



Ministerio de Cultura y Educación
Universidad Nacional de San Luis
Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias
Departamento: Ciencias Básicas
Área: Física

CARRERA: TÉCNICO UNIVERSITARIO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Año 2015

Unidad 3

Dinámica de la partícula

Introducción:

Definición: Es la parte de la *mecánica* que estudia el movimiento de los cuerpos y cuáles son las causas lo generan. Por ejemplo, cómo puede un remolcador empujar un trasatlántico que es mucho más pesado que él? .Porque es más difícil controlar un automóvil en hielo mojado que en concreto seco? Las respuestas a estas preguntas y a otras similares nos llevan al tema de la **dinámica**, es decir, la *relación entre el movimiento y las fuerzas que lo causan*.

En esta unidad vamos a seguir usando los conceptos de **fuerza** y **masa**, para analizar los principios de la dinámica, los cuales están establecidos en solo tres leyes que fueron claramente enunciadas por Sir Isaac Newton (1642-1727), quien las publicó, por primera vez, en 1687 en su *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* ("Principios matemáticos de la filosofía natural"). Tales enunciados se conocen como leyes del movimiento de Newton.

La **primera ley** dice que si la fuerza neta sobre un cuerpo es cero, su movimiento no cambia. La **segunda ley** relaciona la fuerza con la aceleración cuando la fuerza neta no es cero. La **tercera ley** es una relación entre las fuerzas que ejercen dos cuerpos que interactúan entre sí.

Las leyes de Newton no son producto de deducciones matemáticas, sino una síntesis que los físicos han descubierto al realizar un sinnúmero de experimentos con cuerpos en movimiento. (*Newton usó las ideas y las observaciones que muchos científicos hicieron antes que él, como Copérnico, Brahe, Kepler y especialmente Galileo Galilei, quien murió el mismo año en que nació Newton.*) Dichas leyes son verdaderamente fundamentales porque no pueden deducirse ni demostrarse a partir de otros principios. **Las leyes de Newton son la base de la mecánica clásica** (también llamada mecánica newtoniana); al usarlas seremos capaces de comprender los tipos de movimiento más conocidos. El planteamiento de las leyes de Newton es sencillo, pero muchos estudiantes las encuentran difíciles de comprender y manejar. La razón es que, antes de estudiar física, hemos pasado años caminando, lanzando pelotas, empujando cajas y haciendo muchas otras cosas que implican movimiento. Al hacerlo, hemos desarrollado ciertas ideas de "sentido común" con respecto al movimiento y sus

causas. Sin embargo, muchas de esas ideas no resisten un análisis lógico. Una buena parte de la tarea de este capítulo —y del resto de nuestro estudio— es ayudarnos a reconocer cuando las ideas de “sentido común” nos llevan al error, y como ajustar nuestro entendimiento del mundo físico de modo que sea congruente con lo que nos dicen los experimentos.

3-1: Concepto de fuerza. Primera ley de Newton. Principio de inercia.

Fuerza: Intuitivamente, experimentamos una fuerza como cualquier empuje sobre un objeto. Cuando usted empuja un carrito de supermercado (figura 1), está ejerciendo una fuerza sobre él. Cuando un motor levanta un ascensor, cuando un martillo golpea un clavo, o cuando el viento sopla sobre las hojas de un árbol, se está ejerciendo una fuerza.

Por lo general llamamos a éstas fuerzas **de contacto**, porque la fuerza se ejerce cuando un objeto entra en contacto con otro. Por otro lado, decimos que un objeto cae debido a la fuerza de la gravedad.



FIGURA 1 Una fuerza ejercida sobre un carrito de supermercado, en este caso ejercida por una persona.

Si un objeto está en reposo, para empezar a moverlo se requiere una fuerza, es decir, para acelerarlo desde una velocidad cero hasta una velocidad diferente de cero. Para el caso de un objeto que ya está en movimiento, si se quiere cambiar su velocidad, ya sea en dirección o en magnitud, se requiere también aplicar una fuerza. **En otras palabras, para acelerar un objeto se requiere siempre una fuerza.** También analizaremos la relación precisa entre aceleración y fuerza neta, que se conoce como la **segunda ley de Newton**.

Una forma de medir la magnitud (o intensidad) de una fuerza consiste en utilizar una báscula de resorte, o dinamómetro (figura 2). Normalmente, dicha báscula se usa para determinar el



Fig. 2

peso de un objeto; **por Peso queremos decir la fuerza de gravedad que actúa sobre el objeto.** La báscula de resorte, una vez calibrada, se puede usar también para medir otros tipos de fuerzas. Si una fuerza se ejerce en una dirección diferente tendrá un efecto distinto.

Primera ley de Newton

Hemos visto algunas propiedades de las fuerzas, pero no hemos dicho como afectan el movimiento. Consideremos que sucede cuando la fuerza neta sobre un cuerpo **es cero**. Si un cuerpo está en reposo

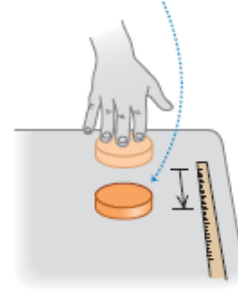
y ninguna fuerza neta actúa sobre el (es decir, no hay empujón ni tirón netos), el cuerpo permanecerá en reposo. Pero, qué sucedería si la fuerza neta es cero y actúa sobre un cuerpo *en movimiento*? ¿Cuál es la relación entre fuerza y movimiento? Veamos un ejemplo para aclarar este tema:

Suponga que usted desliza un disco de hockey sobre una mesa horizontal, aplicándole una fuerza horizontal con la mano (figura 3 a). Cuando usted deja de empujar, el disco no sigue moviéndose indefinidamente; se frena y se detiene. Para mantenerlo en movimiento, hay que seguirlo empujando

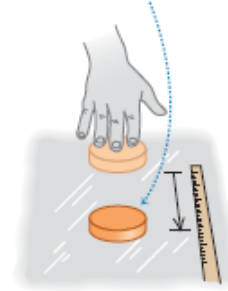
(Es decir, aplicando una fuerza). Podríamos llegar a la conclusión de “sentido común” de que los cuerpos en movimiento naturalmente se detienen y que se necesita una fuerza para mantener el movimiento. Imagine ahora que usted empuja el disco en una superficie lisa de hielo (figura 3b). Al dejar de empujar, el disco se desliza mucho más lejos antes de detenerse. Ponga el disco y empújelo en una mesa de hockey de aire, donde flota sobre un delgado “colchón” de aire, y llegará aún más lejos (figura 3 c). En cada caso, lo que frena el disco es la **fricción**, una interacción entre la superficie inferior del disco y la superficie sobre la que se desliza. Cada superficie

ejerce una fuerza de fricción sobre el disco, la cual reduce su movimiento; la diferencia entre los tres casos es la magnitud de la fuerza de fricción. El hielo ejerce menos fricción que la superficie de la mesa, y el disco viaja más lejos. Las moléculas de gas de la mesa de hockey de aire son *las que menos fricción ejercen*. “Si pudiéramos eliminar totalmente la fricción, el disco nunca se frenaría y no necesitaríamos fuerza alguna para mantener el disco en movimiento, una vez que empieza a hacerlo”. Así, la idea de “sentido común” de que se requiere una fuerza para conservar el movimiento es incorrecta. **Experimentos como el que describimos demuestran que, si ninguna fuerza neta actúa sobre un cuerpo, este permanece en reposo, o bien, se mueve con velocidad constante en línea recta.** Una vez que un cuerpo se pone en movimiento, no se necesita una fuerza neta para mantenerlo en movimiento; a tal observación la conocemos como **Primera Ley del Movimiento de Newton**:

a) Mesa: el disco se detiene pronto.



b) Hielo: el disco se desliza más lejos.



c) Mesa de hockey de aire: el disco se desliza aún más lejos.

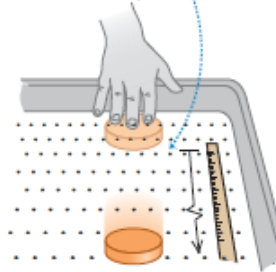


Fig 3

Primera ley del movimiento de Newton: un cuerpo sobre el que no actúa una fuerza neta se mueve con velocidad constante (que puede ser cero) y aceleración cero.

La tendencia de un objeto a mantener su estado de reposo o de velocidad uniforme en línea recta se llama inercia. Por ello, la **primera ley de Newton** suele llamarse también **ley de la inercia**

Otra forma de enunciar este principio inercial es “Todo cuerpo conserva su estado de reposo o movimiento rectilíneo uniforme cuando la resultante de todas las fuerzas aplicadas sobre él es nula”.

Cuando un cuerpo está en reposo o se mueve con velocidad constante (en línea recta con rapidez constante), decimos que el cuerpo está en **equilibrio**.

Esta es la Primera ley de Newton y en formula la podemos expresar de la siguiente manera:

$$\vec{F}_1 + F_2 + F_3 + F_4 + \cdots + F_n = 0 \quad \text{Ecuación 1}$$

o

$$\sum f = 0$$

En función de sus componentes:

$$\sum f_x = 0 \quad \text{Ecuación 2}$$

$$\sum f_y = 0 \quad \text{Ecuación 3}$$

Ejemplo Conceptual 1: Primera ley de Newton. Un autobús escolar frena bruscamente y todas las mochilas en el piso comienzan a deslizarse hacia adelante. ¿Qué fuerza provoca este deslizamiento?

Respuesta No es una “fuerza” lo que lo hace. De acuerdo con la primera ley de Newton, las mochilas continúan su estado de movimiento conservando su velocidad. Las mochilas desaceleran cuando se les aplica una fuerza, como lo es la fricción con el piso.

3-2: Segunda ley de Newton. Peso y masa. Sistema de unidades. Sistema internacional.

Masa y Peso

La segunda ley de Newton, que estudiaremos a continuación, implica el concepto de **masa**. Newton usó el término **masa** como sinónimo de cantidad de materia. Esta noción intuitiva de la masa de un objeto no es muy precisa porque el concepto “cantidad de materia” no está muy bien definido. Con mayor precisión, podemos decir que la masa es una medida de la inercia de un objeto. *Cuanto mayor sea la masa de un cuerpo, tanto mayor será la fuerza necesaria para darle una aceleración específica.* A mayor masa, es más difícil empezar a mover un cuerpo desde el reposo, o detenerlo si ya se está moviendo, o cambiar su velocidad lateralmente a partir de una trayectoria en línea recta.

Un camión tiene mucho más inercia que una pelota de béisbol que se mueve con la misma rapidez y se requiere una fuerza mucho mayor para cambiar la velocidad del camión a la misma razón que la de la pelota. Por lo tanto, decimos que el camión tiene una masa mucho mayor.

Para cuantificar el concepto de masa, debemos definir un estándar. En unidades del SI, la unidad de masa es el **kilogramo (kg)**. Los términos masa y peso a menudo se confunden entre sí, sin embargo, en física es importante distinguir uno del otro. **La masa** es una propiedad del objeto mismo, es decir, es una medida de la inercia del cuerpo o de su *“cantidad de materia”*. Por otro lado, **el peso** es una *fuerza*, es decir, la de la gravedad que actúa sobre un objeto. Para entender la diferencia, supongamos que llevamos un objeto a la Luna. El objeto pesará aproximadamente sólo un sexto de lo que pesa en la Tierra, ya que la fuerza de la gravedad es más débil en la Luna; sin embargo, su masa será la misma. Tendrá la misma cantidad de materia que en la Tierra y justo la misma inercia; pues si no hay fricción, sería igualmente difícil comenzar a moverlo en la Tierra o en la Luna, o detenerlo una vez que se esté moviendo.

Para entender la relación entre masa y peso, note que un cuerpo en caída libre tiene una aceleración igual a g y, por la segunda ley de Newton, una fuerza debe producir esa aceleración. Si un cuerpo de 1 kg de masa cae con una aceleración de $9,8 \frac{m}{s^2}$ la fuerza requerida tiene la magnitud:

$$\bar{F} = m\bar{a} = 1Kg \times 9,8 \frac{m}{s^2} = 9,8 kg \cdot \frac{m}{s^2} = 9,8N$$

La fuerza que hace que el cuerpo se acelere hacia abajo es su peso. Cualquier cuerpo con masa de 1 kg, cercano a la superficie de la Tierra, debe tener un peso de 9.8 N para sufrir la aceleración que observamos en la caída libre. En términos más generales, un cuerpo de masa m debe tener un peso de magnitud $\bar{P}$ dada por: $\bar{P} = m \cdot \bar{g}$. Como se puede observar P es una cantidad vectorial.

Análisis dimensional

	Masa	Aceleración	Fuerza
MKS	1 KG	$\frac{m}{s^2}$	$N = \frac{Kg \cdot m}{s^2}$
CGS	1gr	$\frac{cm}{s^2}$	$Dina = \frac{g \cdot cm}{s^2}$

Al tratar la primera ley de Newton, vimos que cuando ninguna fuerza, o una fuerza neta cero, actúa sobre un cuerpo, este se mueve con aceleración cero y su velocidad es constante. Sin embargo, que

sucede si la fuerza neta *no* es cero? De acuerdo a nuestra experiencia el cuerpo que estaba en reposo adquiere un movimiento, luego habrá una aceleración $\bar{a}$ que depende de la fuerza aplicada además de una propiedad del cuerpo que llamaremos inercia del cuerpo o masa del cuerpo.

Ejemplo 2: Supongamos tener el kg patrón, el mismo que se conserva en el departamento de pesos y medidas, que tiene exactamente 1 kg de masa, apoyado sobre una superficie sin rozamiento. Si sobre él se aplica una fuerza mediante un resorte que produzca una aceleración de $1 \frac{m}{s^2}$ entonces afirmo

que sobre el cuerpo aplique una fuerza de 1 Newton. Pero se observó que si en lugar de aplicar una fuerza de 1 Newton a 1 Kg de masa le aplicamos la misma fuerza a 2 Kg de masa, medimos la aceleración resultante y esta será de $0,5 \frac{m}{s^2}$ es decir disminuye a la mitad y si colocamos 3 kg la aceleración se reduce a la tercera parte entonces podemos definir que:

$$a \propto \frac{F}{m} \quad \text{Ecuación 4}$$

De la expresión anterior podemos resumir:

$$\bar{F} = m\bar{a} \quad \text{Ecuación 5}$$

Segunda ley del movimiento de Newton: si una fuerza externa neta actúa sobre un cuerpo, éste se acelera. La dirección de aceleración es la misma que la dirección de la fuerza neta. El vector de fuerza neta es igual a la masa del cuerpo multiplicada por su aceleración

$$\Sigma \bar{F} = m\bar{a} \quad \text{Ecuación 6}$$

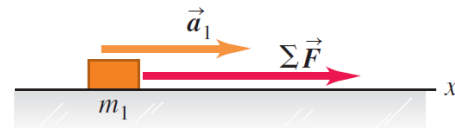
Un enunciado alternativo establece que la aceleración de un cuerpo es la misma dirección que la fuerza neta que actúa sobre él, y es igual a la fuerza neta dividida entre la masa del cuerpo:

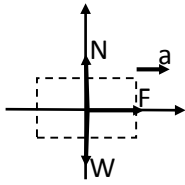
$$\bar{a} = \frac{\Sigma \bar{F}}{m} \quad \text{Ecuación 7}$$

Ejemplo 3: Un cuerpo cuya masa es de 15Kg se encuentra inicialmente en reposo sobre un plano horizontal sin rozamiento y se aplica una fuerza horizontal de 30N. Calcular:

- que aceleración le imprimirá
- que distancia recorrerá en 10s
- cuál es la velocidad al cabo de 10s

a) Una fuerza $\Sigma \vec{F}$ conocida provoca que un objeto con masa m_1 tenga una aceleración $\vec{a}_1$.





$$F = m \cdot a \Rightarrow a = \frac{F}{m} = \frac{30\text{N}}{15\text{Kg}} \Rightarrow a = 2\text{m/s}^2$$

$$b) x = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = \frac{1}{2} \cdot 2\text{m/s}^2 \cdot 10^2\text{s}^2 \Rightarrow x = 100\text{m}$$

$$c) v_f = v_0 + a \cdot t = 2\text{m/s}^2 \cdot 10\text{s} \Rightarrow v_f = 20\text{m/s}$$

Ejemplo 4: Fuerza para detener un automóvil. ¿Qué fuerza neta promedio se requiere para llevar un automóvil de 1500 kg al reposo, desde una rapidez de 100 km/h en una distancia de 55 m?

Planteo: Usamos la segunda ley de Newton $\sum \vec{F} = m\vec{a}$ para calcular la fuerza; pero primero debemos determinar la aceleración a . Suponemos que la aceleración es constante, de manera que podemos usar las ecuaciones cinemáticas para calcularla

Solución: Suponemos que el movimiento es a lo largo del eje $+x$ (figura 5).

Los datos son:

$$v_0 = 100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

$$x_0 = 0$$

$$v_f = 0 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

$$x_f = 55\text{m}$$



Fig 5

Las incógnitas son:

$$a=? \text{ y } F=?$$

$$\text{Además por cinemática sabemos que: } v_f^2 = v_0^2 + 2a(x_f - x_0)$$

$$\text{Despejamos aceleración: } a = \frac{v_f^2 - v_0^2}{2(x_f - x_0)}$$

$$a = \frac{0 - \left(27,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2(55\text{m})} = -7,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

De Ecuación 6:

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

$$\text{La fuerza neta requerida es: } \sum \vec{F} = m\vec{a} = 1500\text{Kg} \cdot \left(-7,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) = -1.1 \times 10^4\text{N}$$

La fuerza debe ejercerse en sentido opuesto al de la velocidad inicial, que es lo que significa el signo negativo.