
Etapa Teórica 4

Movimiento, Elasticidad y Fuerza

Versión del día viernes 11 de agosto de 2017 a las 01:52

Objetivos

- Justificar la necesidad de introducir un marco de referencia y un sistema de coordenadas para describir el movimiento de los cuerpos.
- Describir investigaciones científicas clásicas asociadas al concepto de relatividad del movimiento, valorando el desarrollo histórico de conceptos y teorías.
- Caracterizar la Ley de Hooke, los mecanismos y leyes físicas que permiten medir fuerzas empleando las propiedades elásticas de determinados materiales.
- Distinguir entre Ley, Hipótesis y Teoría en el contexto de las investigaciones que condujeron a la formulación de la Ley de Elasticidad de Hooke.

Contenidos:

4.1 Descripción del movimiento

- *Sistemas de coordenadas en 2–D: cartesianas, polares.*
- *Conceptos para describir el movimiento: tiempo, trayectoria, distancia, desplazamiento, rapidez, velocidad.*
- *Movimiento Rectilíneo Uniforme y algunos ejemplos.*
- *Sistemas de referencia: en reposo, uniformes, acelerados, inerciales.*
- *Principio de Relatividad Galileana. Tiempo absoluto.*
- *Relatividad del movimiento en relación con la velocidad.*
- *Transformación Galileana entre sistemas de referencia.*
- *Relatividad del movimiento en relación con la forma de la trayectoria.*

4.2 Elasticidad y Fuerza

- *Fuerzas como causa del cambio en el movimiento de un objeto.*
- *Formas en las que un objeto puede moverse.*
- *Fuerzas como causa de la deformación de los objetos.*
- *Tipos de objeto según cómo se deforman.*
- *Fuerza Elástica y Ley de Hooke.*
- *La Ley de Hooke y su rango de validez.*
- *El dinamómetro como instrumento para medir fuerzas.*

Esta Unidad contempla dos aprendizajes fundamentales: uno relacionado con la Relatividad del Movimiento y el otro con una forma de medir las fuerzas.

En el primer aprendizaje se espera que comprendan los aspectos esenciales sobre los conceptos de *sistema de referencia* y *sistema de coordenadas*, reconociendo tanto las diferencias entre ellos como la diversa utilidad que presentan y que un mismo movimiento pue-

de tener descripciones muy diferentes desde distintos sistemas de referencia.

En el segundo aprendizaje se espera que comprendan los aspectos esenciales de la Ley de Hooke y su utilidad para medir fuerzas en situaciones estáticas, así como para graduar y emplear un dinamómetro. Se espera, además, que continúen desarrollando sus habilidades de pensamiento científico en torno a los conceptos de la Unidad.

4.1. Descripción del Movimiento

4.1.1. Sistemas de Coordenadas

En el Curso de Historia y Ciencias Sociales ya deben haber visto que para poder ubicar cualquier lugar sobre la superficie de la Tierra, utilizamos las *coordenadas geográficas*: *latitud* y *longitud*.

La *latitud* corresponde al ángulo formado por dos líneas que unen el centro de la Tierra con el lugar respectivo y con la Línea del Ecuador. La latitud se dice Norte (N) o Sur (S) dependiendo de si el lugar se ubica al Norte o Sur de la Línea del Ecuador. Esta línea divide la Tierra en dos mitades o *hemisferios*. Cada hemisferio se divide mediante 90 líneas horizontales, llamadas *paralelos*.

Existen cinco paralelos notables que corresponden a una posición de la Tierra en su órbita alrededor del Sol y que, por ello, reciben un nombre particular:

- Círculo Polar Ártico (latitud $66,5^\circ$ N).
- Trópico de Cáncer (latitud $23,5^\circ$ N). Es el paralelo más al Norte en el cual el Sol está exactamente arriba. Esto ocurre en el Solsticio de Junio.
- Ecuador (latitud 0°): es la línea imaginaria horizontal que divide la Tierra en dos hemisferios. En el Ecuador el Sol se ubica exactamente arriba en el Equinoccio de Marzo y de Septiembre.
- Trópico de Capricornio (latitud $23,5^\circ$ S). Es el paralelo más al Sur en el cual el Sol se ubica exactamente arriba. Esto ocurre en el Solsticio de Diciembre.
- Círculo Polar Antártico (latitud $66,5^\circ$ S).

La *longitud* corresponde al ángulo formado por dos líneas: una que une el centro de la Tierra con el lugar respectivo y la otra es el *eje terrestre*. Se asume como longitud 0° una línea que pasa exactamente sobre el Observatorio Greenwich, ubicado cerca de Londres, y que une los polos Norte y Sur. La prolongación de esta línea por el lado opuesto de la Tierra se

asume como longitud 180° , con lo que se divide a la Tierra en dos hemisferios: Este y Oeste. Cada uno de los hemisferios se divide mediante 180 líneas verticales que unen ambos polos, llamadas *meridianos*, ubicadas exactamente a 111 km de distancia una de otra en el Ecuador.

Gracias a estas dos coordenadas geográficas, podemos ubicar cualquier lugar sobre la superficie terrestre. Por ejemplo, la ciudad de Arica se encuentra en las coordenadas ($(18,48^\circ$ S), $(70,31^\circ$ O)); la Plaza de Armas de Santiago se ubica en las coordenadas ($(33,44^\circ$ S), $(70,65^\circ$ O)) y la ciudad de Puerto Williams se ubica en las coordenadas ($(54,93^\circ$ S), $(67,62^\circ$ O)).

En forma análoga y en situaciones mucho más cercanas, podemos determinar la ubicación de un objeto cualquiera. Pero para ello, necesitamos tener algún punto desde el cual partir las mediciones, punto al que denominaremos *origen*. A continuación, ya se puede empezar a medir mediante algún parámetro, con lo cual ya estamos usando un *Sistema de Coordenadas*.

Para comprender mejor lo anterior, veremos dos Sistemas de Coordenadas utilizados hoy en día: el Sistema Cartesiano y el Sistema Polar.

1. Sistema de Coordenadas Cartesianas: es el caso más sencillo de sistema de coordenadas y es incorrectamente llamado *Plano Cartesiano*.

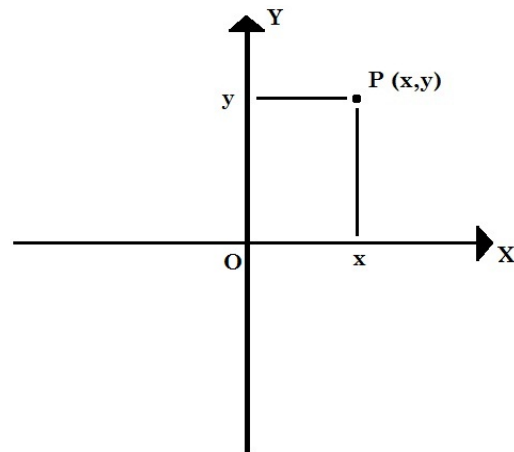


Figura 4.1: El Sistema Cartesiano en 2-D.

Nos permite ubicar un punto dentro de un espacio de dos dimensiones (2-D); es decir, dentro de un **plano**. Como vemos en la Figura 4.1, está formado por dos rectas perpendiculares entre sí (los **ejes coordenados**), que se intersectan en el punto O (el **origen** del sistema). Podemos representar la ubicación de una partícula en el plano mediante el punto P , que se define con dos números o **coordenadas**, una para cada eje. Luego, a la representación (x, y) se le denomina **par ordenado**. A esta forma de representar la ubicación de la partícula la denominamos **posición** de la partícula con respecto al origen del Sistema Cartesiano, y se escribe como $P(x, y)$.

2. Sistema de Coordenadas polares: también nos permite ubicar un punto dentro de un espacio de dos dimensiones (2-D); es decir, dentro de un **plano**. Como vemos en la Figura 4.2, está formado por una recta (que **es el mismo eje X** del Sistema Cartesiano) y por un punto O (el **origen** del sistema). Podemos representar la ubicación de una partícula en el plano mediante el punto P , que se define con dos números o **coordenadas**: el **radio vector** (r), que corresponde a la distancia entre el punto P y el origen O , y la **anomalía**, que corresponde al ángulo desde el eje X hasta el punto P . Luego, a la representación (r, θ) se le denomina **par ordenado**. A esta forma de representar la ubicación de la partícula la denominamos **posición** de la partícula con respecto al origen del Sistema Polar, y se escribe como $P(r, \theta)$.

Ambos sistemas se pueden conectar entre sí mediante **transformaciones de coordenadas** con ayuda de la Figura 4.3:

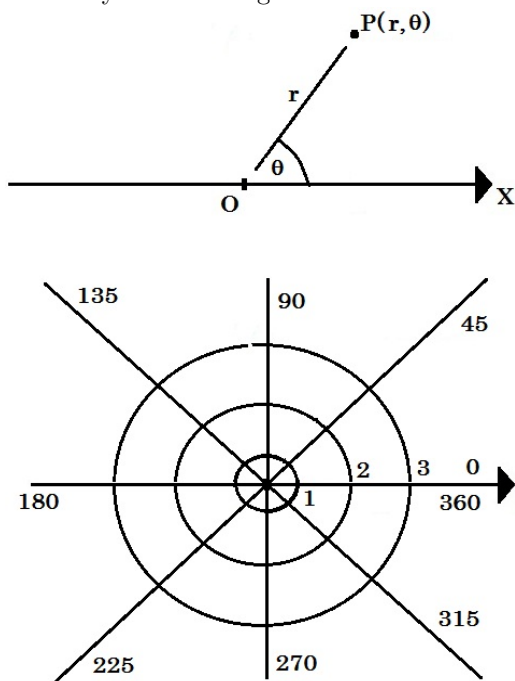


Figura 4.2: El Sistema Polar en 2-D.

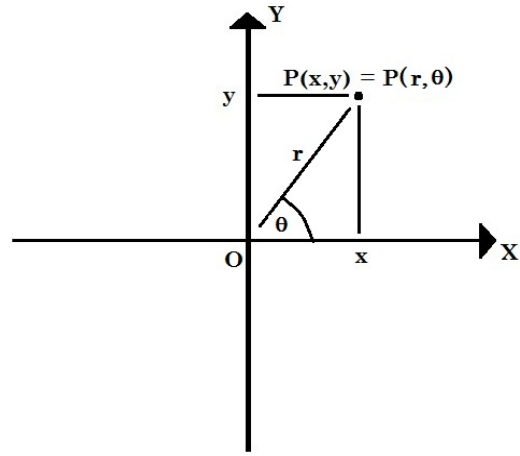


Figura 4.3: Transformación de coordenadas.

- De Cartesianas a Polares:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (4.1)$$

$$\theta = \text{Arctan}(y/x) \quad (4.2)$$

- De Polares a Cartesianas:

$$x = r \cos \theta \quad (4.3)$$

$$y = r \sin \theta \quad (4.4)$$

4.1.2. Conceptos para el Movimiento

El **tiempo** es la magnitud física con la que medimos la duración o separación de acontecimientos sujetos a cambio, de los sistemas sujetos a observación; esto es, el período que transcurre entre el estado del sistema cuando éste aparentaba un estado X y el instante en el que X registra una variación perceptible para un observador (o aparato de medida). Es la magnitud que permite ordenar los sucesos en secuencias, estableciendo un pasado, un presente y un futuro. **El tiempo no ha podido ser observado como una entidad física**; es decir, no existe prueba alguna obtenida de algún experimento realizado solamente con el propósito de detectarlo físicamente. Las variadas opiniones encontradas en las diferentes teorías que asumen un tiempo absoluto o un tiempo relativo, son ideas basadas en pensamientos filosóficos. En lo que respecta a la Ciencia, el tiempo como magnitud física, seguirá siendo un concepto abstracto y primitivo, como lo son la **longitud**, la **masa** y la **temperatura**. Su unidad básica en el Sistema Internacional (SI) es el **segundo** (s). En general, al tiempo lo simbolizaremos con la letra t .

Al hablar de los distintos sistemas de coordenadas, ya vimos que **la posición de una partícula corresponde a la representación de la ubicación de dicha partícula con respecto a un sistema de coordenadas**. Aprovechándonos de esa definición, podemos decir

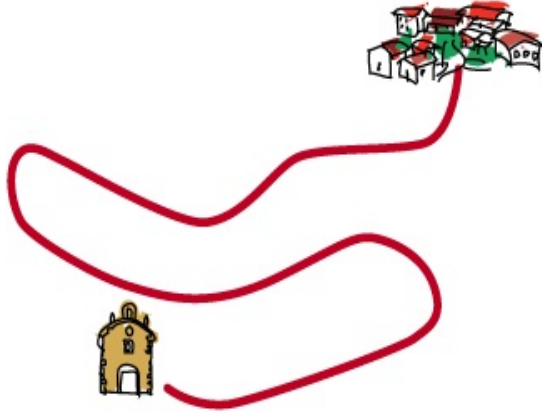


Figura 4.4: Un ejemplo de trayectoria. Su longitud (largo) corresponde a la distancia recorrida.

ahora que **la trayectoria de una partícula es el lugar geométrico de las posiciones sucesivas por las que pasa dicha partícula en su movimiento**. Un ejemplo de trayectoria para una partícula se muestra en la Figura 4.4.

Sin embargo, en este momento nos importa más el concepto de **distancia**, el cual corresponde, en pocas palabras, a **la longitud del camino recorrido por una partícula**; es decir, **la longitud de la trayectoria de la partícula**. Por ser una longitud, la distancia se expresa en unidades de longitud: en el SI, en **metros (m)**. En general, a la distancia la simbolizaremos con la letra d .

En este punto, es necesario aclarar que lo que cotidianamente llamamos velocidad en realidad se denomina **rapidez media**. Ésta se define como **la distancia recorrida en un determinado intervalo de tiempo**; es decir:

$$v = \frac{d}{t} \quad (4.5)$$

Observando la expresión (4.5), podemos decir que la rapidez se expresa en unidades de longitud partido por tiempo; en el SI, en metros partido por segundo (m/s). En general, la expresión (4.5) lleva un intervalo de tiempo (Δt), pero (por ahora) para medir distancias no nos importa saber demasiadas cosas acerca de dónde y cuándo comienzan a moverse los objetos, por lo que asumiremos siempre que en el instante $t = 0$ se ha recorrido una distancia $d = 0$.

4.1.3. Movimiento Rectilíneo Uniforme (MRU)

Este tipo de movimiento fue analizado por Galileo Galilei, al querer comprobar la validez de un postulado de Aristóteles (erróneo, como muchos otros) que aseguraba que todos los cuerpos, al ser empujados, recibían una cierta propiedad finita que les permitía moverse por un tiempo limitado: la Fuerza. Pues bien, Galileo se dio cuenta de que Aristóteles no había conside-

rado algunos factores importantes, que analizaremos a continuación.

Supongamos que hacemos rodar una bola de bowling en línea recta sobre una superficie muy irregular (por ejemplo, sobre una cancha de cemento). En este caso, la bola podrá rodar unos pocos metros y se detendrá. Si ahora hacemos rodar la misma bola también en línea recta pero en una superficie menos irregular (por ejemplo, sobre la pista de madera en que habitualmente se juega bowling), veremos que ella rodará hasta una distancia mucho mayor, pero igualmente se detendrá.

Ahora bien, supongamos que hacemos rodar la misma bola en línea recta sobre una superficie perfectamente lisa; es decir, una superficie en la que no se produce roce (tal superficie no existe, por lo que esta superficie imaginaria recibe el nombre de **superficie ideal**). En este caso, como no hay nada que la detenga, la bola debería rodar infinitamente, sin detenerse jamás y además manteniendo su rapidez constante. Este tan ideal tipo de movimiento se denomina **Movimiento Rectilíneo Uniforme** (la palabra *uniforme* hace referencia a que la rapidez permanece constante).

Un ejemplo un poco menos ideal de este tipo de movimiento, podría ser un automóvil que se desplaza por una carretera recta y plana, con su velocímetro marcando en todo momento un valor de 60 km/h. Como ya podrán darse cuenta, en este caso se tiene que en una hora el automóvil recorrerá 60 km, en dos horas, 120 km y en tres horas 180 km, etc. Todo este cálculo intuitivo lo hicimos usando una definición que ya vimos: la **rapidez media**, que vemos en la expresión (4.5).

En general, para calcular la distancia recorrida en un cierto intervalo de tiempo por un cuerpo en Movimiento Rectilíneo Uniforme, multiplicamos el tiempo pedido por esta rapidez media dada; es decir:

$$d = v t \quad (4.6)$$

Como en este tipo de movimiento estamos recorriendo distancias iguales en tiempos iguales, podemos decir que **la rapidez será constante**.

Ya conocimos en Etapas anteriores dos casos de Movimiento Rectilíneo Uniforme: **el sonido y la luz**. En efecto, el sonido viaja en el aire con una rapidez $v_S = 340$ m/s, **si el aire es homogéneo** (igual temperatura, presión y sin que exista viento), y en el vacío, la luz viaja con una rapidez $c = 3,0 \times 10^8$ m/s. También un tren puede mantener una velocidad constante durante algunos minutos.

Con lo dicho hasta aquí, ya puedes analizar algunos casos de MRU.

Ejemplo: Si desde que vemos un rayo en una tormenta hasta que oímos el trueno transcurren 3 s, ¿aproximadamente a qué distancia de donde estamos se produjo el rayo?

Solución: Como la velocidad de la luz es muy alta comparada con la del sonido, el tiempo que tarda la luz del rayo en llegar hasta nosotros **lo podemos despreciar**.

Entonces, sabiendo que $t = 3 \text{ s}$ y $v = v_S = 340 \text{ m/s}$, reemplazamos estos valores en la expresión (4.6), con lo que se obtiene:

$$d = v t \rightarrow d = (340 \text{ m/s})(3 \text{ s}) = 1020 \text{ m}$$

Es decir, el rayo se produjo a poco más de 1 km de nosotros \square .

Ejemplo: Si la distancia de la Tierra al Sol es de $1,5 \times 10^{11} \text{ m}$, ¿cuánto tarda la luz solar en llegar hasta nosotros?

Solución: La luz viaja por el vacío del espacio con rapidez $v = c = 3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$. Usando la expresión (4.6), podemos obtener el tiempo que tarda la luz solar en llegar a la Tierra:

$$d = v t \rightarrow t = \frac{d}{v} \rightarrow t = \frac{1,5 \times 10^{11} \text{ m}}{3,0 \times 10^8 \text{ m/s}} \\ \rightarrow t = 500 \text{ s}$$

Para obtener el tiempo en minutos, sólo basta con dividir por 60, con lo cual el retraso con que vemos la luz que nos llega desde el Sol es $\Delta t = 8,3 \text{ min}$ \square .

Ejemplo: Un tren viaja uniformemente y en línea recta con una rapidez $v = 72 \text{ km/h}$. Si su longitud total es de 100 m, ¿cuánto tiempo tarda en pasar frente a nosotros?

Solución: Como la rapidez está expresada en km/h, primero debemos convertirla a m/s.

Recordando que $1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$ y que $1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$, se tiene:

$$1 \text{ km/h} = \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = \left(\frac{1}{3,6}\right) \text{ m/s} \approx 0,277 \text{ m/s}$$

Es decir, para convertir km/h en m/s, debemos dividir por 3,6, mientras que para convertir m/s en km/h, debemos multiplicar por 3,6.

Luego, aplicamos la expresión (4.6) tal como en el Ejemplo anterior:

$$t = \frac{d}{v} \rightarrow t = \frac{100 \text{ m}}{20 \text{ m/s}} \rightarrow t = 5 \text{ s} \quad \square.$$

4.1.4. Sistemas de Referencia

Ahora intentaremos describir el movimiento de un cuerpo cualquiera desde distintos

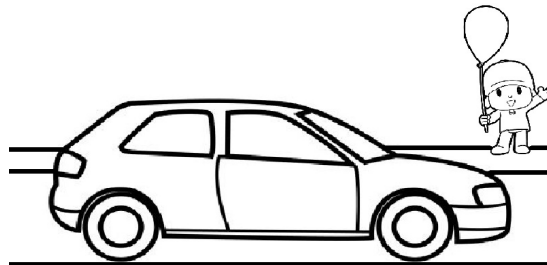


Figura 4.5: Un niño observando un auto pasar.

puntos de vista. Para ello, imagina que estás parado en una vereda y observas pasar un automóvil que se mueve por una calle (en línea recta) y con rapidez constante. Si tú quisieras describir el fenómeno que observas, podrás decir, por ejemplo, que “*mientras yo me encontraba quieto sobre la vereda, vi pasar un automóvil por la calle a 60 km/h*”. Pero si pedimos al conductor del automóvil que describa el mismo fenómeno, él podría decir, por ejemplo, que “*mientras yo me encontraba quieto sobre mi automóvil, vi pasar un niño en línea recta a 60 km/h*”. **¿Quién tendrá la razón?**

Fue **Galileo Galilei** (de quien ya hemos hablado antes), en su libro *Dos nuevas Ciencias*, el que intentó por primera vez responder esta tremenda pregunta. Luego, esta respuesta fue completada por **Isaac Newton** (de quien también hemos hablado) y por otros muchos físicos importantes, dando forma a una respuesta que estudiaremos en detalle a continuación.

Si miramos las cosas desde tu punto de vista (en reposo, parado sobre la vereda), tú estás ubicado sobre el origen de un **Sistema de Referencia** (el cual se puede asociar sin problemas con algún Sistema de Coordenadas). Luego, lo que haces al describir el movimiento del automóvil es ubicarlo con respecto a tu Sistema de Referencia; es decir, describir su **posición relativa**. A este Sistema de Referencia “quieto” lo denominaremos **Sistema de Referencia en reposo**.

Ahora bien, si miramos las cosas desde el punto de vista del conductor del automóvil, él está ubicado en el origen de su propio Sistema de Referencia. En todos los aspectos es igual a tu Sistema de Referencia en reposo, con la diferencia de que **el automóvil se está moviendo con una rapidez CONSTANTE de 60 km/h**. A los Sistemas de Referencia que se mueven a rapidez constante con respecto a otro sistema “quieto” lo denominaremos **Sistema de Referencia Uniforme** (notar que un sistema en reposo también es un sistema uniforme, ya que la rapidez es constante e igual a cero).

Finalmente, existe otro tipo de Sistema de Referencia, que se caracteriza por moverse con una rapidez VARIABLE (no constante). A este Sistema de Referencia lo denominaremos **Sistema de Referencia Acelerado**.

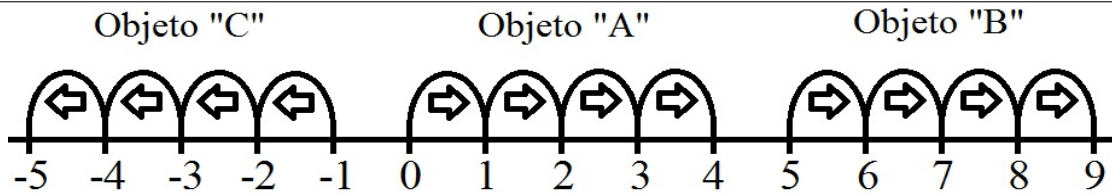


Figura 4.6: Tres objetos moviéndose en una línea de ferrocarril, bajo la que hay un acantilado.

4.1.5. Principio de Relatividad Galileana

Galileo estableció, a través de sus notables observaciones sobre Reposo y Movimiento Rectilíneo Uniforme, que *ambos son dos estados de movimiento equivalentes, relativos al observador*. En ambos, los fenómenos de movimiento suceden de la misma manera y responden a las mismas leyes. Por ello, no es posible distinguir mediante experimentos cuál de ellos está en reposo y cuál en movimiento.

Con esto, ya tenemos los elementos necesarios para dar respuesta a quién tiene la razón al describir un movimiento, respuesta conocida con el nombre de *Principio de Relatividad Galileana*. Según este Principio, existe un grupo particular de sistemas de referencia, llamados *Sistemas Inerciales o Galileanos*, que son *sistemas que están en Reposo o en Movimiento Rectilíneo Uniforme respecto de un objeto material sobre el cual no actúa fuerza alguna*, cualquiera sea su posición en el espacio.

La gran dificultad de esta definición está en que *es físicamente imposible tener un cuerpo en reposo absoluto*, ya que incluso alguien que está en reposo sobre la Tierra se mueve con respecto al Sol (y el Sol se mueve con respecto a la Vía Láctea, y la Vía Láctea se mueve con respecto a otras galaxias, etc.).

Al no contar con una definición que permita determinar absolutamente si un sistema de referencia es inercial o no, debe considerarse que *la existencia de sistemas de referencia inerciales es una abstracción que no puede ser demostrada experimentalmente*.

En resumen, el *Principio de Relatividad Galileana* está compuesto por dos leyes:

1. *Los únicos Sistemas de Referencia aceptables para describir un movimiento cualquiera son los Sistemas de Referencia Inerciales. En ellos se cumplen todas las leyes del movimiento.*
2. *Sea cual sea el Sistema de Referencia con que se mida un fenómeno e independiente de la rapidez con que el sistema se mueva, el fenómeno ocurre siempre en un mismo intervalo de tiempo.*

Cabe destacar que del primer Postulado se desprende que *un Sistema de Referencia Acelerado no sirve para describir un movimiento* de la forma que lo haremos en esta Etapa Teórica. Finalmente, conviene recalcar lo dicho en el segundo Postulado: *para todos los sistemas de referencia, el tiempo transcurre de la misma manera*. Este postulado significa que *para la Mecánica Clásica, el tiempo es un concepto absoluto*; es decir, es independiente del observador.

En otra oportunidad discutiremos si este Principio es válido para todas las rapidezces con que se puede mover un Sistema Inercial.

4.1.6. Distancia y Desplazamiento

Hasta ahora, para describir el movimiento de un objeto no ha sido necesario decir hacia dónde se mueve; es decir, no hemos hecho diferencia entre dos objetos que se mueven uno hacia la derecha y el otro hacia la izquierda.

Para poder comenzar, imaginemos que nos encontramos sobre una línea de ferrocarril, donde solamente podemos estar situados sobre los durmientes (para exagerar, pensemos que si pisamos entre los durmientes, caeremos a un acantilado). Para poder describir correctamente la posición de distintos objetos moviéndose sobre esta línea de tren, primero necesitamos determinar desde dónde haremos las observaciones; es decir, debemos *establecer un origen para nuestro sistema de coordenadas*. Supongamos que esto lo hicimos de tal manera que el origen está marcado como 0, como podemos observar en la Figura 4.6.

Pues bien, primero tendremos un objeto "A" que se mueve saltando, desde el durmiente 0 (origen) hasta el durmiente 4 y un objeto "B" que se mueve saltando, desde el durmiente 5 hasta el durmiente 9. Rápidamente llegamos a la conclusión de que ambos han recorrido la misma distancia, puesto que ambos han saltado la misma cantidad de veces. Si observamos también, desde el durmiente -1 hasta el durmiente -5 , vemos que éste también ha recorrido la misma distancia, puesto que ha saltado la misma cantidad de veces. Sin embargo, no hemos considerado que el objeto "C" ha saltado hacia la izquierda, mientras que los objetos "A" y "B" han saltado hacia la derecha.

El hecho de saltar hacia la izquierda es distinto de hacerlo hacia la derecha. Cada uno de ellos define un *sentido* distinto (no una dirección, como erróneamente se dice). Para poder analizar físicamente los movimientos, tenemos que distinguir entre un sentido y otro. Ello lo haremos eligiendo alguno de los dos y asignándole el signo positivo (+), mientras que al otro le asignamos el signo negativo (-). En general, esta elección la haremos por conveniencia, de tal forma que lo que queramos hacer nos resulte más sencillo de representar.

Definiremos entonces el *desplazamiento de un objeto* que se mueve en línea recta como *la distancia recorrida por dicho objeto, considerando el sentido en que se mueve*. En general simbolizaremos al desplazamiento como Δx , notación que en otra oportunidad comprenderemos en profundidad.

Para poder definir el desplazamiento de los objetos “A”, “B” y “C” debemos primero elegir uno de los sentidos. Por conveniencia, consideraremos positivo el salto hacia la derecha (es decir, el saltar hacia los números positivos). Con esta elección, ya podemos decir que el desplazamiento de los objetos “A” y “B” es $\Delta x = +4$ espacios, mientras que el desplazamiento del objeto “C” es $\Delta x = -4$.

4.1.7. Rapidez y velocidad

Previamente ya hemos definido la rapidez como el cociente entre la distancia recorrida por un objeto y el tiempo empleado en ello, resultando la expresión (4.5). Ahora definiremos la *velocidad* \vec{v} de un objeto como *el cociente entre el desplazamiento Δx del objeto y el tiempo t empleado en ello*. Esto lo expresaremos mediante:

$$\vec{v} = \frac{\Delta x}{t} \quad (4.7)$$

En ese sentido, si observamos pasar automóviles en una avenida (es decir, algunos se mueven hacia la izquierda y otros hacia la derecha), consideremos dos automóviles “A” y “B” que se mueven con igual rapidez (digamos 60 km/h) con “A” moviéndose hacia la derecha y “B” hacia la izquierda. Si consideramos positivo el movimiento hacia la derecha, podemos decir ahora que la velocidad de “A” es +60 km/h, mientras que la velocidad de “B” es -60 km/h.

4.1.8. Velocidad relativa entre dos objetos

Cuando nos encontramos dentro de un automóvil que se mueve con una cierta rapidez constante por un camino recto y vemos pasar

por el lado a una motocicleta con otra rapidez constante, la vemos pasar “lentamente”. Pero si un observador en reposo a la orilla del camino observa el mismo fenómeno, él verá que ambos vehículos se mueven “rápidamente”.

Primero, notamos que el automóvil se encuentra en Movimiento Rectilíneo Uniforme con rapidez constante, por lo cual se trata de un Sistema Inercial. De la misma manera, el observador que está parado en la vereda se encuentra en Movimiento Rectilíneo Uniforme con rapidez nula, por lo que también es un Sistema Inercial. Si aplicamos el primer Postulado del Principio de Relatividad Galileana, podemos concluir que *ambos sistemas de referencia, por ser inerciales, son adecuados para describir el fenómeno observado*; es decir, *ambos tienen la razón sobre el fenómeno, cada uno desde su punto de vista*.

Para comprender cómo proceder al estudiar el movimiento de la motocicleta desde ambos puntos de vista, primero nos centraremos en el observador en movimiento dentro del automóvil, en dos situaciones distintas. En ellas debemos considerar la velocidad de los objetos en movimiento (y ya no su rapidez).

Si un objeto se mueve con una velocidad v respecto del observador en reposo y el automóvil lo hace con una velocidad V también respecto al observador en reposo, definimos la *velocidad relativa* v_R entre el objeto y el observador en movimiento como *el valor absoluto de la diferencia entre la velocidad del objeto y la del observador*; es decir:

$$v_R = |v - V| \quad (4.8)$$

Como primera situación, supongamos que el automóvil (observador) se mueve con $V = 60$ km/h y que la motocicleta adelanta al automóvil con $v = 80$ km/h. Como ambos vehículos se mueven en el mismo sentido, podemos considerar sus velocidades como de igual signo (por simplicidad, supondremos que ambas son positivas). Considerando la expresión (4.8), la velocidad relativa entre ambos objetos será:

$$v_R = |(80 \text{ km/h}) - (60 \text{ km/h})| = 20 \text{ km/h}$$

Para la segunda situación, supongamos que el automóvil (observador) se mueve con $V = 60$ km/h y que la motocicleta viene en contra del automóvil con $v = 80$ km/h. Como ambos vehículos se mueven en distinto sentido, consideramos sus velocidades como de distinto signo (supondremos que la velocidad del automóvil es positiva). Considerando la expresión (4.8), la velocidad relativa entre ambos objetos será:

$$\begin{aligned} v_R &= |(-80 \text{ km/h}) - (+60 \text{ km/h})| \\ \rightarrow v_R &= |-140 \text{ km/h}| = 140 \text{ km/h} \end{aligned}$$

4.1.9. Transformación Galileana de coordenadas

Ahora nos centraremos en el observador que se encuentra en la vereda en reposo y ve pasar al automóvil por la calle (en línea recta) a rapidez constante. Como ya vimos, el observador en reposo también corresponde a un Sistema Inercial.

Entonces, como ya sabemos que las leyes del movimiento deben cumplirse en ambos sistemas, debemos ser capaces de establecer una relación entre ellos. De la misma forma que establecimos una relación entre los Sistemas de Coordenadas Polares y Cartesianas, estableceremos una relación entre un Sistema Inercial en reposo y uno no en reposo, relación conocida como *Transformación Galileana*.

Supongamos que tanto el observador en reposo en la vereda como el conductor del automóvil (que se mueve en línea recta y con rapidez constante) describen el movimiento de una motocicleta que adelanta al automóvil con velocidad v respecto del observador en reposo y con velocidad v' respecto del automóvil. Rápidamente, usando la expresión (4.8) podemos determinar que la velocidad del automóvil $V < v$ es tal que:

$$v' = v - V \rightarrow \boxed{V = v - v'}$$

Llamaremos x a la posición de la motocicleta medida por el observador en reposo y x' a la posición de la motocicleta medida por el observador del automóvil. Recordando la ecuación del Movimiento Rectilíneo Uniforme vista anteriormente, tendremos que:

$$\boxed{x = v t} \quad \text{y} \quad \boxed{x' = v' t}$$

4.2. Elasticidad y Fuerza

4.2.1. Fuerza y movimiento

En una conocida saga cinematográfica, llamada *Star Wars*, se hace referencia a la Fuerza con una visión muy particular, la cual es FIC-TICIA (de hecho, allí se muestra a los Caballeros *Jedi*, quienes pueden manejar la Fuerza).

Cuando realizamos un esfuerzo muscular para empujar o tirar de un carro de supermercado, por ejemplo, le estamos comunicando al carro una **fuerza**. Una locomotora ejerce una fuerza para tirar los vagones de un tren, o bien un chorro de agua ejerce una fuerza para hacer girar una turbina, etc. Así, todos tenemos intuitivamente la idea de lo que es una fuerza.

Otro ejemplo de fuerza, con la que lidiamos a diario, es la atracción que la Tierra ejerce sobre los cuerpos que están cerca de su super-

Recordando el segundo Postulado del Principio de Relatividad Galileana, suponemos que $t' = t$. Con ello, al sustituir la expresión de la derecha en la de la izquierda, obtendremos la **Transformación Galileana** entre los dos sistemas de referencia inerciales:

$$x' = (v - V) t \rightarrow x' = v t - V t$$

$$\rightarrow \boxed{x' = x - V t} \quad (4.9)$$

4.1.10. Relatividad Galileana y trayectoria

Para poder determinar cómo se comporta la trayectoria de un objeto vista desde distintos sistemas inerciales, analizaremos un ejemplo muy simple. Supongamos que tú estás sobre un carrito que se mueve con rapidez constante y lanzas hacia arriba una pelota que vuelve a caer a tus manos, y que otra persona se encuentra parada en el suelo observando esta situación. Si te pedimos que describas el movimiento de la pelota, una probable respuesta sería “yo vi que la pelota subió y bajó en línea recta”. Pero si pedimos a la persona que describa el movimiento de la pelota (y de ti junto al carrito), una probable respuesta sería “yo vi que el carrito se movía hacia la derecha con rapidez constante y que la pelota subía y bajaba en forma parabólica hacia la derecha”.

Entonces, a pesar de que ambas personas observaron el mismo fenómeno desde Sistemas de Referencias inerciales, vieron que la trayectoria de la pelota fue distinta. Así, ya podemos decir que **la trayectoria de un cuerpo, al igual que su posición y su velocidad, es relativa**.

ficie. Esta fuerza se conoce como **peso** de un cuerpo. Entonces, **el peso de un cuerpo es la fuerza con que la Tierra atrae a dicho cuerpo**.

La fuerza de atracción de la Tierra sobre un objeto, así como la Fuerza Eléctrica (Ley de Coulomb) o la Fuerza Magnética (entre dos imanes, por ejemplo), son ejercidas sin que haya necesidad de contacto entre los cuerpos (son de acción a distancia). En tanto, las fuerzas que mencionamos al principio sólo pueden ser ejercidas si es que hay contacto entre los cuerpos.

Por ahora, diremos que **la Fuerza se expresa en una unidad de medida denominada Newton (N)**. En otra oportunidad explicaremos su significado.

Las relaciones entre la Fuerza y el movimiento siempre fueron objeto de estudio desde

la Antigüedad. El filósofo **Aristóteles**, por ejemplo, al analizar estas relaciones, creía que *un cuerpo sólo podría mantenerse en movimiento cuando existiera una fuerza que actuase sobre él continuamente*. De modo que si un cuerpo estuviera en reposo y ninguna fuerza actuara sobre él, permanecería en reposo. Cuando una fuerza se ejerciera sobre el cuerpo, se pondría en movimiento hasta que la fuerza dejara de actuar sobre él. Las afirmaciones de Aristóteles pueden parecer correctas a primera vista, pues en nuestra experiencia diaria vemos que los objetos, en general, sólo se encuentran en movimiento cuando están siendo tirados o empujados. Durante toda la Edad Media, las ideas aristotélicas fueron aceptadas sin que se hiciera un análisis más cuidadoso en relación a ellas. Las críticas a estas ideas sólo surgieron con Galileo.

Al introducir el Método Científico, Galileo realizó una serie de experimentos que lo llevaron a conclusiones diferentes de las de Aristóteles. Por ejemplo, al estar una esfera en reposo sobre una cierta mesa horizontal, si se la empuja con una cierta fuerza, ella se pone en movimiento. Pero *una vez que la fuerza deja de actuar, la esfera sigue moviéndose y recorre una cierta distancia, aunque no actuara una fuerza sobre ella*. Así, Galileo comprobó que *un cuerpo podía estar en movimiento sin que una fuerza estuviera actuando siempre*. Cuando repitió el experimento usando ahora una superficie horizontal más lisa, Galileo observó que el cuerpo recorría una distancia mayor, luego de cesar la acción de la fuerza.

Basándose en una serie de experimentos similares, Galileo concluyó que *el cuerpo se detenía después de haber dejado de impulsarlo, debido a la acción del roce o fricción entre la superficie y el cuerpo, que siempre actúa para frenar su movimiento*. De modo que *si fuese posible eliminar completamente la acción del roce, el cuerpo debería moverse en forma infinita, sin detenerse nunca*; es decir, en Movimiento Rectilíneo Uniforme.

Al generalizar sus observaciones, Galileo llegó a la siguiente conclusión: si un cuerpo está en reposo, es necesaria la acción de una fuerza para ponerlo en movimiento. Una vez iniciado éste, y después de cesar la acción de las fuerzas que actúan sobre él, seguirá moviéndose indefinidamente en línea recta y con velocidad constante. En otras palabras, *la Fuerza es la causa del Cambio en el Movimiento*.

4.2.2. Tipos de movimiento

Es muy común al estudiar el movimiento de un cuerpo cualquiera que lo tratemos como

una *partícula*. Diremos que un cuerpo es una *partícula* o *punto de masa* cuando sus dimensiones son muy pequeñas en comparación con las demás dimensiones que participan en el fenómeno. Por ejemplo, si un automóvil de 3 m de longitud se desplaza 15 m, no podrá considerarse como partícula; pero si el mismo automóvil viaja de una ciudad a otra que dista unos 200 km, la longitud del automóvil es despreciable en relación con la distancia a recorrer y, en este caso, el automóvil podrá ser considerado como una partícula.

Cuando decimos que un cuerpo se puede considerar como una partícula, en el fondo estamos considerándolo como si fuese un punto, el cual concentra toda la masa del cuerpo, lo que simplifica bastante el estudio de su movimiento. Por este motivo, siempre que hablemos del movimiento de un objeto cualquiera y a menos que se indique lo contrario, estaremos considerando al objeto como si fuese una partícula.

Según discutimos en la subsección anterior, el principal efecto de una Fuerza es producir un cambio en el movimiento. Dicho de manera más explícita, *la Fuerza produce un cambio en la velocidad de movimiento*. A este efecto principal de una fuerza lo llamaremos *Efecto Dinámico* de una fuerza.

Sin embargo, las Fuerzas son capaces de producir otros efectos sobre los cuerpos en que actúan. Para establecer completamente este conocimiento, mencionaremos todos los tipos de movimiento de un cuerpo (que se asocian como efectos de la aplicación de una Fuerza):

1. Traslación: corresponde al movimiento de un objeto o de una partícula desde un punto del espacio a otro, cambiando de posición; es decir, el cuerpo se traslada mediante una serie de movimientos. Una persona que camina desde su casa hasta el supermercado representa un ejemplo de traslación.

2. Rotación: corresponde al movimiento de un objeto desde un punto a otro del espacio, conservando siempre una distancia fija (radio de giro) hasta un cierto punto (eje de rotación); es decir, el cuerpo rota en torno a un centro. Una rueda cualquiera que gira horizontalmente representa un ejemplo de rotación.

Cabe destacar que una sola partícula, al experimentar rotación, no cambia desde ningún punto de vista (sigue estando en la misma posición), por lo que *la rotación de una sola partícula es despreciable*.

3. Vibración: corresponde al movimiento de un objeto desde un punto a otro de un espacio limitado, moviéndose solamente dentro de este

espacio y en forma repetitiva en el tiempo. Veamos que el objeto siempre se mueve de tal forma que pasa por un punto (central), al que llegaría si se detuviera. A ese punto tan especial lo llamaremos *punto de equilibrio*. Un péndulo oscilando dentro de una campana representa un ejemplo de vibración.

Cabe destacar que una sola partícula, al experimentar vibración, no cambia desde ningún punto de vista (vibra en torno al punto de equilibrio, que es la misma partícula, pero el punto de equilibrio no se mueve), por lo que *la vibración de una sola partícula es despreciable*.

Ya hemos establecido cómo las fuerzas actúan para establecer una traslación (efecto que estudiaremos más profundamente en Segundo Año Medio). Sobre el cómo las fuerzas actúan para establecer rotaciones hablaremos en Tercer Año Medio, por lo que ahora nos corresponde hablar de cómo las fuerzas pueden producir vibraciones.

4.2.3. Tipos de objetos según su deformación

Ya hablamos del *Efecto Dinámico* de una fuerza. Sin embargo, podemos observar que al aplicar una fuerza sobre algunos cuerpos, éstos se estiran o se comprimen; es decir, *al aplicar una fuerza sobre un cuerpo, éste cambia su forma*. A este efecto deformador de una fuerza lo llamaremos *Efecto Estático* de una fuerza.

Según cómo se caracteriza la deformación del cuerpo al aplicar sobre él una fuerza, podemos describir tres tipos de objetos:

1. Rígido: es aquel cuerpo que no se deforma o bien su deformación no es perceptible. Por ejemplo, un platillo de batería, al ser golpeado, no se deforma visiblemente (si lo grabamos con una cámara de video común, de 24 cuadros por segundo, veremos tal cual ven nuestros ojos); sin embargo, si vemos el mismo platillo golpeado con una cámara lenta (1000 cuadros

por segundo), podremos ver que el platillo se deforma como si fuera de goma.

2. Inelástico o Plástico: es aquel cuerpo que se deforma visiblemente y que, una vez deformado, no recupera su forma inicial; es decir, su deformación es permanente. Un automóvil que colisiona con una muralla sufre una deformación permanente, por lo que representa un cuerpo inelástico.

3. Elástico: es aquel cuerpo que se deforma visiblemente y que es capaz de recuperar su forma inicial; es decir, su deformación es momentánea. Una pelota saltarina, al chocar contra el suelo, se deforma momentáneamente y adquiere la capacidad de rebotar al recuperar su forma, por lo que representa un cuerpo elástico.

Cuando se desea analizar solamente el efecto dinámico o el efecto rotacional de una fuerza, generalmente se asume que los cuerpos sobre los que se ejerce la fuerza son rígidos; en tanto, al estudiar el efecto estático de una fuerza, asumiremos que el cuerpo es deformable, conservando siempre un centro de oscilación o *punto de equilibrio*.

4.2.4. Fuerza Elástica y Ley de Hooke

Como acabamos de ver, hay cuerpos que no se deforman (rígidos) y cuerpos que se deforman; algunos en forma momentánea (elásticos) y otros en forma permanente (inelásticos). Para estudiar en forma simplificada cómo las fuerzas actúan para deformar un objeto, *supondremos estar en presencia de un objeto elástico*, cuyas deformaciones serán siempre momentáneas.

Cuando se nos pide pensar en un objeto elástico, siempre tendemos a pensar en un mismo objeto: el resorte helicoidal. Nos aprovecharemos de este objeto tan significativo de la elasticidad para estudiarla.

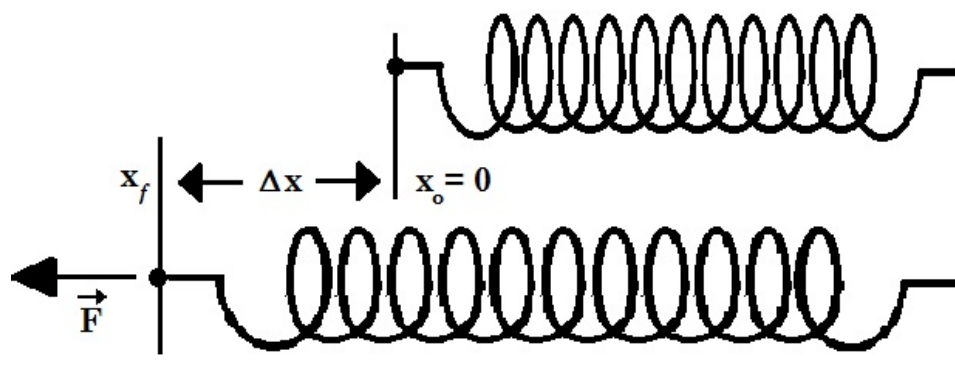


Figura 4.7: Un mismo resorte, normal y estirado.

En la Figura 4.7 superior se nos muestra un resorte sin estirar, mientras que en la Figura 4.7 inferior se nos muestra el mismo resorte estirado. Este estiramiento se puede conseguir al aplicar una fuerza sobre el resorte. Si lo pensamos con cuidado, al estirar un resorte con nuestra mano, tarde o temprano nos cansaremos, ya que *el resorte ejerce una fuerza igual y opuesta a aquella que nosotros ejercemos sobre él*. A esta fuerza que el resorte ejerce sobre nosotros le llamamos **Fuerza Elástica**. Pero esta fuerza no necesariamente se da solo en un resorte, sino que en todos los materiales elásticos.

Si consideramos la posición del resorte sin estirar como x_o , podemos expresar cualquier estiramiento (o compresión) con respecto a la que llamamos *posición de equilibrio*, mediante un desplazamiento; es decir:

$$\Delta x = x_f - x_o \quad (4.10)$$

Ahora bien, al aplicar distintas fuerzas, conseguiremos distintos estiramientos. Experimentalmente, se puede comprobar que si aumentamos la fuerza aplicada al doble (triple, etc.), se obtendrá que el estiramiento también aumenta al doble (triple, etc.). Pues bien, ello nos indica que la Fuerza es directamente proporcional al estiramiento; es decir, $F \propto \Delta x$.

Luego, si trazamos un gráfico para la Fuerza F aplicada sobre el resorte en función del desplazamiento Δx , obtendremos una recta con una cierta pendiente. Si hacemos el mismo procedimiento para otro resorte, también obtendremos una recta pero con una pendiente distinta. Lo anterior, nos indica que esta pendiente es característica de cada resorte. A esta pendiente la llamaremos *constante de elasticidad* o *coeficiente de restitución* del resorte y lo simbolizamos con la letra k . Sin embargo, esta constante corresponde a la fuerza que el resorte ejerce sobre nosotros:

$$k = \frac{F_E}{\Delta x}$$

Así, podemos expresar la Fuerza Elástica (es decir, aquella que el resorte ejerce sobre nosotros) mediante la siguiente expresión:

$$F_E = k \Delta x \quad (4.11)$$

Cabe destacar que a la expresión (4.11) se le denomina *Ley de Hooke*, en honor al físico inglés **Robert Hooke (1635–1703)**, quien fue un acérrimo opositor de Newton en muchos aspectos de la Mecánica.

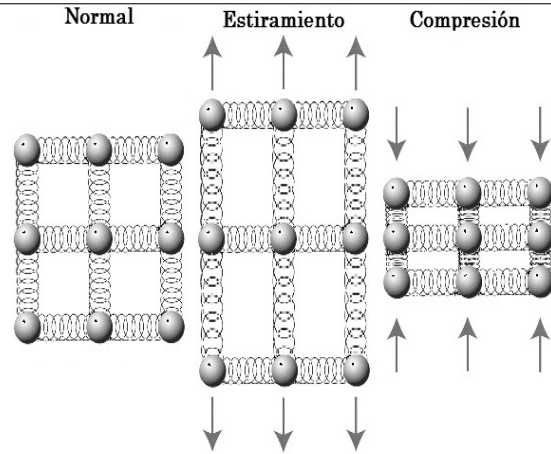


Figura 4.8: Modelo de un material elástico.

4.2.5. Fuerza y deformación en general

Es apropiado mencionar que la Ley de Hooke no es válida siempre: *esta Ley se cumple siempre que los estiramientos no sean demasiado grandes*; es decir, siempre que el material elástico no pierda su naturaleza elástica.

Aquellos cuerpos que pueden deformarse momentáneamente poseen una propiedad que se llama *elasticidad*, la que les permite deformarse y recuperar su forma original. Esta propiedad puede explicarse si modelamos los materiales elásticos como si estuvieran formados por moléculas unidas por *resortes, los cuales representan las fuerzas intermoleculares* que los mantienen unidos. Este modelo se puede visualizar en la Figura 4.8.

Luego, con este mismo modelo podemos explicar lo que ocurre si estiramos demasiado un cuerpo. Al hacer esto, estamos separando las moléculas a una distancia tal que las fuerzas intermoleculares que las unen se hacen débiles, con lo cual *el cuerpo pierde su elasticidad y sufre una deformación permanente*. El valor de fuerza que se puede ejercer a un cuerpo antes que deje de cumplir la Ley de Hooke se denomina *límite de proporcionalidad*, mientras que el valor de fuerza en que el cuerpo pasa a ser inelástico se denomina *límite elástico*.

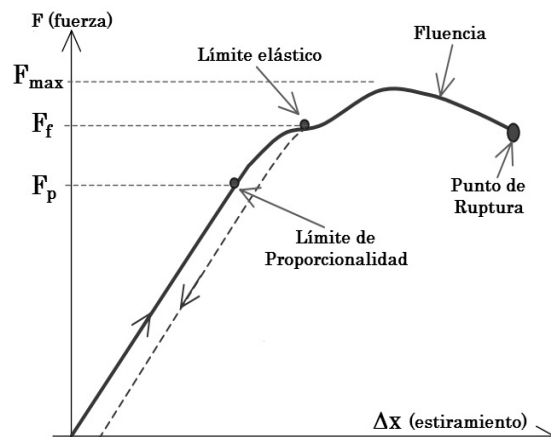


Figura 4.9: Gráfico Fuerza vs. Estiramiento.

Todo lo descrito hasta aquí lo podemos visualizar en la Figura 4.9. Una vez que el cuerpo pasa a ser inelástico, ya no regresará a su longitud original al dejar de aplicar la fuerza, sino que quedará permanentemente deformado. Entre el límite elástico y el punto de ruptura, a menudo existe una *zona de fluencia*, donde el material se deforma fácilmente, sin necesidad de ejercer una gran fuerza.

Finalmente, si la fuerza aplicada continúa incrementándose más allá del límite elástico, se alcanza un punto en que el objeto colapsa, rompiéndose en dos (o más) partes. A este punto se le denomina *punto de ruptura*.

Por otra parte, al intentar comprimir un resorte, nos encontraremos siempre con una dificultad límite, ya que el resorte está hecho de algún material y *es físicamente imposible comprimirlo hasta un valor nulo*, por lo que la Ley de Hooke es válida hasta ese valor de compresión máxima.

4.2.6. El dinamómetro

La principal aplicación de la elasticidad y de la Ley de Hooke la podemos encontrar en un dispositivo muy simple: el *dinamómetro*.

Recordemos el resorte que estirábamos antes. Si nosotros colgamos de él, por ejemplo, un kilo de azúcar (que equivale a una fuerza Peso de 10 N), podremos medir el estiramiento producido en el resorte (por ejemplo, 2 cm). Si ahora colgamos dos kilos de azúcar (20 N),

deberíamos observar que el estiramiento ha aumentado al doble (es decir, a 4 cm). Siguiendo el mismo procedimiento, podemos graduar cualquier resorte para medir fuerzas, marcando los estiramientos producidos y las fuerzas que ellos representan. Con esto ya hemos construido un dinamómetro casero.

La función de un dinamómetro es medir, mediante el estiramiento de un resorte graduado, el valor de la fuerza que se está aplicando. Si para el resorte anterior tuviéramos un objeto desconocido colgando de él y vemos que el estiramiento producido es 10 cm, podemos concluir rápidamente que la Fuerza Peso aplicada sobre el resorte es de 50 N, lo cual nos habla de que está colgado un objeto de masa 5 kg.

Los dinamómetros tienen muchas aplicaciones prácticas. Por ejemplo, la *balanza de resorte* no es otra cosa que un dinamómetro graduado para indicar el valor de nuestra masa, usando como fuerza el Peso que la Tierra ejerce sobre nosotros. Por ello, cuando vamos a utilizar la balanza para obtener nuestra masa actual, no diremos que nos vamos a “pesar”, sino que diremos que nos vamos a “masar”.

Por favor, no confundir este tipo de balanza con una que se usaba antiguamente, la cual consistía en equilibrar dos masas que están en los extremos de una varilla con un eje en el centro, ya que el mecanismo de funcionamiento de la última no es un resorte, sino que un *torque* (de este concepto hablaremos más adelante).

4.3. Ejercicios

Opciones múltiples

01. En un colegio, un grupo de compañeras de curso acuerdan reunirse, después de clases, en la casa de una de ellas. Al darles la ubicación de la casa, les dice que deben caminar 7 metros al norte, 3 metros al oeste y subir al 4° piso. ¿Cuál fue el origen del sistema de referencia escogido para ubicar el punto de encuentro?
A) La casa. B) Un edificio. C) El colegio.
D) La calle. E) Falta información.

02. Podemos afirmar con toda seguridad que un objeto está en movimiento cuando:
A) su posición permanece constante en el tiempo. B) su posición permanece constante con respecto a un sistema de referencia.
C) su posición cambia con respecto a un sistema de referencia. D) su rapidez cambia con respecto a un sistema de referencia.
E) su rapidez permanece constante en el tiempo.

03. Dos amigos discuten sobre un vaso apoyado en la mesa. Uno de ellos plantea que el vaso está en reposo y el otro plantea que el vaso se mueve. ¿Es posible que ambos tengan razón?
A) No, porque solo existe un estado de movimiento.
B) No, porque el vaso no se está desplazando.
C) No, porque los sistemas de referencia son absolutos. D) Sí, debido a que utilizan sistemas de coordenadas absolutas.
E) Sí, debido a que utilizan sistemas de referencia distintos.

04. ¿Qué significa que la rapidez de un móvil sea de 30 km/h?
A) Significa que se detiene a los 30 km cada una hora.
B) Significa que en una hora recorre 30 km.
C) Significa que su velocidad varía cada 30 km.
D) Significa que acelera cada una hora.
E) Significa que cada 30 km se detiene.

05. Evaristo escribió la palabra *penumbras* sin levantar el lápiz del papel. La rapidez media de la punta del lápiz mientras escribió corresponde a: A) El número de veces que puede escribir la palabra en una unidad de tiempo. B) El cociente entre la distancia recorrida por la punta del lápiz sobre el papel y el tiempo que demoró en escribirla. C) El cociente entre el número de letras de la palabra y el tiempo que demoró en escribirla. D) El cociente entre el número de sílabas de la palabra y el tiempo que demoró en escribirla. E) Cualquiera de las anteriores.
06. Francisco viaja en un tren que avanza con rapidez constante. Llevado por su espíritu investigador, mide el tiempo que el tren demora en recorrer 10 km, obteniendo 6 minutos. ¿Con qué rapidez viaja el tren? A) 0,6 km/h B) 1,6 km/h C) 10 km/h D) 60 km/h E) 100 km/h
07. La familia Flores parte de vacaciones. Para llegar a su destino deben recorrer 600 km. Los primeros 300 km los recorren en 4 h, luego descansan una hora y recorren la otra mitad del camino en 5 h. ¿Cuál es la rapidez media con que la familia Flores efectuó el recorrido total? A) 30 km/h B) 45 km/h C) 60 km/h D) 67,5 km/h E) 75 km/h
08. A las 11 horas parte desde un punto P un automóvil con rapidez de 60 km/h; a las 13 horas parte otro automóvil desde el mismo punto con rapidez de 100 km/h en la misma dirección y sentido que el primero. ¿Cuántas horas el segundo automóvil en alcanzar al primero? A) 2 B) 2,5 C) 3 D) 3,5 E) 4
09. Pedro y Pablo son hermanos y salen de su casa al colegio, ambos al mismo tiempo, con rapidez de 4 m/s y 5 m/s. Pablo llega un cuarto de hora antes que Pedro. ¿Qué distancia hay entre el colegio y la casa de estos hermanos? A) 6 km B) 12 km C) 16 km D) 18 km E) 24 km
10. Una persona sentada en un paradero observa pasar un autobús con un pasajero sentado en su interior. Si se determina que la velocidad relativa del pasajero es cero, es porque el sistema de referencia está situado en: A) un letrero del paradero. B) otro pasajero sentado detrás de él. C) otro pasajero moviéndose hacia adelante. D) otro pasajero moviéndose hacia atrás. E) la persona sentada en el paradero.
11. Un vehículo mantiene una rapidez de 100 km/h y tarda 3 minutos en cruzar un túnel. Luego, la longitud del túnel es: A) 0,56 km B) 1,80 km C) 5,00 km D) 30,00 km E) 33,30 km
12. Un motociclista estima que pasa 2 postes cada 5 segundos. Si los postes están separados por 50 m, ¿cuál es la rapidez media del motociclista en km/h? A) 20 B) 30 C) 36 D) 50 E) 72
13. En una carretera, dos vehículos A y B se mueven con una rapidez de 100 km/h cada uno, en la misma dirección y sentido. Si ubicamos el sistema de referencia en el conductor del vehículo A, se puede afirmar que el vehículo B: A) no se mueve. B) se mueve a 100 km/h. C) está frenando. D) se mueve a 200 km/h. E) está en reposo.
14. Un autobús viaja con una rapidez constante de 80 km/h y en su interior se encuentran dos pasajeros sentados y una persona caminando en el mismo sentido en que se mueve el autobús. Si ubicamos el sistema de referencia entre los distintos pasajeros, es INCORRECTO afirmar que: A) los dos pasajeros sentados en el autobús no observan movimiento entre ellos. B) la persona caminando observa que el autobús se mueve. C) la persona caminando observa que los pasajeros se mueven. D) uno de los pasajeros sentados observa que el autobús se mueve. E) uno de los pasajeros observa que el autobús está en reposo.
15. Una persona que viaja dentro de un automóvil, observa al conductor, a una persona A delante de ella y a una persona B afuera del automóvil. ¿Quién(es) está(n) en movimiento según su sistema de referencia? A) Solo la persona A. B) Solo la persona B. C) El conductor y la persona A. D) El conductor y la persona B. E) El conductor, la persona A y la persona B.
16. Un autobús se mueve con rapidez 18 m/s y dentro de él, dos pasajeros se mueven acercándose entre sí. El pasajero A se mueve a 2 m/s en el sentido que se mueve el autobús, mientras que el pasajero B se mueve a 3 m/s en sentido contrario al que se mueve el autobús. ¿Con qué rapidez ve el pasajero A que se acerca el pasajero B? A) 1 m/s B) 4 m/s C) 5 m/s D) 10 m/s E) 16 m/s

17. Un tren se mueve en una vía recta, en sentido norte-sur, con una rapidez de 120 km/h respecto al suelo. A un lado de la vía de tren existe una carretera paralela por la que viaja un bus, en el mismo sentido del tren, con una rapidez de 100 km/h respecto al suelo. Dentro de uno de los vagones del tren, un niño corre en sentido sur-norte con una rapidez de 20 km/h respecto al vagón. ¿Cuál es la rapidez del niño con respecto al conductor del bus?
 A) 0 km/h B) 20 km/h C) 40 km/h
 D) 100 km/h E) 220 km/h
18. En un dinamómetro casero hecho de un resorte calibrado suspendido de un soporte, se tiene que para una fuerza de 50 N el estiramiento del resorte es 10 cm. La constante de elasticidad del resorte es:
 A) 500 N/m
 B) 500 N/cm
 C) 50 N/m
 D) 10 N/m
19. En un dinamómetro se mide la fuerza asociada a un estiramiento determinado de un resorte. Para una fuerza F , el estiramiento es Δx . Si la fuerza es $2F$, el estiramiento:
 A) disminuye a la mitad.
 B) se mantiene igual.
 C) aumenta al doble.
 D) aumenta al cuádruplo.
 E) se reduce a la cuarta parte.
20. Dos dinamómetros con distintas constantes elásticas son sometidos a fuerzas iguales. Se obtiene que el resorte A se estira más que el resorte B. Con esto, se puede concluir que:
 A) el resorte A tiene mayor constante elástica.
 B) el resorte B tiene mayor constante elástica.
 C) el resorte A tiene menor constante elástica.

Desarrollo

31. En un Plano Cartesiano grafique los siguientes puntos:

- A) (0,0) B) (2,3) C) (-1,4) D) (-2,-1) E) (3,-5) F) (-2,0)

32. Transforme los siguientes puntos de coordenadas cartesianas a polares:

- A) (1,1) B) (3,0) C) $(2\sqrt{3}, -2)$ D) (-2,3) E) (-1,1) F) (1,-1)

33. En un Plano Polar grafique los siguientes puntos:

- A) $(1, 90^\circ)$ B) $(-2, 45^\circ)$ C) $(3, 360^\circ)$ D) (3,0) E) $(2, -25^\circ)$ F) $(-1, -90^\circ)$

34. Transforme los siguientes puntos de coordenadas polares a cartesianas:

- A) $(3, 90^\circ)$ B) $(\sqrt{2}, 135^\circ)$ C) $(-1, 60^\circ)$ D) $(2, 120^\circ)$ E) $(4, 540^\circ)$ F) $(-2, -150^\circ)$

35. ¿Qué es suficiente para que un movimiento sea Rectilíneo Uniforme?

36. ¿Con qué concepto se asocia la huella que deja una bicicleta en un camino de tierra?

37. Un atleta que compite en un triatlón recorre nadando una distancia de 3 km en 1 h. Luego corre una distancia de 12 km en 2 h y, por último, anda en bicicleta una distancia de 45 km en 3 h. ¿Cuál es la rapidez media del atleta (en m/s)?

38. Un automóvil va de una ciudad a otra en un tiempo de 2 horas y 15 minutos, con una rapidez media de 90 km/h. Determine la distancia entre las dos ciudades.

39. Un automóvil se desplaza en línea recta con una rapidez constante de 125 km/h:

a. ¿Qué distancia recorrerá en 30 s? (expresar en metros)

b. ¿Cuánto tiempo emplearía en recorrer 500 m? (expresar en segundos)

40. La rapidez de las embarcaciones se mide en una unidad llamada *nudo*, cuyo valor es de aproximadamente 1,8 km/h. ¿Qué distancia recorrerá una embarcación que desarrolla una rapidez constante de 20 nudos durante 10 horas?
41. Una liebre y una tortuga deciden hacer una carrera de 1 km ida y vuelta. En los 500 m de ida, la liebre desarrolla una rapidez constante de 10 km/h y a la vuelta desarrolla una rapidez de 2 km/h. En tanto, la tortuga camina con una rapidez constante de 6 km/h de ida y de vuelta. ¿Quién gana la carrera?
42. Un estudiante debe recorrer 5 km para encontrarse con su amada. Si lo hace con una rapidez de 2,5 km/h, llegará puntualmente a la cita. Por razones ajenas a su voluntad, recorre la primera mitad del camino a 2 km/h. ¿Con qué rapidez media deberá recorrer la otra mitad del camino para llegar a tiempo a la cita?
43. Para medir la profundidad del mar, se utiliza un dispositivo llamado sonar. Éste emite un ultrasonido y lo recibe de vuelta, luego de rebotar contra el fondo del mar, 1 s después. Si la rapidez del sonido en el agua es constante e igual a 1480 m/s, determine la profundidad del mar en ese punto.