radio terrestre es mucho mayor que la distancia a la que se encuentran estos objetos de la superficie terrestre, como ocurre en todos los ejemplos que veremos.

¿Cómo calcular el valor del peso de un cuerpo de masa m que se encuentra cerca de la superficie terrestre? Si aplicamos las Leyes de Newton a este cuerpo que es soltado desde una altura, despreciando la resistencia del aire sabemos que todos los cuerpos en caída libre tienen la misma aceleración de la gravedad (g

=10 m/s²). De modo que si la única fuerza que actúa sobre el mismo es la atracción gravitatoria (o peso), de la segunda Ley de Newton obtenemos:



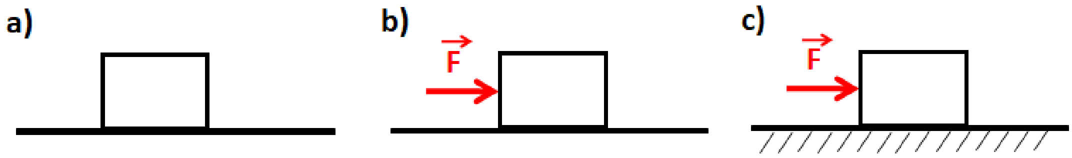
$$\sum F = m \cdot a \longrightarrow \boxed{P = m \cdot g}$$

De modo que el peso de cualquier cuerpo es el producto de su masa por la aceleración de la gravedad.

Unidades de fuerza

Existen diversos sistemas de unidades para los cuales están definidas distintas unidades de fuerzas. En el SI (sistema internacional de medidas), la unidad de fuerza es el Newton (N). Alternativamente, podemos usar el kilogramo fuerza (kgf), cuya equivalencia con el Newton es 1kgf = 10 N

Ejemplo 1: La figura muestra un cuerpo de 2 kg de masa sobre una superficie horizontal. Determinar en cada uno de los siguientes casos las fuerzas que están aplicadas y la aceleración que estas le provocan al cuerpo:



a) El cuerpo permanece en reposo.

b) Se le aplica una fuerza horizontal de 8 N y se desprecia el roce.

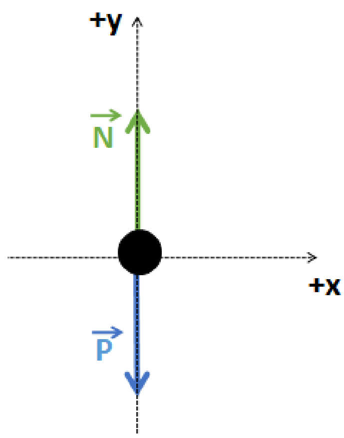
c) Además de la fuerza de 8 N existe una fuerza de roce de 6 N.

NOTA: Para resolver un problema de Dinámica, es preciso realizar un Diagrama de Cuerpo Libre (DCL). Consiste en aislar al cuerpo (objeto de estudio), idealizarlo como un cuerpo puntual, dibujar todas las fuerzas que actúa sobre él (ojo! No las fuerzas que el cuerpo ejecuta sobre los demás!). Además debe figurar el sistema de referencia x-y que se decide emplear.

a) Si el cuerpo está en reposo su aceleración es cero. En este caso sabemos que la fuerza neta sobre el mismo es nula. Esto implica que o bien no actúa ninguna fuerza sobre el mismo o actúan varias pero se cancelan. Sabemos que actúan el peso de cuerpo, dirigido hacia abajo y que tendrá un valor de

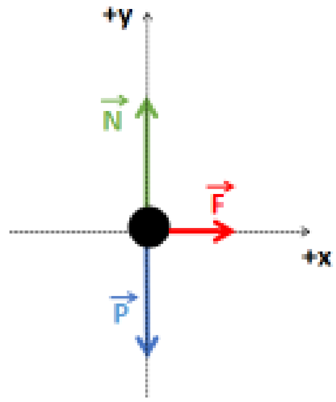
$$P = m.g = 2 \text{ kg. } 10 \text{ m/s}^2 = 20 \text{ N}$$

¿Cuál es la fuerza que cancela a esta? Es obvio que debe existir otra ya que si sólo actuase el peso el cuerpo se aceleraría hacia abajo. ¿Con qué cuerpo/s interactúa nuestro cuerpo? Con el piso, ya que este lo está sosteniendo, de manera que ejerce sobre el cuerpo una fuerza de dirección normal (perpendicular) a la superficie ($F_{piso\text{-}cuerpo}$)) que a menudo es llamada normal (N). Confeccionemos el DCL:



En este caso el módulo de N es igual al de la fuerza peso, o sea 20 N.

b) Al aplicarle al cuerpo la fuerza de 8 N el diagrama de fuerzas será el que muestra la figura b) en donde a las fuerzas del caso anterior debemos agregarle esta nueva acción.



Apliquemos lo aprendido respecto de la fuerza resultante y la 2da Ley de Newton:

$$\boxed{\vec{R} = \sum \vec{F} = m \cdot \vec{a}} \begin{cases} \boxed{R_x = \sum F_x = m \cdot a_x} \\ \boxed{R_y = \sum F_y = m \cdot a_y} \end{cases}$$

En nuestro caso quedará:

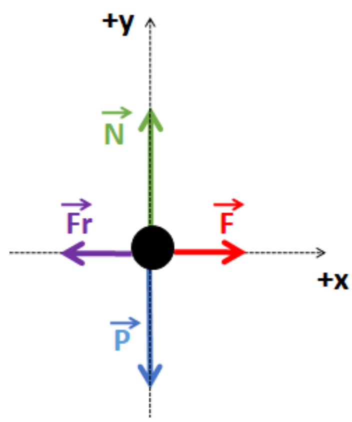
Eje x) $F = m \, .a_x$ Eje y) $N - P = m \, .a_y$

Como las fuerzas verticales se cancelan (pues el cuerpo ni se hunde ni flota), $a_y = 0$, y por lo tanto $N = P$

En cambio, en la ecuación del eje x, la aceleración en x (que llamaremos simplemente "a") es distinta de 0, pues la resultante es distinta de 0. De modo que el cuerpo se acelerará en el sentido de F con un valor:

$$8\,N = 2\,kg \cdot a \Rightarrow a = 4\frac{m}{s^2}$$

c) Finalmente si le agregamos la fuerza de roce el sistema de fuerzas queda como se lo muestra en la figura c) en donde también se cancelan las fuerzas de dirección vertical, debemos incluirla en el DCL:



En este caso, las **ecuaciones de Newton** quedan (recuerde que el cuerpo no se hunde ni flota, por lo tanto $a_y = 0$):

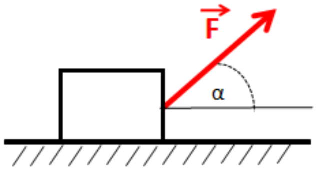
x) $F - Fr = m \, . \, a$ y) $N - P = 0$

De la ecuación en x puede despejarse la aceleración:

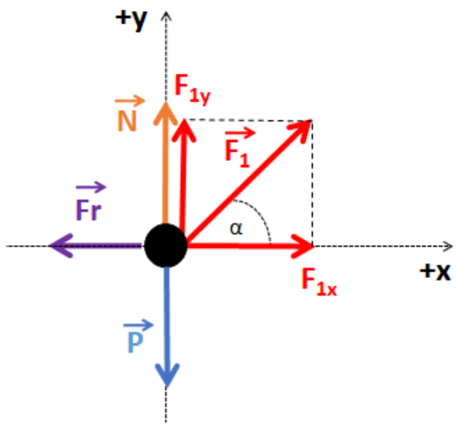
$$8\,N - 6\,N = 2\,kg \cdot a \Rightarrow a = 1\frac{m}{s^2}$$

Nota: la fuerza de rozamiento aparece cuando hay dos cuerpos que "rozan". Su dirección es paralela a las superficies en contacto, y su sentido es **opuesto al deslizamiento** (no siempre al movimiento).

Ejemplo 2: La figura muestra la acción de una fuerza de 500 N actuando con un ángulo de 53º sobre un cuerpo de 80 kg apoyado sobre una superficie horizontal que ofrece una fricción al desplazamiento constante de 100 N. Determinar el valor de su aceleración.



Confeccionemos el DCL del cuerpo:



En él puede observarse que se ha elegido un eje x paralelo a la trayectoria (positivo hacia la derecha), y un eje y positivo hacia arriba. Al dibujar las fuerzas, observamos que debemos descomponer F_1 para armar las ecuaciones de Newton. Entonces:

En el eje x: $F_{1x} - Fr = m\,.a$ En el eje y: $N + F_{1y} - P = 0$

Siguiendo con la ecuación en x, obtenemos la aceleración:

$$500\,\mathrm{N} \cdot \cos 53° - 100\,\mathrm{N} = 80\,\mathrm{kg} \cdot a \Rightarrow a = 2{,}5\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$$