

Principios físicos aplicados al análisis del movimiento corporal humano

La biomecánica es aquella área de conocimiento que se encarga del estudio del movimiento de los seres vivos, incluyendo el movimiento corporal humano. El objetivo fundamental de este libro consiste en describir el movimiento implícito en la ejecución de gestos deportivos. Determinados aspectos provenientes de la física mecánica (en sus variantes o ramas de la cinética, la cinemática y la dinámica) son asociados al concepto de biomecánica y al desarrollo de los procesos de análisis de movimiento y/o de gestos deportivos. Todos estos aspectos son susceptibles de ser medidos, mediante el uso de los diferentes sistemas de medida que ya se han descrito. Sin embargo, todas las mismas cualidades que hacen parte de la biomecánica y que se pueden medir, requieren algo más que un número y una unidad de medida para que queden perfectamente categorizadas. Es de esta manera, que en este capítulo se desarrollarán los conceptos relacionados con la biomecánica que dan mayor soporte a procesos de análisis de movimiento, como el concepto de la cinética, la cinemática, la dinámica, pero sobre todo el concepto de fuerza, que explica desde el concepto más básico, el origen del movimiento (Miralles, 2007; Viladot, 2001; Aguilar, 2000; Nigg, 1994).

De igual forma, en este capítulo también se desarrollarán por secciones, las temáticas que hacen parte de las áreas de conocimiento de la física mecánica y que son criterio de análisis de movimiento (magnitudes físicas vectoriales y escalares, sumatoria de vectores, cinemática lineal, MRU, MRUV, movimiento parabólico y movimiento semiparabólico, dinámica newtoniana y analítica, a través de los conceptos de trabajo y energía, centro de gravedad, centro de masa y el concepto de palancas), todos enfocados al análisis de gestos deportivos.

Conceptos de cinética, cinemática y dinámica

A continuación, para dar inicio a este capítulo, se revisarán los conceptos que hacen parte fundamental de la física mecánica, como el de cinética, cinemática y dinámica. Todos estos conceptos se encuentran contenidos en una gran área de conocimiento denominada física mecánica. Podemos comenzar por la mecánica, que de acuerdo con Giancoli (2008), se define como

(...) la rama de la física que estudia los estados de equilibrio estático y dinámico de los cuerpos y la evolución de este mismo gracias a la acción de las fuerzas responsables de que dicho cuerpo permanezca en reposo o se mueva.

Ahora bien, la mecánica clásica está conformada por áreas de conocimiento que van desde el movimiento lineal de los cuerpos sólidos, con una posibilidad finita de grados de libertad hasta la mecánica de sistemas abiertos en movimiento continuo. Dentro de esta se encuentran las siguientes subdivisiones:

- a. Mecánica newtoniana: dio origen a las demás disciplinas y sus temáticas se dividen en cinemática (estudio del movimiento sin atender a las causas que lo originan), la estática (que estudia el equilibrio entre fuerzas), y la dinámica (que estudia el movimiento atendiendo a las fuerzas que lo originan).
- b. Mecánica analítica: se consolida como una formulación matemática muy potente de la mecánica newtoniana basada en el principio de Hamilton, que emplea el formalismo de variedades diferenciables, en concreto el espacio de configuración y el espacio físico.

El movimiento de los objetos (incluyendo el movimiento corporal humano), es algo natural en la vida diaria. Sin duda, el movimiento fue el primer aspecto del mundo físico que se estudió por completo. Dicho estudio puede rastrearse desde las antiguas civilizaciones del Asia Menor. Aunque los antiguos adquirieron una comprensión significativa del movimiento, no fue sino hasta los siglos ^{xvi} y ^{xvii}, que se estableció una comprensión moderna de lo que es el movimiento. Muchos de los científicos de la época contribuyeron a la actualización de este concepto, sin embargo, es pertinente resaltar los

trabajos de Galileo Galilei e Isaac Newton (Miralles, 2007; Viladot, 2001; Aguilar, 2000; Nigg, 1994).

Es costumbre dividir a la mecánica en las ramas de estudio que la componen, una de estas importantes ramas es la de la cinemática, que describe cómo se mueven los objetos (en este caso, describe el movimiento corporal) sin tener en cuenta las causas que lo producen. Esta área de estudio se limita esencialmente a describir la trayectoria de un cuerpo en función del tiempo. Teniendo en cuenta que un cuerpo en movimiento puede describir un desplazamiento en línea recta o rotar alrededor de un eje, la cinemática se puede dividir de la siguiente manera:

- a. Cinemática traslacional, que describe la trayectoria de un cuerpo en línea recta, sin tener en cuenta las causas que lo producen.
- b. Cinemática rotacional, que describe la trayectoria de un cuerpo que rota o gira alrededor de un eje, sin tener en cuenta las causas que lo producen.

El campo de conocimiento de la cinemática (sea traslacional o rotacional), se basa en dos términos muy importantes que permiten explicar de alguna forma la traslación o el desplazamiento realizado por un cuerpo en función del tiempo. Los conceptos en mención son:

- a. Concepto de velocidad (también denominado como *rapidez*), que se define en la cinemática como el desplazamiento realizado por el cuerpo que se mueve (representado este desplazamiento con la letra X), en función del tiempo (representado con la letra t minúscula). Una representación en fórmula matemática de la velocidad o rapidez es la siguiente:

$$V = X/t(1)$$

Esta descripción de velocidad hace referencia a un solo recorrido que realiza un cuerpo en un tiempo determinado. A este tipo de velocidad se le denomina como velocidad instantánea. Sin embargo, la velocidad de un cuerpo se puede definir no solamente teniendo en cuenta un solo desplazamiento en un solo tiempo sino que también es posible obtener un promedio de la velocidad de un objeto que recorre una distancia de un punto X_0 a un punto X_1 , partiendo en un t_0 y finalizando dicho recorrido en un t_1 . Así, se tiene en cuenta una fórmula para la velocidad promedio, que es como sigue:

$$V_p = (X_1 - X_0) / (T_1 - T_0) \quad (2)$$

b. Concepto de aceleración: se dice que un objeto cuya velocidad cambia con el tiempo está acelerado. De esta forma, la aceleración se define conceptualmente como los cambios en la velocidad de un objeto en función del tiempo. La fórmula matemática que representa esta definición conceptual es como sigue:

$$a = V/t \quad (3)$$

En donde la a es la aceleración del objeto en cuestión) la V , es la velocidad del objeto en movimiento (en un momento específico), y la t hace referencia al tiempo determinado en función de la velocidad del objeto en movimiento. Al igual que se observa con el concepto de velocidad, el concepto de aceleración también se divide en aceleración instantánea y promedio. La aceleración promedio se define como la diferencia entre la velocidad final alcanzada por el objeto en movimiento menos la velocidad inicial en la que el objeto se dispuso en movimiento sobre la diferencia entre el tiempo final en la que el objeto en movimiento alcanza la velocidad final, menos el tiempo inicial en el cual el objeto se dispone a moverse. La representación en fórmula matemática de la aceleración promedio la siguiente (Douglas, 2007).

$$a_p = (V_1 - V_0) / (T_1 - T_0) \quad (4)$$

Algo de historia acerca de la cinemática

Hacia 1605, Galileo Galilei hizo sus famosos estudios del movimiento de caída libre y de esferas en planos inclinados con el fin de comprender aspectos del movimiento relevantes, como el movimiento de los planetas y de las balas de cañón. Posteriormente, el estudio de la cicloide realizado por Evangelista Torricelli (1608-1647) configuró lo que se conocería como geometría del movimiento. El nacimiento de la cinemática moderna tiene lugar con la alocución de Pierre Varignon el 20 de enero de 1700 ante la Academia Real de las Ciencias de París. Fue allí cuando definió la noción de aceleración y mostró cómo es posible deducirla de la velocidad instantánea con la ayuda de un simple procedimiento de cálculo diferencial. En la segunda mitad del siglo XVIII se produjeron más contribuciones por Jean Le Rond d'Alembert, Leonhard Euler y André-Marie Ampere y continuaron con el enunciado de la ley fundamental del centro instantáneo de rotación en el movimiento plano, de Daniel Bernoulli (1700–1782).

El vocablo cinemática fue creado por André-Marie Ampere (1775–1836), quien delimitó el contenido de esta disciplina y aclaró su posición dentro del campo de la mecánica. Desde entonces y hasta nuestros días la cinemática ha continuado su desarrollo hasta adquirir una estructura propia. Con la teoría de la relatividad especial de Albert Einstein en 1905 se inició una nueva etapa, la cinemática relativista, donde el tiempo y el espacio no son absolutos y la velocidad de la luz sí lo es (Miralles, 2007; Viladot, 2001; Aguilar, 2000; Nigg, 1994).

Elementos básicos de la cinemática

Los elementos básicos de la cinemática son: espacio, tiempo y móvil.

En la mecánica clásica se admite la existencia de un espacio absoluto, es decir, un espacio anterior a todos los objetos materiales, el cual es independiente de la existencia de estos. Este espacio es el escenario donde ocurren todos los fenómenos físicos, y se supone que todas las leyes de la física se cumplen rigurosamente en todas las regiones del mismo. El espacio físico se representa en la mecánica clásica mediante un espacio puntual euclídeo.

Análogamente, la mecánica clásica admite la existencia de un tiempo absoluto que transcurre del mismo modo en todas las regiones del Universo y que es independiente de la existencia de los objetos materiales y de la ocurrencia de los fenómenos físicos.

El móvil más simple que se puede considerar es el punto material o partícula; cuando en la cinemática se estudia este caso particular de móvil, se denomina cinemática de la partícula, y cuando el móvil bajo estudio es un cuerpo rígido se lo puede considerar un sistema de partículas y hacer extensivos análogos conceptos; en este caso se le denomina cinemática del sólido rígido o del cuerpo rígido. La cinemática trata del estudio del movimiento de los cuerpos en general y, en particular, el caso simplificado del movimiento de un punto material. Para sistemas de muchas partículas, tales como los fluidos, las leyes de movimiento se estudian en la mecánica de fluidos.

El movimiento trazado por una partícula lo mide un observador respecto a un sistema de referencia. Desde el punto de vista matemático, la cinemática expresa cómo varían las coordenadas de posición de la partícula (o partículas) en función del tiempo. La función matemática que describe la trayectoria recorrida por el cuerpo (o partícula) depende de la velocidad (la rapidez

con la que cambia de posición un móvil) y de la aceleración (variación de la velocidad respecto del tiempo).

El movimiento de una partícula (o cuerpo rígido) se puede describir según los valores de velocidad y aceleración, que son magnitudes vectoriales. Si la aceleración es nula, da lugar a un movimiento rectilíneo uniforme y la velocidad permanece constante a lo largo del tiempo. Por el contrario, si la aceleración es constante con igual dirección que la velocidad, da lugar al movimiento rectilíneo uniformemente acelerado y la velocidad variará a lo largo del tiempo. Si la aceleración es constante con dirección perpendicular a la velocidad, da lugar al movimiento circular uniforme, donde el módulo de la velocidad es constante, cambiando su dirección con el tiempo.

Cuando la aceleración es constante y está en el mismo plano que la velocidad y la trayectoria, tiene lugar el movimiento parabólico, donde el componente de la velocidad en la dirección de la aceleración se comporta como un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado, y el componente perpendicular se comporta como un movimiento rectilíneo uniforme, y se genera una trayectoria parabólica al componer ambas (Miralles, 2007; Viladot, 2001; Aguilar, 2000; Nigg, 1994).

Cuando la aceleración es constante pero no está en el mismo plano que la velocidad y la trayectoria, se observa el efecto de coriolis. Lo anterior, da origen a cada uno de los movimientos que desde la cinemática se estudian, entre ellos el Movimiento Rectilíneo Uniforme (MRU), Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado (MRUA), el Movimiento Semiparabólico (MSP) y el Movimiento Parabólico (MP), los cuales serán descritos con mayor detalle más adelante en este capítulo.

La otra rama de la física mecánica es la dinámica, que por definición hace referencia al estudio del movimiento de un cuerpo (en trayectoria rectilínea o rotacional), teniendo en cuenta en este caso las causas que lo generan, asumiendo que la causa principal responsable del movimiento es la fuerza. Es en la dinámica en donde se asume que existen factores extrínsecos e intrínsecos al cuerpo en movimiento que generan que este mismo se mueva. Dentro de la dinámica cabe anotar las siguientes preguntas: ¿qué hace que un objeto en reposo comience a moverse?, ¿qué provoca que un cuerpo se acelere o se desacelere?, ¿qué ocurre cuándo un cuerpo hace un movimiento circular? Podría contestarse a todas estas preguntas que se requiere una fuerza. De esta forma, en la dinámica, se establecen dos cosas fundamentales: a) una relación entre fuerza y movimiento, y b) una relación causa efecto

entre fuerza y movimiento (Miralles, 2007; Viladot, 2001; Aguilar, 2000; Nigg, 1994).

Historia de la dinámica

Una de las primeras reflexiones sobre las causas de movimiento se debe al filósofo griego Aristóteles, quien definió el movimiento o lo dinámico como “la realización acto, de una capacidad o posibilidad de ser potencia, en tanto que se está actualizando”. Por otra parte, a diferencia del enfoque actual, Aristóteles invierte el estudio de la cinemática y dinámica, estudiando primero las causas del movimiento y después el movimiento de los cuerpos. Este enfoque dificultó el avance del conocimiento sobre este fenómeno hasta San Alberto Magno, quien inicialmente hizo notar esta dificultad, posteriormente con los estudios de los físicos Galileo Galilei e Isaac Newton. De hecho, Thomas Bradwardine en 1328 presentó en su “De proportionibus velocitatum in motibus”, una ley matemática que enlazaba la velocidad con la proporción entre motivos a fuerzas de resistencia. Su trabajo influyó la dinámica medieval durante dos siglos, pero, por lo que se ha llamado un accidente matemático en la definición de acrecentar, su trabajo se descartó y no se le dio reconocimiento histórico en su momento.

Los experimentos de Galileo sobre cuerpos uniformemente acelerados condujeron a Newton a formular sus leyes fundamentales del movimiento, las cuales presentó en su obra principal “Philosophiae Naturalis Principia Mathematica”. Los científicos actuales consideran que las leyes que formuló Newton dan las respuestas correctas a la mayor parte de los problemas relativos a los cuerpos en movimiento, pero existen excepciones. En particular, las ecuaciones para describir el movimiento no son adecuadas cuando un cuerpo viaja a altas velocidades con respecto a la velocidad de la luz o cuando los objetos son de tamaño extremadamente pequeños comparables a otros tamaños (Miralles, 2007; Viladot, 2001; Aguilar, 2000; Nigg, 1994).

A través de los conceptos de desplazamiento, velocidad y aceleración es posible describir los movimientos de un cuerpo u objeto sin considerar cómo han sido producidos, disciplina que se conoce con el nombre de cinemática. Por el contrario, la dinámica es la parte de la mecánica que se ocupa del estudio del movimiento de los cuerpos sometidos a la acción de las fuerzas. El cálculo dinámico se basa en el planteamiento de ecuaciones del movimiento y su integración. Para problemas extremadamente sencillos se

usan las ecuaciones de la mecánica newtoniana directamente auxiliados de las leyes de conservación. La ecuación esencial de la dinámica es la segunda ley de Newton (o ley de Newton-Euler) $F=m \cdot a$ donde F es la resultante de las fuerzas aplicadas, la m la masa y la a la aceleración. Con los conceptos relacionados con el de fuerza, en esta área de conocimiento de la dinámica, se comienzan a establecer relaciones igualmente con otros conceptos que se señalan a continuación:

Ley de conservación

Las leyes de conservación pueden formularse en términos de teoremas que establecen bajo qué condiciones concretas una determinada magnitud “se conserva”, es decir, permanece constante en valor a lo largo del tiempo a medida que el sistema se mueve o cambia con el tiempo. Además de la ley de conservación de la energía, las otras leyes de conservación importante toman la forma de teoremas vectoriales. Estos teoremas son:

El teorema de la cantidad de movimiento, que para un sistema de partículas puntuales requiere que sus fuerzas solo dependan de la distancia entre ellas y estén dirigidas según la línea que las une. En mecánica de medios continuos y mecánica del sólido rígido pueden formularse teoremas vectoriales de conservación de cantidad de movimiento.

El teorema del momento cinético, establece que bajo condiciones similares al anterior teorema vectorial la suma de momentos de fuerza respecto a un eje es igual a la variación temporal del momento angular (Douglas, 2007).

Inercia y masa inercial

La inercia es la propiedad de los cuerpos de no modificar su estado de reposo o movimiento uniforme, si sobre ellos no influyen otros cuerpos o si la acción de otros cuerpos se compensa. En física se dice que un sistema tiene más inercia cuando resulta más difícil lograr un cambio en el estado físico del mismo. Los dos usos más frecuentes en física son la inercia mecánica y la inercia térmica. La primera de ellas, es una medida de dificultad para cambiar el estado de movimiento o reposo de un cuerpo. La inercia mecánica depende de la cantidad de masa y del tensor de inercia del cuerpo; la inercia térmica mide la dificultad con la que un cuerpo cambia su temperatura al estar en contacto con otros cuerpos o ser calentado. La inercia térmica depende de

la cantidad de masa y de la capacidad calorífica. Las llamadas fuerzas de inercia son fuerzas ficticias o aparentes para un observador en un sistema de referencia no-inercial. La masa inercial es una medida de la resistencia de una masa al cambio en velocidad en relación con un sistema de referencia inercial (Miralles, 2007; Viladot, 2001; Aguilar, 2000; Nigg, 1994).

Trabajo y energía

El trabajo y la energía aparecen en la mecánica gracias a los teoremas energéticos. El principal, y de donde se derivan los demás teoremas, es el teorema de la energía. Este se puede enunciar en versión diferencial o en versión integral. En adelante se hará referencia al Teorema de la Energía Cinética (TEC). Gracias a este se puede establecer una relación entre la mecánica y las demás ciencias como la química y la electrotecnia, de donde deriva su vital importancia.

Fuerza y potencial

La mecánica de partículas o medios continuos tiene formulaciones ligeramente diferentes en las mecánicas clásica, relativista y cuántica. En todas ellas las causas del cambio se representan mediante fuerzas o conceptos derivados como la energía potencial asociada al sistema de fuerzas. En las dos primeras se usa fundamentalmente el concepto de fuerza, mientras que en la mecánica cuántica es más frecuente plantear los problemas en términos de energía potencial.

Algunos de los conceptos que se han abordado hasta este momento se desarrollarán a continuación en el apartado dedicado al término fuerza, así como las temáticas de leyes de Newton, diagramas de cuerpo libre, trabajo y energía (Miralles, 2007; Viladot, 2001; Aguilar, 2000; Nigg, 1994).

Concepto de fuerza

De modo intuitivo, se puede definir una fuerza como una especie o clase de “jalón” o “empujón” que se ejerce sobre un objeto, modificando el estado de movimiento de este último. Por ejemplo, cuando una persona empuja un carrito del supermercado, está ejerciendo una fuerza sobre

él. Cuando un niño jalona el camioncito con el que juega para arrastrarlo, está ejerciendo una fuerza sobre el mismo, que hace efectivamente que el juguete se mueva. Cuando un motor sube un elevador, un martillo le pega a un clavo o el viento sopla las hojas de un árbol, o cuando un atleta corre de la forma más rápida posible, se estará ejerciendo una fuerza.

Tanto si el objeto se mueve o no, cuando se ejerce una fuerza sobre él, este cambia de forma. Esto resulta evidente cuando se empuja un colchón o cuando un deportista que practica halterofilia, levanta una pesa. Se puede observar de esta forma, la pequeña deformación o acomodación de la palma de la mano cuando toma la barra de la pesa y la enrolla. De esta forma, siempre habrá una pequeña o gran deformación que da cuenta de la acción de una fuerza sobre un cuerpo, estableciéndose de esa manera una relación concreta entre la fuerza y el movimiento de un cuerpo, y una relación causal entre la fuerza como la causante o la responsable del movimiento o del equilibrio estático de un cuerpo.

Una de las formas más exactas de medir la fuerza (medición cuantitativa), es a través del uso de un dinamómetro. Normalmente este dispositivo se usa con mayor frecuencia para encontrar y calcular también el peso de un objeto (entendiéndolo como algo totalmente distinto al concepto de masa, ya que el peso hace referencia a la interacción entre la masa de un objeto con respecto a la fuerza de gravedad) (Miralles, 2007; Viladot, 2001; Aguilar, 2000; Nigg, 1994).

La fuerza, como magnitud física derivada o combinada, se toma como magnitud física vectorial, dado que además de tener un valor numérico acompañado de su correspondiente unidad de medida (en este caso, dentro del Sistema Internacional de Medidas, es el Newton), también tiene sentido y dirección. Es una magnitud vectorial que al ser susceptible de ser representada gráficamente a través de un vector (o una flecha) en un sistema de referencia, puede ser sumada bajo los métodos de sumatoria de vectores, los cuales serán descritos más adelante.

Esta definición si bien aplica para entender a simple vista el motivo por el cual un objeto se puede mover o se puede detener no está concretamente definida desde un punto de vista más científico. Es así que, pese a ser muy complicado definir la fuerza desde un punto de vista operacional desde la física mecánica, la fuerza es definida como “una influencia que al actuar sobre un objeto, hace que este cambie su estado de reposo o de movimiento”.

La fuerza tiene una cierta proporción de propiedades, que se describirán a continuación:

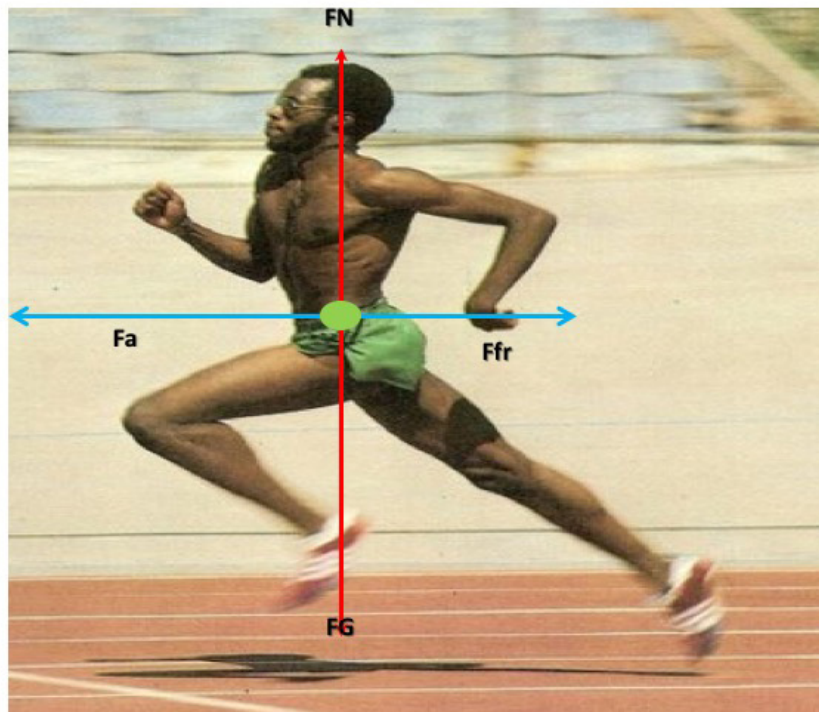
Una fuerza siempre es aplicada por un cuerpo sobre otro, de esta forma, cada vez que se pretenda modificar el estado de reposo o de movimiento sobre un objeto, debe ser otro cuerpo quien ejerza dicha fuerza *modificadora*. Un ejemplo de esta situación se puede observar en la figura 11, en donde el atleta toma impulso hacia arriba y hacia adelante, gracias, en parte a su fuerza de acción muscular, y dos, a la fuerza opuesta que ejerce el piso sobre los pies del atleta (Suárez, 2009; Viel, 2002; Belloch y Pérez, 2016).

Una fuerza se caracteriza por su módulo o valor numérico que va acompañado por la unidad de medida correspondiente. Como se mencionaba anteriormente, la unidad de medida de la Fuerza son los Newton. Dado que la fuerza tiene magnitud, sentido y dirección, es una magnitud vectorial, la figura 11 muestra cada una de las fuerzas que actúan sobre el cuerpo del atleta que está representada por un vector (o una flecha), las cuales tienen un sentido y una dirección.

Cada vez que un cuerpo A ejerce fuerza sobre un cuerpo B, este último también ejerce una fuerza sobre el primero, que generalmente es de la misma magnitud pero en sentido y dirección opuestos. En la figura 11 se observa dicha situación, para un cuerpo que se encuentra en equilibrio estático (Suárez, 2009; Viel, 2002; Belloch y Pérez, 2016).

Si dos o más fuerzas actúan al mismo tiempo sobre un cuerpo, su efecto es el mismo que el que tendría una sola fuerza, ya que todas las fuerzas vectoriales aplicadas se sumarían. Esta última parte se describirá más adelante con mayor detalle.

Figura 11. Fuerzas que actúan sobre el cuerpo del atleta en el momento de la carrera



Fuente: elaboración propia.

Se observa que existen dos fuerzas, representadas con vectores hacia adelante y hacia arriba, comprobando que para que un objeto modifique su estado de reposo o de movimiento, necesita de la acción de una fuerza.

Convenciones: F_a = Fuerza de acción, que hace que el atleta se mueva hacia adelante. F_N = fuerza normal, que hace que el deportista también se desplace hacia arriba. F_G = fuerza de gravedad, que se encarga de atraer al deportista de nuevo al piso. F_{fr} = Fuerza de fricción, que en este caso es ejercida por el viento sobre el cuerpo del deportista.

Figura 12. Cristo del Corcovado, en el cerro de pan de azúcar (Rio de Janeiro, Brasil)



La estatua del Cristo del Corcovado se encuentra en equilibrio estático, gracias a la acción de dos fuerzas, de igual módulo o valor numérico, pero que se encuentran en sentidos y direcciones opuestas. Una de las fuerzas es la de gravedad (FG), que está siendo ejercida por la tierra con respecto a la estatua, y la otra es la Normal (FN), que está siendo ejercida por la estatua sobre la tierra.

Fuente: elaboración propia.

Algo de historia: origen del concepto de la fuerza

El concepto de fuerza fue descrito originalmente por Arquímedes, aunque solo en términos estáticos. Arquímedes y otros creyeron que el “estado natural” de los objetos materiales en la esfera terrestre era el reposo y que los cuerpos tendían, por sí mismos, hacia ese estado si no se actuaba sobre ellos en modo alguno. De acuerdo con Aristóteles la perseverancia del movimiento requería siempre una causa eficiente (algo que parece concordar con la experiencia cotidiana, donde las fuerzas de fricción pueden pasar desapercibidas).

Galileo Galilei (1564–1642) sería el primero en dar una definición dinámica de fuerza, opuesta a la de Arquímedes, en la que estableció claramente la ley de la inercia al afirmar que un cuerpo sobre el que no actúa ninguna fuerza permanece en movimiento inalterado. Esta ley, que refuta la tesis de

Arquímedes, aún hoy día no resulta obvia para la mayoría de las personas con formación científica. Se considera que fue Isaac Newton el primero que formuló matemáticamente la moderna definición de fuerza, aunque también usó el término latino *vis* (fuerza) para otros conceptos diferentes. Además, Isaac Newton postuló que las fuerzas gravitatorias variaban según la ley de la inversa del cuadrado de la distancia (Suárez, 2009; Viel, 2002; Belloch y Pérez, 2016).

Charles Coulomb fue el primero que comprobó que la interacción entre cargas eléctricas o electrónicas puntuales también varía según la ley de la inversa del cuadrado de la distancia (1784). En 1798, Henry Cavendish logró medir experimentalmente la fuerza de atracción gravitatoria entre dos masas pequeñas utilizando una balanza de torsión. Gracias a lo cual pudo determinar el valor de la constante de la gravitación universal y, por tanto, pudo calcular la masa de la Tierra. Con el desarrollo de la electrodinámica cuántica, a mediados del siglo xx, se constató que la “fuerza” era una magnitud puramente macroscópica surgida de la conservación del momento lineal o cantidad de movimiento para partículas elementales. Por esa razón las llamadas fuerzas fundamentales suelen denominarse “interacciones fundamentales” (Suárez, 2009; Viel, 2002; Belloch y Pérez, 2016).

Algunos de los tipos de fuerzas más comunes dentro del estudio de la dinámica, y que se pueden evidenciar en el movimiento de un cuerpo (incluyendo el movimiento corporal humano), serán descritas a continuación:

Fuerzas de contacto y fuerzas a distancia

En un sentido estricto, todas las fuerzas naturales son fuerzas producidas a distancia como producto de la interacción entre cuerpos; sin embargo desde el punto de vista macroscópico, se acostumbra a dividir a las fuerzas en dos tipos generales:

a) Fuerzas de contacto, las que se dan como producto de la interacción de los cuerpos en contacto directo; es decir, chocando sus superficies libres (como la fuerza normal).

b) Fuerzas a distancia, como la fuerza gravitatoria o la coulombica entre cargas, debido a la interacción entre campos (gravitatorio, eléctrico, etc.) y que se producen cuando los cuerpos están separados a cierta distancia unos de los otros, por ejemplo: el peso.

c) Fuerzas internas y de contacto. Las fuerzas internas son similares a las fuerzas de contacto entre ambos cuerpos y si bien tienen una forma más complicada, ya que no existe una superficie macroscópica a través de la cual se den la superficie. La complicación se traduce por ejemplo en que las fuerzas internas necesitan ser modelizadas mediante un tensor de tensiones en que la fuerza por unidad de superficie que experimenta un punto del interior depende de la dirección a lo largo de la cual se consideren las fuerzas. Lo anterior se refiere a sólidos, en los fluidos en reposo las fuerzas internas dependen esencialmente de la presión, y en los fluidos en movimiento también la viscosidad puede desempeñar un papel importante.

d) Fricción. La fricción en sólidos puede darse entre sus superficies libres en contacto. En el tratamiento de los problemas mediante mecánica newtoniana, la fricción entre sólidos frecuentemente se modeliza como una fuerza tangente sobre cualquiera de los planos del contacto entre sus superficies, de valor proporcional a la fuerza normal. El rozamiento entre sólido-líquido y en el interior de un líquido o un gas depende esencialmente de si el flujo se considera laminar o turbulento y de su ecuación constitutiva.

e) Fuerza gravitatoria. En mecánica newtoniana la fuerza de atracción entre dos masas, cuyos centros de gravedad están lejos comparadas con las dimensiones del cuerpo, viene dada por la ley de la gravitación universal de Newton, la cual dice que entre dos cuerpos existirá atracción, la cual dependerá de qué tan cerca estén uno del otro, y de las masas de los mismos. Se sabe que habrá más atracción en la medida en la que estén más cerca los cuerpos que se atraen y sean de mayor masa (Miralles, 2007; Suárez, 2009; Viel, 2002; Belloch y Pérez, 2016; Nigg, 1994).

Magnitudes físicas escalares y vectoriales

Anteriormente se abordó el tema de las magnitudes físicas. En los conceptos de mecánica que desarrollaremos, nos encontraremos con dos diferentes tipos de magnitudes: escalares y vectoriales.

Las magnitudes escalares son aquellas que quedan totalmente determinadas dando un sólo número real y una unidad de medida. Ejemplos de este tipo de magnitud son la longitud de un hilo, la masa de un cuerpo o el tiempo transcurrido entre dos sucesos. Se las puede representar mediante segmentos tomados sobre una recta a partir de un origen y de longitud igual al número real que indica su medida. Otros ejemplos de magnitudes

escalares son la densidad; el volumen; el trabajo mecánico; la potencia; la temperatura.

A las magnitudes vectoriales no se las puede determinar completamente mediante un número real y una unidad de medida. Por ejemplo, para dar la velocidad de un móvil en un punto del espacio, además de su intensidad se debe indicar la dirección del movimiento (dada por la recta tangente a la trayectoria en cada punto) y el sentido de movimiento en esa dirección (dado por las dos posibles orientaciones de la recta). Al igual que con la velocidad ocurre con las fuerzas: sus efectos dependen no solo de la intensidad sino también de las direcciones y sentidos en que actúan. Otros ejemplos de magnitudes vectoriales son la aceleración; el momentum (o cantidad de movimiento—momento de movimiento); el momentum angular. Para representarlas hay que tomar segmentos orientados, o sea, segmentos de recta cada uno de ellos determinado entre dos puntos extremos dados en un cierto orden (Miralles, 2007; Suárez, 2009; Viel, 2002; Belloch y Pérez, 2016; Nigg, 1994).

La tabla 9 muestra algunos ejemplos de las magnitudes físicas escalares y vectoriales de común uso.

Tabla 9. Algunos ejemplos de magnitudes físicas vectoriales y escalares más comunes

Magnitudes físicas escalares	Magnitudes físicas vectoriales
Volumen (m^3)	Fuerza (N)
Superficie (m^2)	Velocidad (m/s)
Temperatura ($^{\circ}\text{K}$)	Aceleración (m/s^2)
Tiempo (s)	Desplazamiento (m)
Masa (kg)	
Presión (Pa)	

Fuente: elaboración propia (2012).

En el contexto del análisis de movimiento corporal humano en el desarrollo de gestos deportivos, las magnitudes físicas vectoriales son las que se destacan más, sobre todo a la hora de describir el comportamiento de una cadena cinética a partir de la acción muscular. Dicha acción se toma como vectores de acción muscular, los cuales son determinados a partir de la acción

de cada músculo durante el movimiento que facilita en el desarrollo del gesto deportivo analizado.

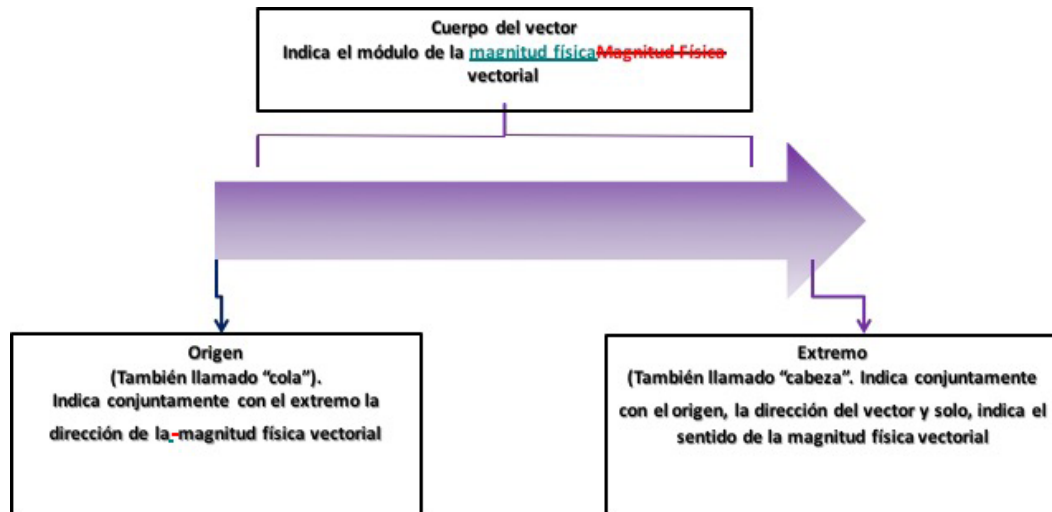
Definición de vector: ¿qué es?, ¿para qué sirve?

Existen variadas definiciones de lo que es un vector y de acuerdo con cada definición existente se define su objetivo o su uso. Sin embargo, desde la física, (concretamente desde la dinámica), un vector se puede definir de dos formas: a) se define como un segmento (una línea) orientado en un sistema de referencia (en este caso en un plano cartesiano o en un plano corporal), b) la representación gráfica, de una magnitud física vectorial independiente de cómo se quiera definir un vector, cualquiera de estos dos axiomas lleva concretamente a establecer las partes más elementales de lo que es a nivel gráfico, una flecha, la cual está constituida de la siguiente forma:

- a. Todo vector tiene un origen.
- b. Todo vector tiene un extremo (o cabeza).
- c. Todo vector tiene un cuerpo.

Desde el punto de vista de representación gráfica, cada una de estas partes tiene una representación al momento de determinar una adecuada representación de una magnitud física vectorial. Como se ha comentado anteriormente, las magnitudes físicas vectoriales además de tener un módulo (que corresponde en este caso con un valor numérico y su unidad de medida correspondiente) poseen una dirección y un sentido. Cada una de las partes de la representación gráfica del vector, señala cada una de las características de la magnitud física vectorial. De esta forma, el origen del vector indica, conjuntamente con el extremo (cabeza) del mismo, la dirección de la magnitud física vectorial. Entre tanto, solo el extremo (la cabeza) del vector indica el sentido de la magnitud vectorial y el cuerpo del vector indica el módulo o valor numérico del mismo. Se debe tener en cuenta también que en una magnitud física vectorial, el sentido siempre indica hacia donde se dirige dicha magnitud (en un sistema de referencia), mientras que la dirección tiene en cuenta de dónde viene dicha magnitud y hacia dónde se dirige (cuando el vector está ubicado en un sistema de referencia) (Douglas, 2007; Miralles, 2007; Suárez, 2009; Viel, 2002; Belloch y Pérez, 2016; Nigg, 1994). La figura 13 señala cada una de las partes de un vector.

Figura 13. Partes de un vector, como principal representante gráfico de una magnitud física vectorial

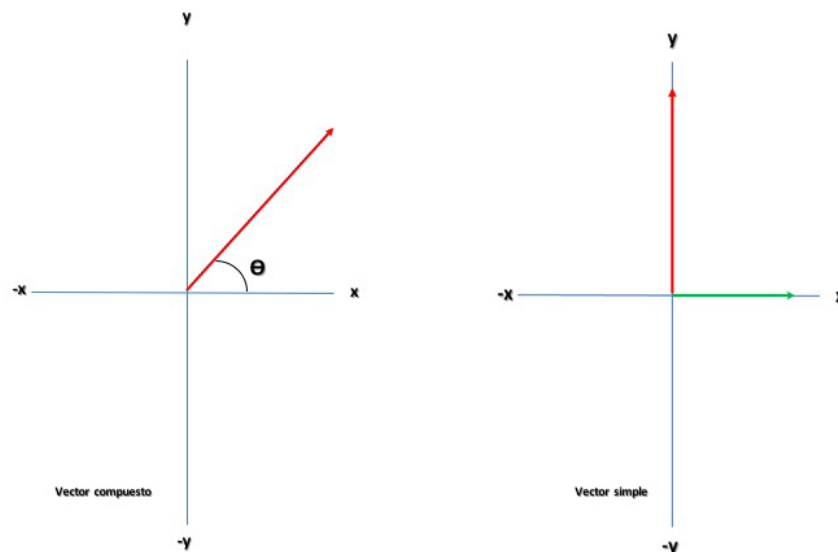


De igual forma, los vectores que son la representación gráfica de una magnitud física vectorial, se pueden clasificar de acuerdo a su ubicación en el sistema de referencia (en este caso, de acuerdo con su ubicación en un plano cartesiano o en un plano corporal). En ese sentido, si el vector se ubica de forma completa sobre cualquiera de los ejes que conforman el sistema de referencia (incluyendo su origen, su extremo y su cuerpo ubicado totalmente sobre el eje X o Y del sistema de referencia—plano cartesiano, se denominará como un vector simple. Si por el contrario, el vector se ubica atravesando uno o más cuadrantes de un sistema de referencia—plano cartesiano (esto es, que dicho vector tendrá un ángulo de inclinación con respecto al mismo sistema de referencia en donde se ubica), entonces será denominado como un vector compuesto. La figura 14 muestra las diferencias entre un vector simple y un vector compuesto (Douglas, 2007; Miralles, 2007; Suárez, 2009; Viel, 2002; Belloch y Pérez, 2016; Nigg, 1994).

Operaciones matemáticas con vectores

Como se había comentado anteriormente, las magnitudes físicas escalares, al solo ser representadas mediante un módulo o valor numérico concreto, pueden ser el insumo básico para la realización de cualquier operación aritmética ya reconocida, como la suma, la resta, la multiplicación y la división. El resultado de las operaciones aritméticas realizadas con las magnitudes físicas escalares también se expresa mediante un valor numérico y la unidad de medida correspondiente. Sin embargo, como las magnitudes físicas vectoriales son más complejas, dado que no tienen solo un módulo expresado en un valor numérico con su unidad de medida correspondiente, sino que también poseen una dirección y un sentido, que les permite ser representadas, no solo numéricamente, sino gráficamente en un sistema de referencia. De acuerdo con lo anterior, las operaciones que se realizan con magnitudes físicas vectoriales, deben representarse tanto numéricamente como gráficamente.

Figura 14. Vectores simples y vectores compuestos, de acuerdo con su ubicación en el sistema de referencia



El vector compuesto siempre tendrá un ángulo de inclinación Θ con respecto al sistema de referencia en el cual se ubica. Los vectores simples se ubican completamente en el sistema de referencia

Existen dos grandes métodos para la sumatoria/operación con magnitudes físicas vectoriales, uno de ellos es el gráfico, en donde se incluye concretamente el método del paralelogramo. Dentro de los métodos matemáticos para la sumatoria de vectores se encuentra: a) el método de los componentes, b) el método aritmético (o de suma y resta de vectores) y c) el método basado en el teorema de Pitágoras. Teniendo en cuenta lo anterior, a continuación se describirán cada uno de los métodos que se tienen en cuenta para realizar operaciones (sumatoria) de magnitudes físicas vectoriales (Douglas, 2007; Belloch y Pérez, 2016; Nigg, 1994).

Sumatoria de vectores: método gráfico (o del paralelogramo)

Cada uno de los métodos de sumatoria de magnitudes vectoriales posee una serie de *reglas* básicas o de criterios que se deben cumplir a la hora de hacer uso de ellos. Los criterios establecen qué clase de vectores se pueden sumar, de acuerdo con sus características y criterios, que permitan expresar un resultado de dicha sumatoria en términos tanto numéricos—matemáticos como gráficos. El método gráfico del paralelogramo permite la suma de varios vectores (cuantos se deseen o se necesiten sumar), siempre y cuando se cumplan los siguientes criterios, desde el procedimiento mismo y desde las características de los vectores a sumar:

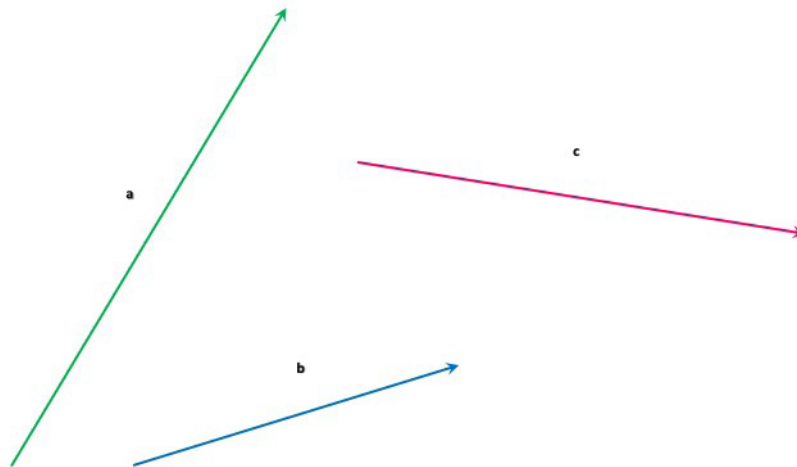
- Los vectores a sumar se deben disponer en parejas, uniendo cada vector con el que se va a sumar en una unión *cola—cola* (origen del primer vector con el origen del segundo vector a sumar).
- Los vectores que se sumarán bajo este método gráfico, generalmente no tendrán un módulo definido (es decir, no tienen un valor numérico que los represente, ni mucho menos una unidad de medida que acompañe al módulo o valor numérico), pero sí tienen un sentido y una dirección establecidas desde el inicio.
- Con respecto al anterior criterio, en la sumatoria de vectores que aplique el método gráfico del paralelogramo, los vectores a sumar, no solo deben respetar el criterio de unión *cola—cola*, sino que también deben mantenerse en la misma dirección y sentido que cada vector tiene inicialmente.

Los resultados obtenidos por la sumatoria deberán asumirse a la forma de un paralelogramo, y no necesariamente se ubicarán en un sistema de referencia, dado que a pesar de que los vectores sumados tienen sentido y dirección, no poseen un valor numérico o módulo (Douglas, 2007; Belloch y Pérez, 2016; Nigg, 1994).

Proceso de sumatoria de vectores mediante el método gráfico del paralelogramo

Se tienen los siguientes vectores que se pretenden sumar, que siguen los criterios del método gráfico del paralelogramo (ver figura 15).

Figura 15. Vectores que se quieren sumar a través del método gráfico del paralelogramo



Fuente: elaboración propia.

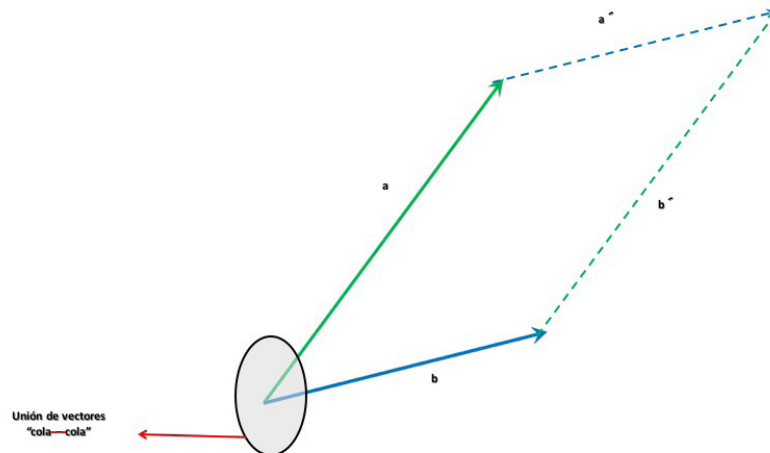
Para realizar una sumatoria mediante el método gráfico de vectores, primero se debe verificar que los vectores cumplan con el criterio básico para que se puedan sumar gráficamente, que es que no tengan un módulo o valor numérico, aunque sí deben tener un sentido y una dirección que a la hora de aplicar el método gráfico, se debe mantener. Como se observa en la figura 15, los vectores propuestos no tienen módulo o valor numérico, pero sí tienen un sentido y una dirección (Douglas, 2007; Belloch y Pérez, 2016; Nigg, 1994).

Paso seguido se deben comenzar a establecer las parejas de sumatoria, mediante una unión de los vectores a sumar en la forma *cola-cola* (origen con origen), en donde se debe mantener el mismo sentido y dirección de los vectores iniciales. Una vez se ha establecido dicha unión (o pareja de

sumatoria), se deben trazar los reflejos de cada uno de los vectores a sumar, tal cual como si cada uno de ellos estuviera “mirándose en un espejo”. Cuando se trazan dichos reflejos, la figura que se forma, es la de un paralelogramo, que por definición, se entiende como una figura geométrica de cuatro lados o cuadrilátero, con dos lados paralelos entre sí. La figura 16 muestra este proceso.

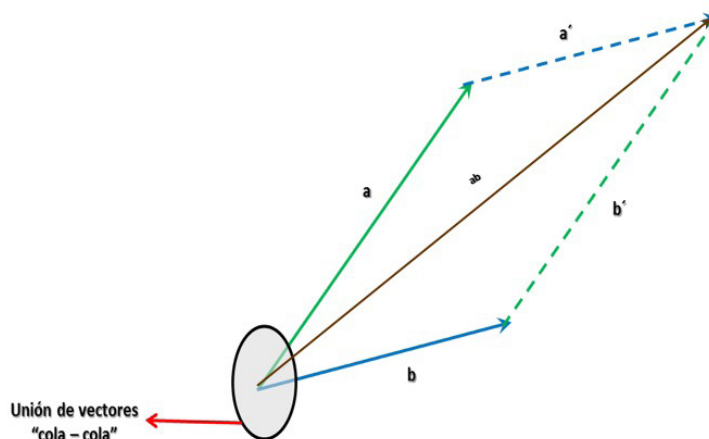
Posterior a la determinación de la pareja de sumatoria y con el paralelogramo establecido (como se observa en la figura 16), se puede obtener la resultante de dicha sumatoria, que quedará representada en el paralelogramo, por aquel vector que atraviesa en forma oblicua la estructura del paralelogramo, disponiendo el origen (o la *cola*) del vector resultante en el punto de unión de los orígenes o *colas* de los vectores que conforman la pareja de sumatoria de vectores, hasta el punto en donde los reflejos de los vectores sumados se unen (Douglas, 2007; Belloch y Pérez, 2016; Nigg, 1994). La figura 16 muestra el vector resultante de esta sumatoria gráfica inicial.

Figura 16. Conformación de un paralelogramo a partir de la elaboración de la “pareja de sumatoria” con los vectores en cuestión y sus correspondientes reflejos



Se puede observar en dicha figura que el reflejo del vector a , se denomina a' , en tanto que el reflejo del vector b , se denomina b' .

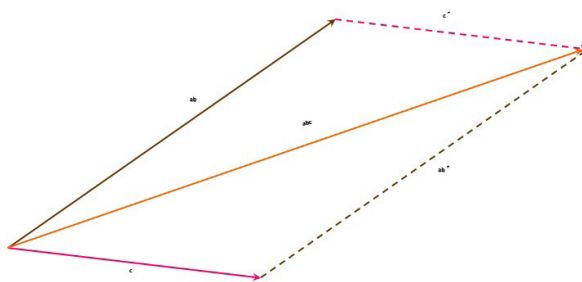
Figura 17. Vector resultante de la sumatoria gráfica de los dos vectores a y b



El vector resultante atraviesa en forma oblicua al paralelogramo, dispone su origen (o su *cola*), en el punto de unión de los dos vectores que se sumaron (a y b), y finaliza con su extremo (o su *cabeza*), en donde se unen los reflejos de los vectores a sumar (a' y b'). El vector resultante recibe el nombre de ab .

Sin embargo, en un inicio se habían propuesto tres vectores iniciales para suma. Para seguir sumando el vector de nombre c a la suma ya realizada, se aplica el mismo procedimiento, en donde al vector resultante ab , se le sumará el vector c. En este caso, se debe respetar el mismo criterio básico de que los vectores a sumarse, no pierdan el sentido y la dirección originales, y que su unión (que conformará la pareja de sumatoria de vectores) se haga "cola-cola" (origen con origen). La figura 18 muestra la disposición de la nueva pareja de vectores a sumarse.

Figura 18. Sumatoria de vectores mediante el método gráfico del paralelogramo



Como son tres vectores iniciales propuestos a sumar, al vector resultante del anterior proceso (vector ab), se le suma el vector c, siguiendo los mismos criterios contemplados en el método para tal fin.

En la anterior figura se observa que se dispone el vector resultante de la primera pareja de sumatoria denominada como vector ab , en unión “cola-cola” con el vector c , sin que ninguno de los vectores pierda su sentido y dirección originales. Se hacen los correspondientes reflejos del vector ab , denominado como ab' , y del vector c , denominado c' , conformando de esta forma el paralelogramo que da origen al nombre del método. Posteriormente, se traza el vector resultante de la sumatoria, que de nuevo, atraviesa al paralelogramo en forma oblicua, disponiendo dicho vector resultante con su origen (“cola”) en el punto de unión de los vectores a sumar, y llegando hasta el punto de unión de los reflejos de los vectores (Douglas, 2007; Belloch y Pérez, 2016; Nigg, 1994). El vector resultante final de la sumatoria de los tres vectores a , b y c desde el punto de vista gráfico es el vector abc , de color naranja en la figura 18.

Ventajas y desventajas del método gráfico del paralelogramo para la suma de vectores

Este método y los resultados que genera son muy precisos desde el punto de vista gráfico, lo cual puede ser una ventaja. De igual manera este método permite sumar todos los vectores que se deseen o se necesiten, siempre y cuando los vectores se dispongan en forma adecuada (como se señala en los criterios anteriormente descritos). Igualmente, otra ventaja que tiene este método es que permite hacer sumatoria de vectores que no tienen un módulo o valor numérico, pero que sí tienen un sentido y una dirección.

Las desventajas de este método radican en la imposibilidad de generar un resultado numérico y/o matemático exacto, dado que no tiene en cuenta valores numéricos (o módulo) de los vectores que se suman. Este método tampoco maneja ninguna clase de fórmulas matemáticas que de alguna forma permitan realizar operaciones aritméticas o de naturaleza similar con los vectores. Esta desventaja se ve reflejada en el resultado de la sumatoria, que en este caso, solo será precisa desde el punto de vista gráfico, pero no será exacta desde otros puntos de vista. Otra de las desventajas que tiene este método, es que tanto los vectores que se sumarán como los vectores resultantes obtenidos después de la aplicación del método, no están ubicados en un sistema de referencia (plano cartesiano o plano corporal), por lo que el resultado gráfico obtenido no es preciso en cuanto a dirección y sentido, dado por los puntos de referencia que sí tiene en cuenta un sistema de referencia.

En el análisis de movimiento, generalmente los vectores que se asumen para tal, son los provenientes de la acción muscular (vectores de fuerza de acción muscular), que se obtienen como consecuencia del análisis del comportamiento que tienen las diferentes cadenas cinéticas en el desarrollo de gestos deportivos (en este caso particular). Este método de sumatoria de vectores es bastante útil cuando se tienen vectores de acción muscular, generados por un solo músculo, con el fin de establecer solo un vector de acción representativo de todo el músculo. Sin embargo, el resultado obtenido solo será exacto desde el punto de vista gráfico, y para hacer este método mucho más preciso, sería necesario tener en cuenta otros parámetros para que el resultado sea mucho más exacto (Douglas, 2007; Belloch y Pérez, 2016; Nigg, 1994).

Sumatoria de vectores: métodos matemáticos

Como se describía al inicio de esta sección, existe una clasificación que agrupa los métodos de sumatoria de vectores en dos grandes grupos: a) los de sumatoria gráfica de vectores, dentro de esta clasificación se cuenta el método gráfico del paralelogramo, explicado en el anterior segmento. A continuación se describe cada uno de los métodos que hacen parte del segundo gran grupo de métodos matemáticos para la sumatoria de vectores.

Sumatoria de vectores: método de componentes

Uno de los métodos que tal vez cobra vital importancia a la hora de hacer operaciones matemáticas con vectores compuestos, es el método de los componentes. Sumar vectores gráficamente usando el método del paralelogramo, mediante un sistema que no da resultados exactos en cuanto al valor matemático, el sentido y la dirección de los vectores resultantes, no es muy seguro y ni siquiera útil para vectores en tres dimensiones. Se describirá a continuación este método que es más exacto, pues permite obtener resultados más precisos, desde el punto de vista matemático y gráfico.

Cabe anotar que el método de los componentes, así como todos los métodos matemáticos ubican tanto los vectores a sumar, como el vector resultante de dicha sumatoria en un sistema de referencia. Esto hace que los resultados concretos de las operaciones matemáticas realizados con los vectores sumados tengan un resultado exacto desde el punto de vista de sentido y

dirección. De igual forma, se considera que el método de los componentes es matemático dado que utiliza operaciones matemáticas y/o trigonométricas que permiten obtener resultados exactos, también desde esa perspectiva (Douglas, 2007; Belloch y Pérez, 2016; Nigg, 1994).

Al igual que se observa con el método gráfico del paralelogramo, el método matemático de los componentes tiene unos aspectos clave o *reglas* que se deben seguir a la hora de aplicar este método en la sumatoria de vectores. De acuerdo con lo anterior, las reglas son las siguientes:

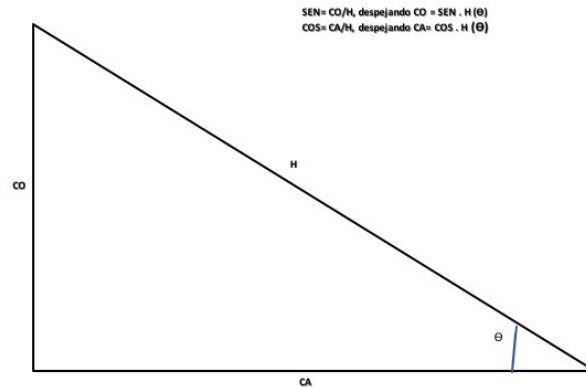
El método matemático de sumatoria de vectores a partir del método de los componentes solo permite tratar desde un punto de vista matemático y gráfico, vectores compuestos (como el que se muestra en la figura 25A. Por definición, el método de los componentes solo realiza operaciones con vectores compuestos, para obtener los vectores componentes de ese vector compuesto.

Para obtener los vectores componentes (c_1 sobre el eje X y c_2 sobre el eje Y), el método se basa en la utilización de funciones trigonométricas (seno y coseno). La razón por la cual se utilizan estas funciones trigonométricas, radica en la siguiente explicación trigonométrica:

La figura 19, que se mostrará a continuación, tiene en cuenta un triángulo rectángulo, el cual está constituido por tres lados, dos de los cuales hacen las veces de catetos (cateto opuesto y cateto adyacente), y uno de ellos es la hipotenusa. Entre los dos catetos se forma un ángulo recto o de 90° , característico de un triángulo rectángulo. En el caso concreto del método de los componentes, es como si solo se tuviera el dato concreto del valor de la hipotenusa, con su grado de inclinación con respecto a los catetos (ángulo Θ), pero no el valor numérico (o módulo) de los catetos. De esta forma, a partir del ángulo de inclinación de la hipotenusa sobre los catetos (ángulo Θ), más el valor numérico de la hipotenusa, más el uso de las funciones trigonométricas seno y coseno, es posible hallar el valor numérico de los catetos.

Ya teniendo en cuenta la base matemática/trigonométrica que explica de dónde salen las fórmulas que permiten calcular el valor numérico (o módulo) de cada uno de los vectores componentes de un vector compuesto, a continuación se procederá a explicar el procedimiento mediante el cual se puede dar tratamiento a un vector compuesto mediante este método (Douglas, 2007; Belloch y Pérez, 2016; Nigg, 1994).

Figura 19. Triángulo rectángulo con sus partes: hipotenusa, ángulo de inclinación de la hipotenusa sobre los catetos (ángulo Θ), y catetos (opuesto y adyacente)



En la figura se observa que de las funciones de seno= cateto opuesto/hipotenusa, se despeja el valor del cateto opuesto, que sería igual a $CO = \text{seno}$ por el ángulo Θ de la hipotenusa; de la función de coseno= cateto adyacente/hipotenusa, se despeja el valor del cateto adyacente, quedando $CA = \text{coseno}$ por el ángulo Θ de la hipotenusa. Por regla general, para el método de sumatoria matemática de los componentes, el cateto adyacente (CA) siempre será el c1 (componente 1) del vector compuesto, ubicado sobre el eje X, mientras que el cateto opuesto (CO), siempre será el c2 (componente 2) del vector compuesto, y se ubicará en el eje Y.

Procedimiento: método de los componentes

En la figura 19 se observa el siguiente vector de fuerza de acción muscular, con un módulo o valor numérico dado en Newton de fuerza, y con un ángulo de inclinación Θ de un valor específico. La idea es calcular a partir de los datos que se ofrecen, los valores numéricos o módulos de los vectores componentes: En la figura se observa un vector compuesto (dado que cumple con las características de estar ubicado en un cuadrante del sistema de referencia, además de tener un ángulo de inclinación con respecto al mismo plano corporal). Los vectores componentes de este vector compuesto serían c1= a vector componente sobre X (vector con sentido hacia adelante) y c2= a vector componente sobre Y (vector con sentido hacia arriba) (Douglas, 2007; Belloch y Pérez, 2016; Nigg, 1994).

La figura 20 muestra la gráfica con los componentes antes mencionados. Para el cálculo del módulo (o valor numérico) de los vectores componentes

c_1 y c_2 , se utilizan las siguientes fórmulas, que van de acuerdo con la anterior explicación acerca de su origen trigonométrico:

Para c_1 (vector componente en x): $\cos \theta$. (valor en N del vector compuesto)

$$C_1 = \cos 100^\circ \cdot (50 \text{ N})$$

$$C_1 = 43.1 \text{ N}$$

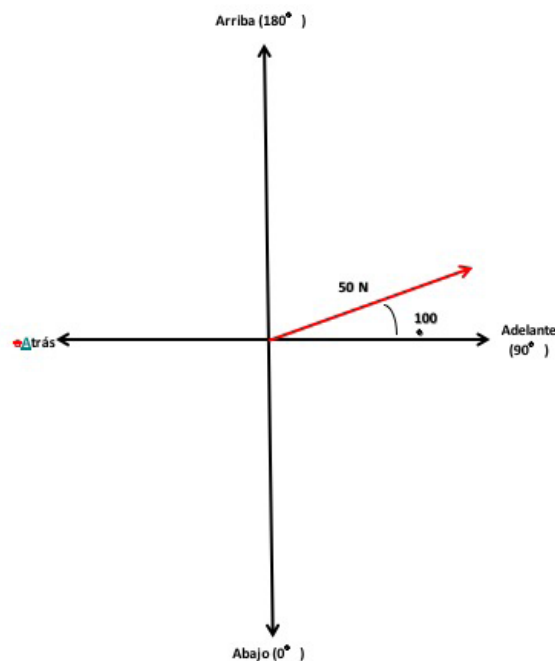
Para c_2 (vector componente en y): $\sin \theta$. (valor en N del vector compuesto)

$$C_2 = \sin 100^\circ \cdot (50 \text{ N})$$

$$C_2 = 25.3 \text{ N}$$

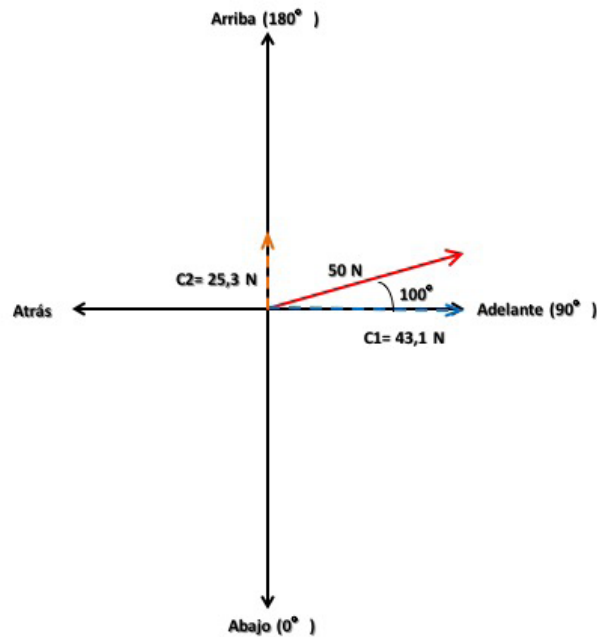
De esta forma, se obtiene el valor para cada uno de los vectores componentes, provenientes del vector compuesto inicial. Los vectores componentes con su valor correspondiente, hacen parte de la figura 20.

Figura 20. Vector de acción muscular del deltoides anterior en la flexión de hombro (flexión de la articulación glenohumeral), de 100° , con un valor de 50 N de fuerza de acción muscular, situado en un plano sagital



Fuente: elaboración propia.

Figura 21. Vectores componentes c_1 y c_2 del vector compuesto inicial, correspondiente con la acción del deltoides anterior en la flexión de la articulación glenohumeral, con ángulo de inclinación de 100° y valor numérico (o módulo) de 50 N.



Esta figura muestra los vectores componentes c_1 (en x, en sentido hacia adelante, en color azul, con un valor de 43,1 N. el componente c_2 muestra un valor numérico de 25,3 N.

Fuente: elaboración propia.

El objetivo fundamental del método de los componentes, es el de convertir un vector compuesto en sus vectores simples, que son fácilmente ubicables en un eje del sistema de referencia. De esta forma, si bien es cierto que este método se considera como una alternativa para “sumar” vectores, como tal sirve para obtener los vectores componentes (vectores simples) de un vector compuesto, y además permite desarrollar procesos posteriores de sumatorias más complejas de magnitudes vectoriales, como se describirá a partir de un ejemplo al final de este segmento.

Las ventajas de este método en cuanto al tratamiento de vectores, radican en que los resultados obtenidos por su aplicación del mismo son muy exactos, tanto desde el punto de vista del valor numérico (o módulo del vector) obtenido, como desde el resultado gráfico, pues tanto el vector compuesto como sus vectores componentes se ubican en un sistema de referencia.

Esto permite vislumbrar la siguiente ventaja del método y es la de que el resultado vectorial final también es muy exacto desde el punto de vista del sentido y la dirección, pues al estar los vectores (compuesto y componentes) dispuestos en un sistema de referencia (que tenga puntos de referencia), se pueden observar sentido y dirección concretas.

El método también utiliza funciones trigonométricas en sus fórmulas para hallar el valor del cateto opuesto y del cateto adyacente (valor de c_1 y de c_2), por lo que el resultado numérico es exacto. Las desventajas de este método es que como tal, más operaciones matemáticas no se pueden realizar, aunque como se mencionaba anteriormente, este método da un punto de inicio para que mediante la aplicación de los otros métodos de sumatoria vectorial, se puedan hacer más operaciones matemáticas con magnitudes vectoriales. La otra desventaja es que solo permite hacer tratamiento de vectores compuestos, que tengan un valor numérico (o módulo) bien definido con su correspondiente ángulo Θ de inclinación, con respecto al sistema de referencia en donde se encuentre ubicado. A continuación, se hará una descripción del siguiente método matemático para operaciones con vectores (Douglas, 2007; Belloch y Pérez, 2016; Nigg, 1994).

Sumatoria de vectores: método aritmético

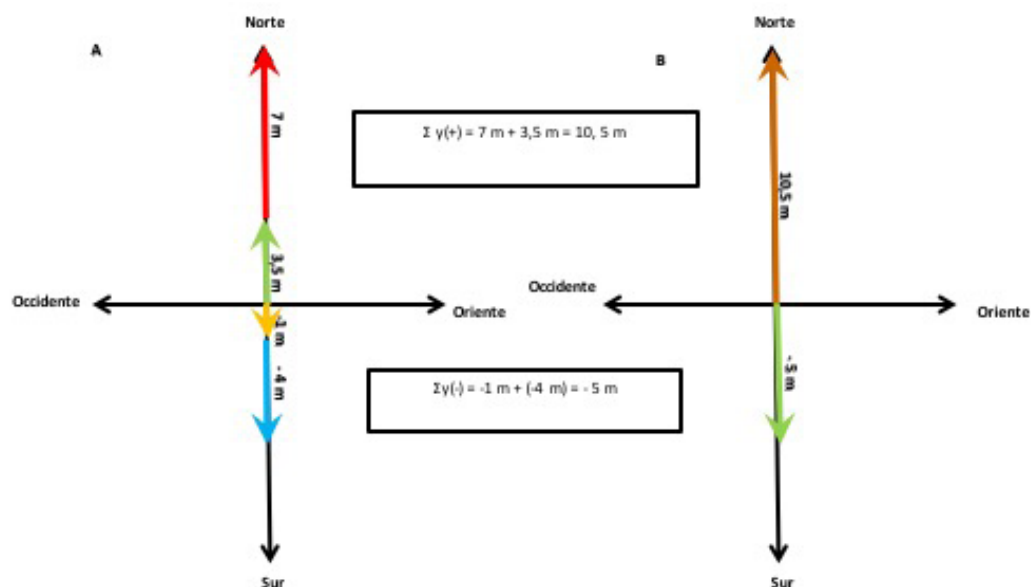
De todos los métodos matemáticos que se contemplan para realizar operaciones con magnitudes físicas vectoriales, el aritmético es tal vez el más simple, pero no por eso, el más fácil de entender. Al igual que los demás métodos matemáticos de operaciones con magnitudes vectoriales, este método permite obtener resultados muy exactos, tanto gráficos como matemáticos, debido a que en sus características utiliza operaciones aritméticas de suma y resta para dar resultados, y además hace uso de sistemas de referencia para ubicar los vectores que se desean sumar.

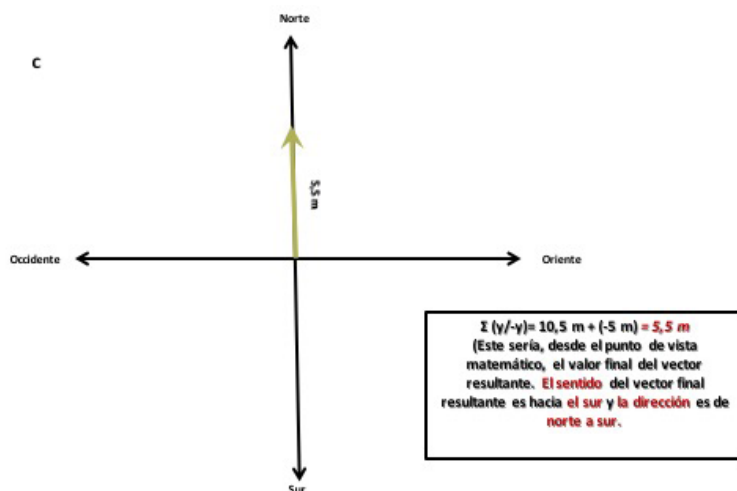
El método aritmético de operaciones con magnitudes vectoriales, tiene en cuenta al igual que los métodos que se han revisado hasta el momento, algunas “reglas” o características básicas, que serán descritas a continuación. La primera característica de este método es que se pueden sumar o restar tantos vectores como se deseen, siempre y cuando los que se quieran tratar estén ubicados en un solo eje del sistema de referencia. La segunda característica de este método, que es común a todos los métodos matemáticos, es la de que los vectores a tratar requieren tener un valor numérico (o módulo) específico,

acompañado de su correspondiente unidad de medida, y deben establecer igualmente un sentido y una dirección concretas. Con respecto a esta última característica descrita, el valor (positivo o negativo) que pueda asumir cada uno de los vectores que se pretenden sumar depende en gran parte del sentido que cada vector tenga, dado que el sentido del vector apuntará hacia la parte positiva o negativa de cada eje (bien sea, hacia la parte negativa del eje Y o del eje X, o a la parte positiva o negativa del eje Y). Cuando el vector tiene un sentido que está apuntando hacia la parte negativa de cualquiera de los ejes del sistema de referencia, su valor numérico (o módulo), asumirá dicho signo, lo mismo que cuando el vector presenta su sentido apuntando hacia la parte positiva de cualquiera de los ejes del sistema de referencia. Por último, los vectores cuyo valor numérico sea negativo se restan, y los que tengan un valor positivo se suman (Douglas, 2007; Belloch y Pérez, 2016; Nigg, 1994).

La figura 22 muestra un ejemplo de sumatoria de vectores bajo las características o “reglas” del método aritmético. Los vectores que se quieren sumar en esta ocasión son vectores simples, ubicados de diferentes formas en un eje concreto del sistema de referencia. Los vectores utilizados para este ejemplo, son vectores de desplazamiento, cuya unidad de medida acompañante es en metros (m).

Figura 22. Sumatoria de vectores de desplazamiento (en metros (m)), bajo los criterios del método aritmético para la sumatoria de vectores





En A se observan los vectores que se pretenden sumar, todos ubicados en el eje Y del sistema de referencia. En B se observa la sumatoria de vectores por cada lado (sumatoria por su lado positivo y por el lado negativo), y en C se observa la sumatoria final de los vectores teniendo en cuenta los resultados del lado negativo y el lado positivo.

Las ventajas de este método de sumatoria matemática de magnitudes vectoriales radican en que se pueden sumar cuántos vectores simples se requiera o hallan disponibles. Otra de las ventajas es que permite ubicar tanto los vectores a sumar, como los vectores resultantes de las operaciones matemáticas realizadas en un sistema de referencia con puntos de referencia o de ubicación claros, es posible establecer el sentido como la dirección de cada uno de los vectores tenidos en cuenta. Este método permite completar otros procesos de sumatoria realizados con vectores compuestos que se hayan convertido a vectores simples. Otra ventaja que comparte con todos los métodos matemáticos, es la exactitud en el resultado gráfico y en el resultado matemático, dado que usa operaciones aritméticas de suma y resta. La desventaja de este método es que solo permite realizar operaciones matemáticas con magnitudes vectoriales representadas a partir de vectores simples (vectores que tengan una ubicación completa en un solo eje de un sistema de referencia) (Douglas, 2007; Belloch y Pérez, 2016; Nigg, 1994). A continuación se describirá el último método matemático denominado como “método del teorema de Pitágoras”.

Sumatoria de vectores: método del teorema de Pitágoras

Al igual que el método de los componentes, el método de sumatoria matemática de magnitudes físicas vectoriales del teorema de Pitágoras, también se basa en conceptos que se han atribuido desde la geometría y desde la trigonometría, y que determinan las características o “reglas” básicas del mismo método. Como se había observado en la figura 18, un triángulo rectángulo está definido por tres partes que lo componen: una hipotenusa, un cateto opuesto y un cateto adyacente, además de poseer un ángulo rectángulo o de 90°. El teorema de Pitágoras formula que se puede calcular el valor numérico o módulo de la hipotenusa del triángulo rectángulo, a partir del valor de los catetos. Si se asume que la hipotenusa de un triángulo rectángulo es equivalente a un vector compuesto ubicado en un sistema de referencia, con un ángulo de inclinación Θ sobre el sistema de referencia, es posible entonces hallar el valor de dicha hipotenusa a partir de sus catetos (estos últimos equivaldrían a los vectores simples c_1 y c_2 , componentes del vector compuesto, representado por la hipotenusa. El teorema de Pitágoras se representa de la siguiente forma:

$$H = \sqrt{C_o^2 + C_a^2}$$

En donde la hipotenusa (H) es igual a la raíz cuadrada de la sumatoria de los dos catetos (adyacente y opuesto, cada uno de ellos al cuadrado). Al igual que los demás métodos matemáticos que se han descrito hasta el momento, este método posee algunas “reglas o características básicas para generar procesos de sumatoria/operaciones con magnitudes físicas vectoriales. Las “reglas” básicas o características de este método son: a) solo se pueden sumar dos vectores simples, o situados en su totalidad en uno de los ejes del sistema de referencia, b) los vectores a sumar deben estar ubicados uno respecto al otro formando un ángulo de 90°, c) cada uno de los vectores que se pretenden sumar, deben tener una ubicación en forma de “cabeza–cola” (extremo del primer vector unido al origen del segundo) (Douglas, 2007; Belloch y Pérez, 2016; Nigg, 1994).

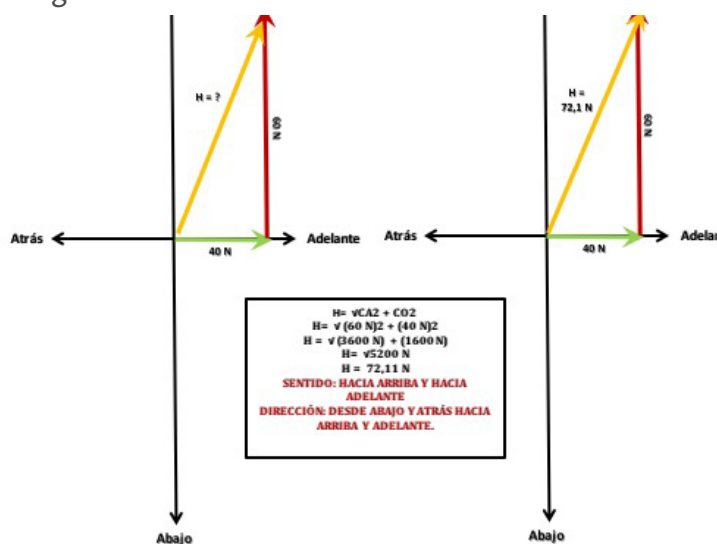
Procedimiento

La resultante de la sumatoria de los dos vectores tenidos en cuenta para dicha operación matemática será en este caso la hipotenusa de un triángulo rectángulo, que tendrá un valor numérico (o módulo) con su unidad de medida correspondiente. En la figura 23 se demostrará la forma en que se

realiza la sumatoria/operación de vectores con la aplicación de este método, en la cual se dispondrá de dos vectores de fuerza (cuyo valor numérico o módulo aparecerá acompañado de su correspondiente unidad de medida (en este caso, Newton de fuerza). Tanto los vectores que se suman como el vector resultante se disponen en un sistema de referencia, por lo que la respuesta obtenida es bastante exacta.

Este método permite obtener resultados gráficos y matemáticos exactos, así como resultados en cuanto a sentido y dirección muy acertados, dado que tanto los vectores a sumar como el vector resultante se encuentran dispuestos en un sistema de referencia. Esta es una de las ventajas que tiene este método, que además comparte las mismas ventajas que tienen los dos otros métodos matemáticos para operaciones con vectores que se han revisado hasta el momento. Las desventajas de este método radican en que solo se pueden sumar dos vectores dispuestos en un ángulo de 90° , uno con respecto al otro. La otra desventaja que tiene es que solo se pueden sumar vectores simples, aunque el método es complemento para procesos más complejos de sumatoria/operación con vectores. A continuación se procederá a describir una situación compleja de sumatoria de vectores, usando los tres métodos matemáticos para desarrollarla (Douglas, 2007; Belloch y Pérez, 2016; Nigg, 1994).

Figura 23. Método de sumatoria matemática de vectores mediante el método del teorema de Pitágoras



En este caso se disponen dos vectores de fuerza denominados A y B, cada uno con un valor numérico (o módulo) acompañado de su correspondiente unidad de medida.

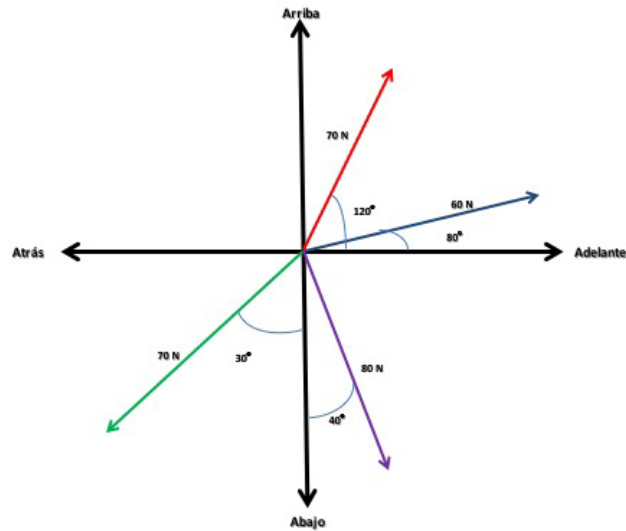
Resolución de sumatoria de vectores: combinación de métodos matemáticos (componentes, aritmético y teorema de Pitágoras)

Con anterioridad se ha realizado una descripción de cada uno de los métodos matemáticos utilizados en operaciones con magnitudes vectoriales. Sin embargo, a pesar de la exactitud de cada una de estas alternativas de sumatoria, a veces sucede que los vectores que se desean sumar deben pasar por tratamientos un poco más complejos, que implican la combinación de más de dos métodos de sumatoria.

Se tiene de esta forma la siguiente situación, ejemplificada de forma gráfica en la figura 24, que muestra varios vectores correspondientes a la fuerza de acción muscular, los cuales se ubican en un plano corporal (más exactamente un plano sagital). Cada uno de los vectores tiene su grado de inclinación con respecto al sistema de referencia, y a su vez se puede observar de cada uno de ellos la cantidad en Newton de fuerza que pueden realizar (Douglas, 2007; Belloch y Pérez, 2016; Nigg, 1994).

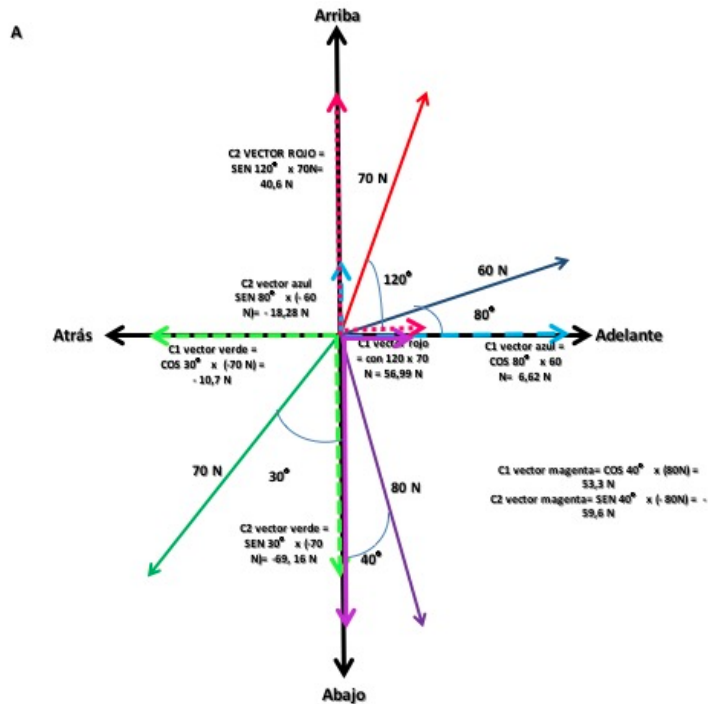
Como se puede observar en la figura 24, existen concretamente 4 vectores compuestos, los cuales se encuentran dispuestos en los cuadrantes I, III y IV del sistema de referencia. Para la sumatoria de estos vectores se debe hacer uso de los tres métodos matemáticos para la sumatoria de vectores, iniciando por la aplicación del método de los componentes (dado que se tienen datos como el ángulo Θ de cada vector con respecto al plano y se tiene el valor en Newton, de la fuerza que cada vector representa. En la figura 24 se aplicará este método antes mencionado, en el que se muestran los resultados obtenidos, tanto desde un punto de vista matemático, como desde un punto de vista gráfico (Douglas, 2007; Belloch y Pérez, 2016; Nigg, 1994).

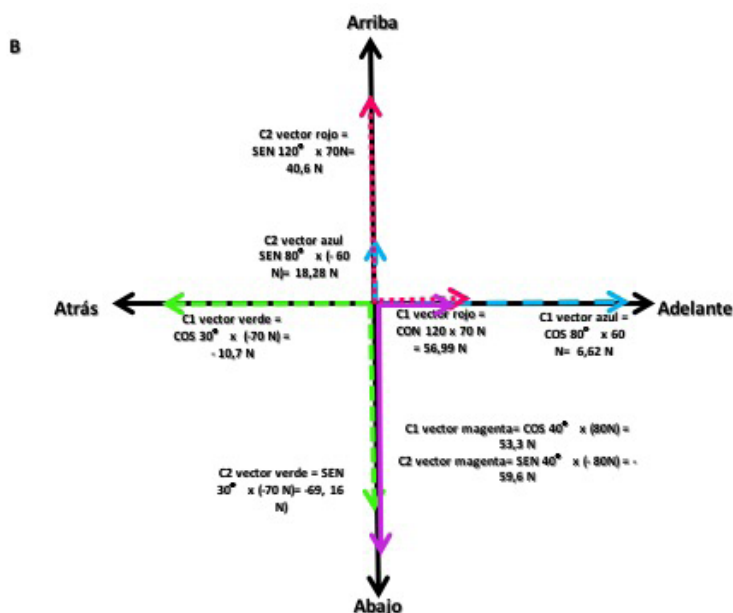
Figura 24. Plano sagital en el cual se ubican algunos vectores de fuerza de acción muscular, cada uno de ellos con su grado de inclinación con respecto al sistema de referencia y con la cantidad de fuerza (en newton) que realiza



Fuente: elaboración propia.

Figura 25. Aplicación del método matemático de los componentes con las resultantes





En la figura 25A se muestra el proceso de ubicación y cálculo del valor de los vectores componentes de cada vector (sobre el eje X y el eje Y). En la figura 25B se observan solo los vectores simples que se han derivado mediante el método de los componentes.

Fuente: elaboración propia.

El resultado de la aplicación del método matemático de los componentes permite descomponer los vectores compuestos que se tenían en la figura 25, en los vectores simples que lo componen. De esta manera se obtienen, ya no cuatro vectores compuestos, sino ocho vectores simples, ubicados en la zona negativa o positiva de los ejes X o Y. Estos ocho vectores simples se pueden sumar de acuerdo a su ubicación en cada eje del sistema de referencia, mediante el método matemático de suma y resta (también conocido como el método aritmético). Este método como se ha descrito anteriormente permite la sumatoria de vectores (todos los que se deseen sumar), siempre y cuando estén ubicados en el mismo eje. De igual forma, los vectores de valor negativo se restan con los vectores que tengan valor positivo (Douglas, 2007; Belloch y Pérez, 2016; Nigg, 1994).

Por resultado matemático, para el eje X, la resultante es:

$$\Sigma y (+) = 18,28 \text{ N} + 40,6 \text{ N} = 58,88 \text{ N}$$

$$\Sigma y (-) = (-69,1 \text{ N}) + (-59,6 \text{ N}) = -128,7 \text{ N}$$

$$\Sigma x (+) = 56,9 \text{ N} + 6,62 \text{ N} = 63,52 \text{ N}$$

$$\Sigma x (-) = -10,7 \text{ N}$$

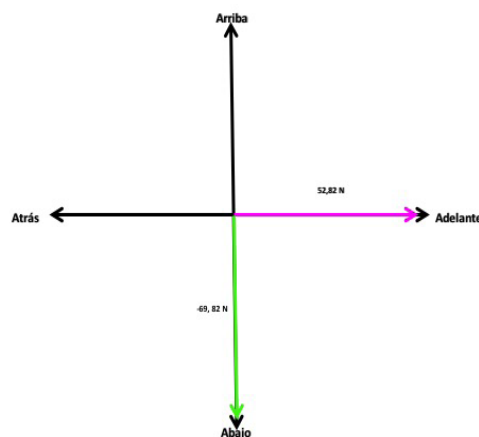
Y por sumatoria de cada eje completo, sería:

$$\Sigma(x/-x) = 63,52 \text{ N} + (-10,7 \text{ N}) = 52,82 \text{ N}$$

$$\Sigma(y/-y) = 58,88 \text{ N} + (-128,7 \text{ N}) = -69,82 \text{ N}$$

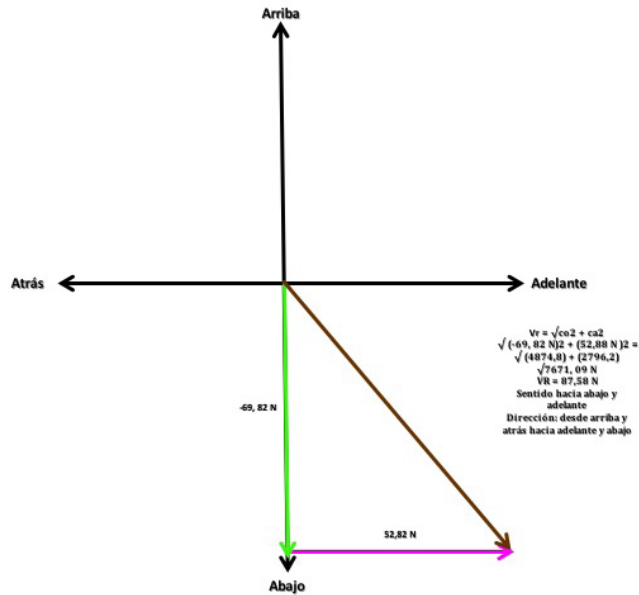
Una vez obtenidos los dos vectores resultantes finales, la figura 26 muestra el resultado gráfico de dichas operaciones matemáticas. Se observan dos vectores simples dispuestos formando un ángulo de 90° . Se cumplen los criterios para la aplicación del método matemático del teorema de Pitágoras. El criterio que se debe tener en cuenta en este caso, para aplicar el método matemático anteriormente mencionado, es que los vectores a sumar deben estar dispuestos cabeza con cola (cabeza del primer vector con la cola del segundo). Para este caso, se dispone de desplazar al vector en x, uniendo la cola del vector magenta con la cabeza del vector verde. La resultante será la hipotenusa del triángulo rectángulo que se forma por la unión de los dos vectores que se comportan como catetos. La figura 26 muestra la resultante gráfica y matemática de esta sumatoria, mediante la aplicación del método del teorema de Pitágoras (Douglas, 2007; Belloch y Pérez, 2016; Nigg, 1994).

Figura 26. Resultado gráfico de la sumatoria de vectores simples. Se observan dos vectores simples resultantes con valor positivo en el eje X y con valor negativo para el eje Y



Fuente: elaboración propia.

Figura 27. Resultante final de la sumatoria de vectores mediante la aplicación del método del teorema de Pitágoras



Fuente: elaboración propia.

Cinemática lineal: movimiento rectilíneo uniforme (MRU), movimiento rectilíneo uniformemente variado (MRUV), movimiento parabólico y movimiento semiparabólico

Anteriormente, se mencionaba que la mecánica se divide en dos ramas muy fundamentales, cada una de las cuales se encarga de explicar el movimiento bien sea teniendo en cuenta sus características básicas (explicadas gráficamente o mediante fórmulas), o explicando las causas que originan el movimiento de un cuerpo (desde la cinemática o desde la dinámica). Se han dado en anteriores secciones de esta obra, apartes necesarios para el desarrollo de las temáticas que en esta parte del libro se desarrollarán, concretamente relacionadas con la explicación desde la cinemática lineal, de

cómo se mueve un cuerpo (en este caso, el cuerpo humano) en el desarrollo de gestos deportivos.

Se sabe que la cinemática es la rama de la mecánica que tiene en cuenta el estudio del movimiento de los cuerpos en el campo gravitatorio terrestre, teniendo en cuenta sus características, pero sin tener en cuenta las causas que lo producen. Dentro del estudio de la cinemática, se contemplan dos divisiones: a) la cinemática lineal, que tiene en cuenta el estudio del movimiento de un cuerpo que describe una trayectoria en traslación, o en línea recta y b) la cinemática rotacional, que tiene en cuenta el estudio de un cuerpo en movimiento, el cual describe una trayectoria alrededor de un eje (o que gira alrededor del mismo). En esta parte del libro se hará una descripción de los movimientos que se adscriben en la cinemática lineal, como el movimiento rectilíneo uniforme (MRU), el movimiento rectilíneo uniformemente variado (MRUV), el movimiento parabólico y el movimiento semiparabólico, no solo teniendo en cuenta el concepto, sino también las fórmulas que ejemplifican cada uno de estos comportamientos (Douglas, 2007; Nigg, 1994; Belloch y Pérez, 2016).

Movimiento rectilíneo uniforme (MRU)

Se sabe que el movimiento de un cuerpo es rectilíneo (o recto) cuando un cuerpo describe una trayectoria en línea recta. También se denomina como uniforme cuando la velocidad que el cuerpo lleva es constante en el tiempo (es decir no hay aceleración del cuerpo que se encuentra en movimiento). De esta forma, el movimiento rectilíneo uniforme (MRU), se caracteriza por:

- El movimiento que describe el cuerpo, representa una trayectoria recta.
- El cuerpo que se encuentra describiendo dicha trayectoria no exhibe cambios en la velocidad, por lo cual su velocidad es constante.

De acuerdo con lo anterior, la aceleración es nula ($a=0$) (Douglas, 2007; Nigg, 1994; Belloch y Pérez, 2016).

Características del MRU

La distancia (X o D) recorrida por un cuerpo en movimiento rectilíneo, se calcula multiplicando la magnitud de la velocidad o rapidez (v) por el tiempo

transcurrido (t). La fórmula que se presenta a continuación ejemplifica dicha situación:

$$D = V \cdot t \quad (5)$$

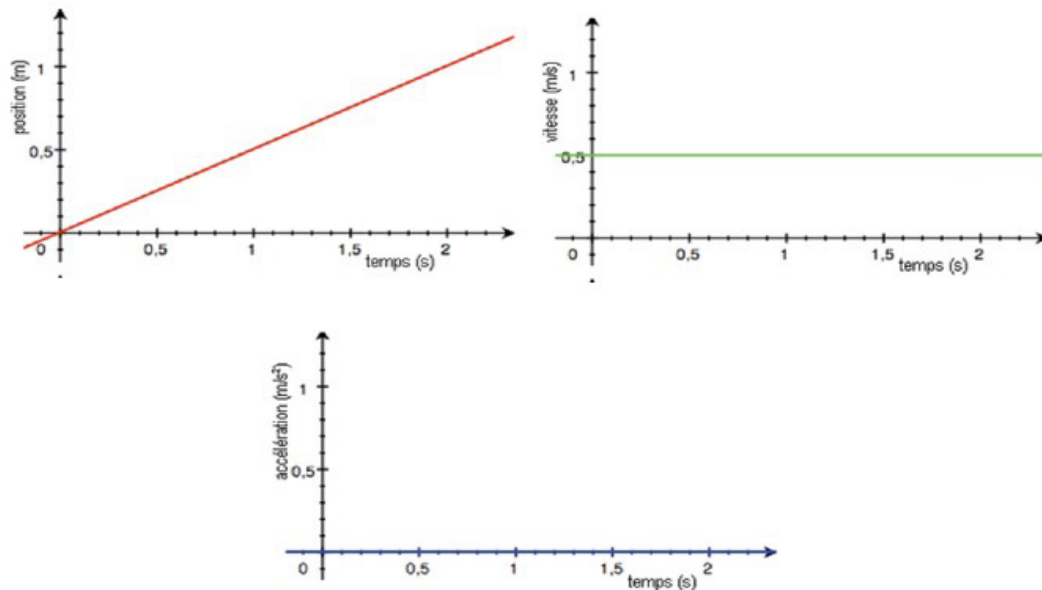
Esta relación también es aplicable si la trayectoria no es rectilínea, con tal que la rapidez o módulo de la velocidad sea constante en el llamado movimiento de un cuerpo. Al representar gráficamente la velocidad en función del tiempo se obtiene una recta paralela al eje de abscisas (tiempo). Además, el área bajo la recta producida representa la distancia recorrida. La representación gráfica de la distancia recorrida en función del tiempo da lugar a una recta cuya pendiente se corresponde con la velocidad. Por lo tanto el movimiento puede considerarse en dos sentidos; una velocidad negativa representa un movimiento en dirección contraria al sentido que convencionalmente hayamos adoptado como positivo. De acuerdo con la primera ley de Newton, toda partícula permanece en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme cuando no hay una fuerza neta que actúe sobre el cuerpo. Esta es una situación ideal, ya que siempre existen fuerzas que tienden a alterar el movimiento de las partículas, por lo que en el movimiento rectilíneo uniforme (MRU) es difícil encontrar la fuerza amplificada, a tiempos y distancias iguales (Douglas, 2007; Nigg, 1994; Belloch y Pérez, 2016). La figura 28 muestra las relaciones entre tiempo, aceleración y velocidad en el movimiento rectilíneo uniforme.

Ecuaciones que explican las características del MRU

Para explicar o calcular el desplazamiento (que se identifica con la letra X o D) de un cuerpo que describe una trayectoria rectilínea, se debe tener en cuenta que la velocidad es constante y por lo tanto no hay aceleración. La posición X de un cuerpo en cualquier tiempo (t) viene expresada en la siguiente fórmula:

$$X = X_0 + vt \quad (6)$$

Figura 28. Relaciones entre aceleración, velocidad, desplazamiento y tiempo, de un cuerpo que describe una trayectoria rectilínea con velocidad uniforme



Fuente: tomado y modificado de Giancoli (2008).

En donde X_0 es igual a la posición cero del cuerpo, v es igual a la velocidad del mismo y t es igual al tiempo que gasta el cuerpo en recorrer dicha distancia. Esta fórmula sirve para calcular la distancia recorrida por un cuerpo que describe una trayectoria rectilínea con velocidad constante. Las otras fórmulas que explican las características básicas de velocidad y aceleración, se explicaron en la sección inmediatamente anterior (fórmulas 1, 2, 3 y 4).

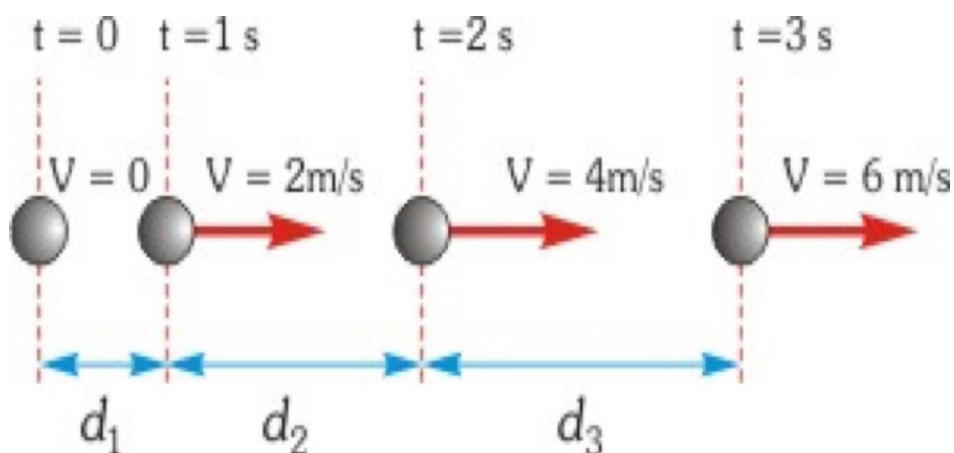
Movimiento rectilíneo uniformemente variado (MRUV)

Se define como aquel movimiento desarrollado por un cuerpo, que describe una trayectoria rectilínea, pero que a diferencia de la anterior situación de movimiento, en este caso, el cuerpo en movimiento sí experimenta cambios en la velocidad. Dichos cambios en la velocidad son constantes, por lo que una de las características del MRUV es que el cuerpo que se mueve siguiendo las características de este mismo, es una aceleración constante (Douglas, 2007; Nigg, 1994; Belloch y Pérez, 2016).

En este tipo de movimiento el valor de la velocidad aumenta o disminuye uniformemente al transcurrir el tiempo, esto quiere decir que los cambios de

velocidad son proporcionales al tiempo transcurrido, o, lo que es equivalente, en tiempos iguales la velocidad del móvil aumenta o disminuye en una misma cantidad. La figura 29 muestra en forma gráfica el siguiente ejemplo:

Figura 29. Ejemplo gráfico del MRUV



Fuente: tomado y modificado de Serway (2010).

En este caso se tiene un móvil que se mueve horizontalmente describiendo un MRUV en donde, en cada segundo el valor de su velocidad aumenta en 2 m/s. Debido a esto, el valor de la aceleración constante con que se mueve el móvil es 2 m/s^2 :

$$a = 2 \text{ m/s}^2 (7)$$

Como en este caso los cambios de velocidad son proporcionales al tiempo transcurrido, se puede construir una tabla con los datos de los cambios de la velocidad del cuerpo en movimiento respecto al tiempo:

Tabla 10. Valores de velocidad y tiempo de un móvil que describe una trayectoria rectilínea con cambios constantes en la velocidad

t(s)	V(m/s)
1	2
2	4
3	6

Fuente: elaboración propia.

De los datos mostrados en la tabla 10, se concluye que el cambio de velocidad es igual al producto de la aceleración por el tiempo transcurrido. Las fórmulas que se disponen a continuación explican dicha situación:

$$\Delta V = at \quad (8)$$

Que conlleva a la siguiente fórmula:

$$V_f = V_o + at \quad (9)$$

En el ejemplo se observa que el móvil se mueve cada vez más rápido y por tanto las distancias recorridas en cada segundo serán diferentes. Como el valor de la velocidad aumenta o disminuye de manera uniforme, el valor medio de la velocidad, en un cierto intervalo de tiempo, es igual al promedio de la velocidad inicial y final en este tramo, es decir la velocidad media será:

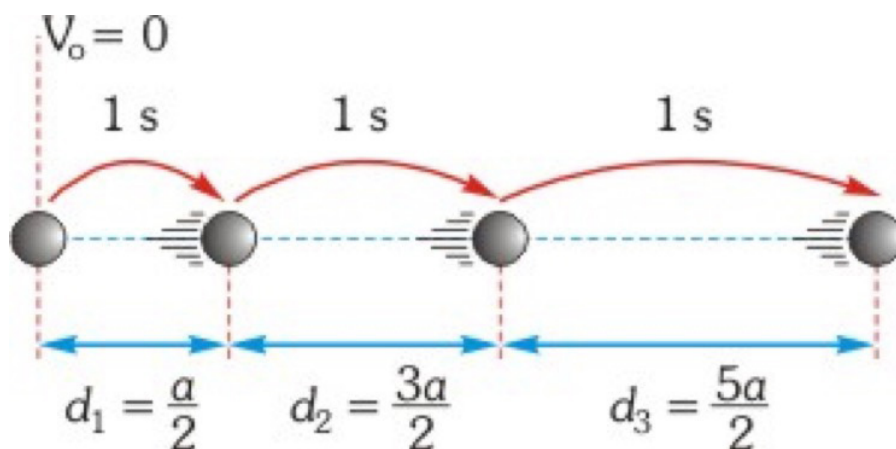
$$V_m = V_o + V_f/2 \quad (10)$$

y la distancia recorrida se puede determinar multiplicando su velocidad media por el tiempo transcurrido, es decir:

$$d = V_m \cdot t \quad (11)$$

En general, si un móvil parte del reposo y se mueve con MRUV, las distancias recorridas en cada segundo aumenta en la forma que se indica en la figura 30.

Figura 30. Aceleración constante de un móvil en función del tiempo para el MRUV



Fuente: tomado y modificado de Giancoli (2008).

Según esto, cuando un móvil parte desde el reposo las distancias recorridas en cada segundo son proporcionales a los números 1; 3; 5; 7 y así sucesivamente. Estos números se son conocidos como números de galileo (Douglas, 2007; Nigg, 1994; Belloch y Pérez, 2016).

Ecuaciones del MRUV

Las fórmulas del MRUV tienen en cuenta que el cuerpo que se mueve, describiendo una trayectoria rectilínea, posee una variación en la velocidad (o aceleración constante), de ahí se genera la siguiente relación:

$$a(t) = a = F/m = d^2x/dt^2 \quad (12)$$

En donde a = aceleración, F = fuerza, m = masa, d = desplazamiento, y t = tiempo. En este caso se hace una relación concreta desde la segunda ley de Newton, con respecto a los elementos que se relacionan desde la cinemática lineal, como el desplazamiento y el tiempo.

Entre tanto, uno de los elementos que cobra bastante importancia dentro del MRUV, es la velocidad, la cual, como se ha explicado anteriormente, varía constantemente en un cuerpo que se mueve describiendo una trayectoria rectilínea. De acuerdo con este precepto, una de las fórmulas que se tiene en cuenta en el MRUV es la que permite el cálculo de la velocidad en función del tiempo, y que dice:

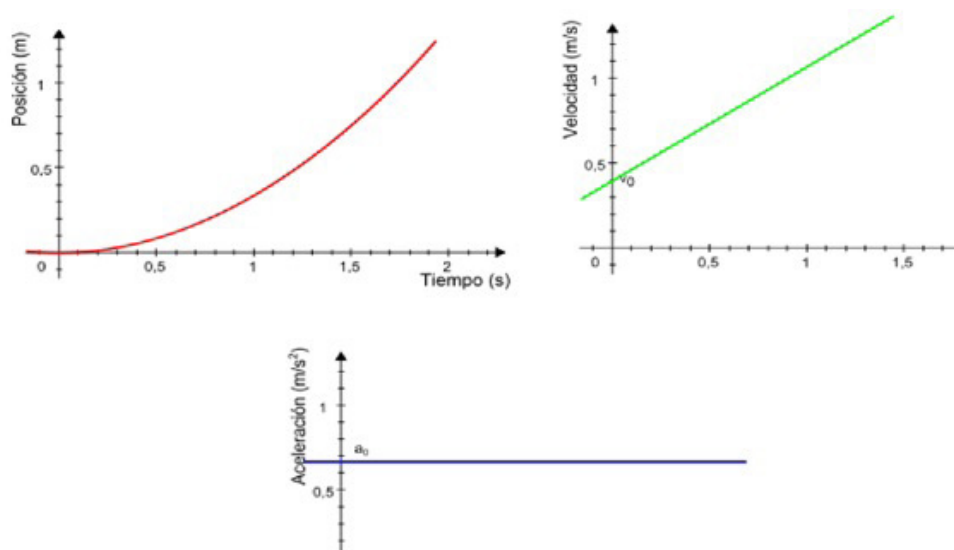
$$V(t) = at + V_o \quad (13)$$

En donde V_o corresponde a la velocidad inicial que el cuerpo posee, en este caso antes de comenzar a moverse o desacelerarse. El MRUV también tiene en cuenta un elemento de mucha importancia, como lo es el desplazamiento del cuerpo que se mueve siguiendo una trayectoria rectilínea. Este desplazamiento (X) en función del tiempo, se puede calcular de la siguiente forma:

$$X(t) = \frac{1}{2} at^2 + V_o t + x_o \quad (14)$$

Al igual que el MRU, el MRUV también relaciona los mismos elementos: aceleración, velocidad y tiempo. Esta relación se puede representar de forma gráfica. La figura 31 muestra la relación de estos tres elementos en el MRUV (Douglas, 2007; Nigg, 1994; Belloch y Pérez, 2016).

Figura 31. Gráficas de relación de la aceleración, el tiempo y la velocidad de un cuerpo que describe movimiento en una trayectoria rectilínea con cambios constantes en la velocidad (o con aceleración constante)



Fuente: tomado y modificado de Giancoli (2002).

Movimiento semiparabólico y movimiento parabólico

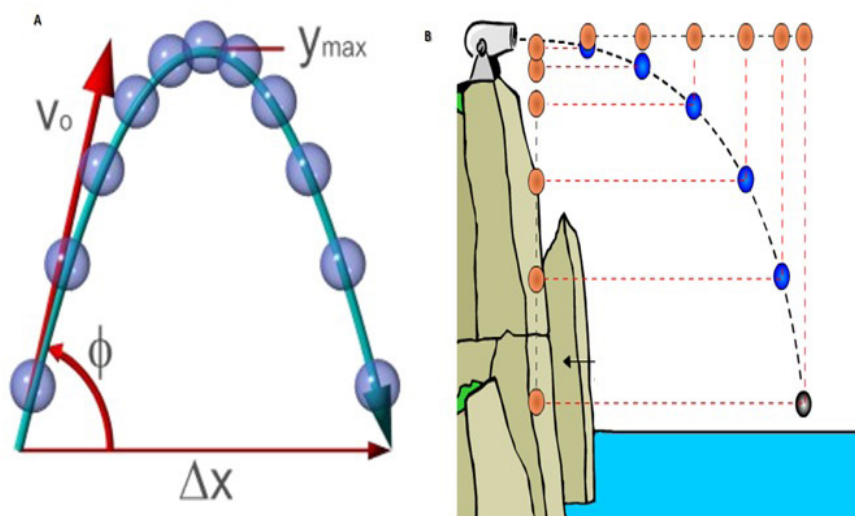
Tanto el movimiento semiparabólico como el movimiento parabólico se pueden clasificar dentro de lo que, desde la física, se denomina como movimiento en proyectil. A su vez, este tipo de movimiento siempre hace referencia al movimiento de un objeto que se arroja al aire o desde una altura específica, con cierto grado de inclinación (o ángulo). Algunos de los ejemplos más comunes del movimiento en proyectil son el lanzamiento de una pelota de beisbol, el cobro de un tiro libre en el futbol, una bala disparada o un atleta efectuando un salto con garrocha o un salto alto. Aun cuando la resistencia del aire en este tipo de movimiento es muy importante, desde el estudio de la cinemática lineal se puede ignorar este elemento, para dar un mayor protagonismo al análisis de los elementos que como la aceleración, la velocidad, el tiempo, la altura, entre otros elementos que participan de este tipo de movimiento.

Además de los elementos que se han nombrado antes relacionados con el movimiento en proyectil realizado por un cuerpo (incluyendo el cuerpo humano), se presentan otros elementos que son de vital importancia para

su análisis y entendimiento. En esta sección, el movimiento en proyectil muestra el proceso por medio del cual un objeto es lanzado o proyectado con un ángulo o inclinación. Cuando un cuerpo es lanzado en esta forma específica, comienza a moverse libremente en el aire, quedando a merced de la fuerza de la gravedad. Así pues la aceleración del objeto es la misma que la aceleración de la fuerza de gravedad (con un equivalente a $9,8 \text{ m/s}^2$).

Fue Galileo Galilei el primer científico en describir con precisión el movimiento de un proyectil; mostró que podía entenderse analizando sus componentes horizontal y vertical de movimiento (los cuales se derivan a su vez de la inclinación o ángulo con el cual es lanzado el objeto que describe la trayectoria parabólica o semiparabólica). Para ese entonces, este tipo de análisis era bastante innovador, que nadie antes que Galileo Galilei había hecho. De acuerdo a lo anterior, también se puede afirmar que el movimiento en proyectil está compuesto por dos movimientos rectilíneos: un movimiento rectilíneo uniforme horizontal y un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado vertical. La figura 32 muestra que dentro del movimiento en proyectil existen, como se mencionó anteriormente, un movimiento completo que describe un cuerpo haciendo una parábola, denominado como movimiento parabólico. De igual forma, dentro del movimiento en proyectil que realiza un cuerpo, está la media parábola, denominada como movimiento semiparabólico (Douglas, 2007; Nigg, 1994; Belloch y Pérez, 2016).

Figura 32. Se observan los comportamientos gráficos del movimiento parabólico (A), y del movimiento semiparabólico (B)



Fuente: elaboración propia.

Características del movimiento en proyectil

El movimiento de un cuerpo en proyectil (sea en movimiento parabólico o semiparabólico) tiene determinadas características, que se enumeran a continuación:

- Siempre el objeto que se desplaza siguiendo una trayectoria en proyectil, se lanza con un grado de angulación o inclinación con respecto a la horizontal (este ángulo casi siempre se denomina como ángulo Θ).
- El objeto que realiza la trayectoria en proyectil depende de dos momentos de movimiento que se combinan para generar la parábola completa o la semiparábola, pero que se pueden estudiar y analizar por separado. De esta forma, siempre el movimiento en proyectil de un objeto estará compuesto por un momento de movimiento hacia abajo o hacia arriba, el cual se representa en el eje Y en un sistema de referencia, y un movimiento hacia adelante, el cual siempre se representará en el eje X dentro de un sistema de referencia.
- Para poder entender más fácilmente este movimiento y dar una ubicación de los componentes de mayor importancia, se disponen los elementos relevantes de la siguiente forma: A) la aceleración del objeto y la gravedad dependiente o relacionada con esta aceleración, estarán ubicados en el eje Y, al igual que la altura máxima alcanzada por el objeto. B) aspectos como la distancia recorrida por el objeto, así como el desplazamiento y la velocidad se ubican en el eje X. Estos mismos criterios son aplicables al movimiento semiparabólico (Douglas, 2007; Nigg, 1994; Belloch y Pérez, 2016).

Fórmulas del movimiento en proyectil

En las fórmulas del movimiento en proyectil (sea movimiento parabólico o semiparabólico), se tienen en cuenta los cálculos para: velocidad inicial en Y, velocidad inicial en X, Y máxima (o altura máxima), Tiempo total del recorrido del cuerpo en la trayectoria en proyectil, aceleración y gravedad, entre otros. La primera pareja de fórmulas permite el cálculo de las velocidades iniciales en X y en Y, y las determina de la siguiente forma:

Velocidad inicial en X (V_{ox}) = Coseno del ángulo Θ de inclinación . valor del vector compuesto (15)

Velocidad inicial en Y (V_{oy}) = Seno del ángulo θ de inclinación . valor del vector compuesto (16)

La segunda fórmula tiene en cuenta el cálculo de la aceleración del objeto que describe una trayectoria en proyectil, como ya se había mencionado, la aceleración del cuerpo en la trayectoria parabólica o semiparabólica se ubica gráficamente hablando en el eje Y. La fórmula para el cálculo de la aceleración es como sigue:

$$a = -gj \quad (17)$$

En donde $-g$ corresponde con la gravedad (o más concretamente con el valor de la aceleración de la fuerza de la gravedad, igual a $9,8 \text{ m/s}^2$, y j = al valor del vector compuesto de la velocidad inicial del objeto o del cuerpo que describe la trayectoria en proyectil. Asimismo, la velocidad es una de las características de mayor importancia en el movimiento en proyectil. Esta tiene para este tipo de trayectorias, dos posibles fórmulas que se relacionan a continuación:

$$V_0 = V_{ox} + V_{oy} \quad (18)$$

En este caso, la fórmula permite calcular el valor de la velocidad inicial del objeto que describe la trayectoria semiparabólica (específicamente cuando el objeto inicia su trayectoria desde un punto de altura máxima (o y máxima) y llega a tocar el piso de nuevo. (Es decir, esta fórmula específica es aplicable a cuerpos que describen una trayectoria semiparabólica, y no para los que describen una trayectoria parabólica completa, ya que en este caso, la velocidad inicial es igual a cero).

$$V(t) = (V_{ox}) + (V_{oy} - gt)j \quad (19)$$

La anterior fórmula (fórmula 19) es aplicable, tanto para el movimiento parabólico como para el movimiento semiparabólico, ya que tiene en cuenta la velocidad total del cuerpo que describe una trayectoria en proyectil en función del tiempo, relacionando de igual forma las velocidades iniciales en Y y en X, la gravedad (aceleración de la gravedad más concretamente) y el tiempo total que el cuerpo que realiza la trayectoria gasta en recorrer toda la trayectoria (Douglas, 2007; Nigg, 1994; Belloch y Pérez, 2016).

Como se ha explicado anteriormente, en el eje Y se explica el comportamiento de la aceleración, la gravedad y la altura máxima alcanzada por el objeto, que describe una trayectoria en proyectil. La fórmula 20 explica la forma en cómo

se puede calcular la altura máxima alcanzada por un objeto que describe una trayectoria en proyectil:

$$Y = V_{yt} - \frac{1}{2} g t^2 \quad (20)$$

Esta fórmula aplica de la forma en la que está descrita en el movimiento parabólico, pero para el movimiento semiparabólico tendría una modificación, en la cual no se tiene en cuenta la primera parte de la fórmula (V_{yt}), sino solo la parte de $-\frac{1}{2} g t^2$. El movimiento en proyectil también relaciona las características de tiempo y de desplazamiento total realizado en X, las fórmulas que permiten calcular estas dos características son las siguientes:

$$X = V_x \cdot t \quad (21)$$

Esta fórmula permite calcular el desplazamiento total realizado por el cuerpo en la trayectoria en proyectil, sabiendo la velocidad inicial en X y multiplicándola por el valor del tiempo que tarda el cuerpo en recorrer una distancia en la trayectoria en proyectil. Asimismo, la fórmula para el cálculo del tiempo total que emplea el cuerpo en describir una trayectoria en proyectil es el siguiente:

$$t = \sqrt{-2y/g} \quad (22) \text{ teniendo en cuenta que } y = \text{valor de } y \text{ máxima.}$$

Cinemática rotacional: movimiento circular uniforme, torques, momentos de fuerza

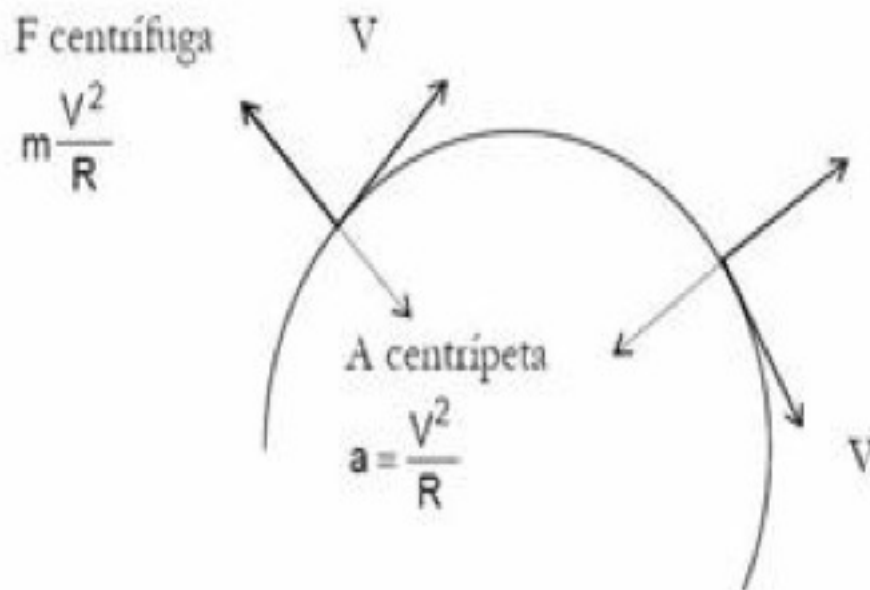
Anteriormente se mencionaba que la cinemática, como una de las ramas de mayor importancia en la mecánica, está a su vez dividida en dos ramas: a) la de la cinemática lineal o traslacional, que trata los movimientos de un cuerpo que describen una trayectoria rectilínea y b) la de la cinemática rotacional, que contempla el movimiento que realiza un cuerpo alrededor de un eje (en este caso, un cuerpo que gira alrededor de un eje). En esta parte del libro, se describirán todos los movimientos que un cuerpo puede realizar alrededor de un punto o eje de referencia, en los que se cuentan: a) el movimiento circular uniforme (MCU), y el movimiento de torsión o torque.

En cinemática rotacional, el movimiento circular (también llamado movimiento circunferencial) es el que se basa en un eje de giro y radio constantes, por lo cual la trayectoria es una circunferencia. Si, además, la

velocidad de giro es constante (giro ondulatorio), se produce el movimiento circular uniforme, que es un caso particular de movimiento circular, con radio y centro fijos y velocidad angular constante. Un objeto que se mueve en un círculo con una rapidez o velocidad (v) constante, estará clasificado como un tipo de movimiento circular uniforme. Ejemplos de ello son una pelota amarrada al final de una cuerda que gira gracias a la acción de la mano, o el movimiento circular que describe la luna alrededor de la tierra. Ejemplos más concretos de este tipo de movimiento relacionados con la práctica de gestos deportivos están en la realización de las carreras de atletismo de 800 y 1000 m, cuando el deportista se desplaza en la curva de la pista, o en el lanzamiento de disco en el atletismo, cuando el deportista gira sobre su propio eje tomando impulso antes de lanzar el disco lo más lejos posible (Douglas, 2007; Nigg, 1994; Belloch y Pérez, 2016).

Aun cuando la magnitud de la velocidad en el MCU permanece constante, la dirección de la velocidad cambia todo el tiempo, en cada uno de los puntos de la trayectoria circular que describe un cuerpo en el MCU. La figura 33 muestra que efectivamente, si se representa la velocidad de un objeto en su trayectoria circular, el módulo de la velocidad es constante, pero no es así para su sentido y dirección.

Figura 33. Se evidencia el cambio de dirección de la magnitud física de la velocidad, de un cuerpo que describe una trayectoria curva o circunferencial



Fuente: tomado y modificado de Giancoli (2008).

Ya que la aceleración de un cuerpo que se encuentra en movimiento se define como la modificación en su velocidad, un cambio en la dirección de la velocidad de un cuerpo que exhibe el desarrollo de una trayectoria circunferencial, constituye de por sí una aceleración, así como un cambio en su magnitud. Por tanto, un movimiento que exhibe un MCU está acelerado. Como se sabe, la aceleración, al igual que la velocidad es considerada como una magnitud física vectorial, por lo que puede ser representada gráficamente a través de un vector, el cual muestra tanto su valor numérico o módulo, así como su dirección y sentido puede representar hacia donde estaría dirigida la aceleración de un objeto que describe una trayectoria en círculo.

Para que un cuerpo se mantenga describiendo una trayectoria circunferencial requiere de dos vectores de fuerza, que generarán en dicho cuerpo, una velocidad y una aceleración específicas. Estas fuerzas se denominan centrípeta (encargada de hacer que el objeto gire con una tendencia clara de giro hacia el interior de la trayectoria circunferencial) y centrífuga (encargada de hacer que el objeto gire con una tendencia clara de giro hacia el exterior de la trayectoria circunferencial). Dado que desde la concepción de la dinámica, una fuerza es la responsable de modificar el comportamiento motriz de un cuerpo, las fuerzas centrípeta y centrífuga, generan sobre el cuerpo un movimiento con velocidad centrípeta y centrífuga, que a su vez generan en dicho cuerpo una aceleración centrípeta y una aceleración centrífuga en el mismo (Douglas, 2007; Nigg, 1994; Belloch y Pérez, 2016).

Conceptos básicos a tener en cuenta para el MCU

En el MCU se deben tener en cuenta algunos conceptos que serían básicos para su descripción cinemática y dinámica, y que son los siguientes:

Eje de giro: es la línea recta alrededor de la cual se realiza la rotación, este eje puede permanecer fijo o variar con el tiempo, pero para cada instante concreto es el eje de la rotación (considerando en este caso una variación infinitesimal o diferencial de tiempo). El eje de giro define un punto llamado *centro de giro* de la trayectoria descrita (O).

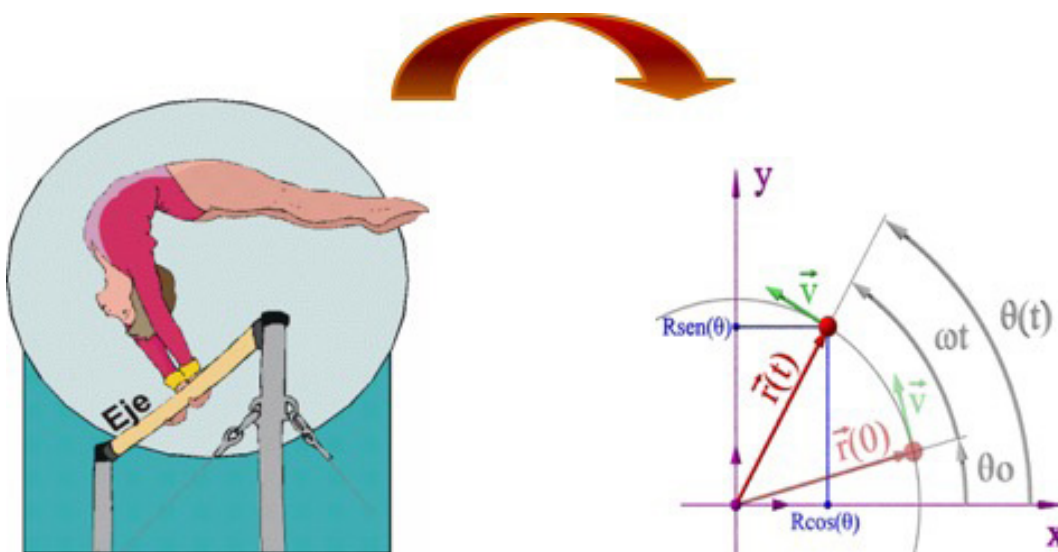
Arco: partiendo de un centro fijo o eje de giro fijo, es el espacio recorrido en la trayectoria circular o arco de radio unitario con el que se mide el desplazamiento angular. Su unidad es el radián (espacio recorrido dividido entre el radio de la trayectoria seguida, división de longitud entre longitud, adimensional por tanto).

Velocidad angular: es la variación del desplazamiento angular por unidad de tiempo (omega minúscula, ω).

Aceleración angular: es la variación de la velocidad angular por unidad de tiempo (alfa minúscula, α) (Douglas, 2007; Nigg, 1994; Belloch y Pérez, 2016).

En la figura 34 se muestra la relación de todos los elementos mencionados en un objeto que describe una trayectoria circular, con velocidad uniforme:

Figura 34. Elementos que desde la cinemática rotacional, se tienen en cuenta para el MCU



Fuente: elaboración propia.

Fórmulas que explican el MCU

Como se señaló en el apartado anterior, una fuerza centrípeta es capaz de generar una velocidad centrípeta sobre un cuerpo que describe una trayectoria circular, que a su vez produce una aceleración centrípeta relacionada. Este comportamiento de aceleración se ejemplifica en la siguiente fórmula:

$$a_c = V^2/r \quad (23)$$

En donde V = velocidad del cuerpo que describe una trayectoria circular, y r es igual al radio de la trayectoria circular descrita o recorrida por el cuerpo. De igual forma, otra de las fórmulas que tiene en cuenta el MCU

sirve para calcular la velocidad del objeto que se encuentra recorriendo la trayectoria circular, en función del radio y del tiempo (t):

$$V = 2\pi r/t \quad (24)$$

de donde se deriva la siguiente fórmula, para el cálculo del tiempo

$$T = 2\pi r/v \quad (25)$$

Otra forma de calcular la velocidad de un cuerpo que describe la trayectoria circular tiene en cuenta dos aspectos básicos: la aceleración centrípeta y el radio de la circunferencia que representa la trayectoria circunferencial del objeto. La fórmula es la siguiente:

$$V = \sqrt{ra_c} \quad (26)$$

Cada una de estas fórmulas es aplicable siempre y cuando se tengan cada uno de los elementos que cada una de las fórmulas exige (Douglas, 2007; Nigg, 1994; Belloch y Pérez, 2016).

Torque o momento de fuerza

Hasta ahora, se han mostrado los detalles relativos al movimiento traslacional o lineal de los cuerpos o de las partículas. Sin embargo, también es necesario comprender que los cuerpos que se mueven bajo las leyes universales de la física sobre la superficie terrestre (incluyendo el cuerpo humano), también pueden moverse alrededor de un eje, o de forma rotacional. Por movimiento rotacional se entiende como que cada una de las partículas que componen un cuerpo rígido se mueve en círculos o describiendo trayectorias circulares, y que a su vez, cada uno de estos círculos o partículas de un cuerpo se mueven en círculos alrededor de un eje (que en la física se conoce como eje de rotación).

Dentro de los movimientos de torsión o de rotación axial que puede realizar un cuerpo, se encuentra el de torque, también denominado como torca o momento de fuerza, el cual se define como el producto entre el radio de una trayectoria circular descrita por un objeto y la fuerza que se aplica para que dicho objeto entre y permanezca en la trayectoria circular. La anterior definición se representa en la siguiente fórmula:

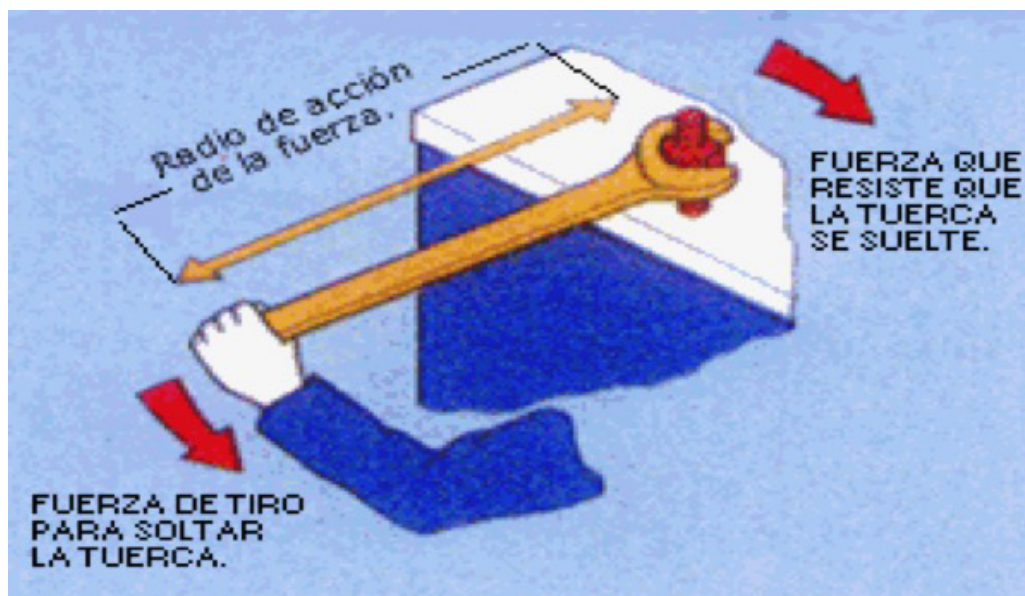
$$T = r \cdot F \quad (27)$$

Al igual que se ha encontrado una o varias analogías entre los diferentes tipos de movimientos en la cinemática lineal con respecto a las leyes de

Newton, existen equivalencias para las descripciones del movimiento rotacional, similares a la realizadas en el movimiento rotacional y las leyes de Newton. Por ejemplo, el equivalente rotacional de la primera ley de Newton afirma que un cuerpo que rota libremente continuará rotando con velocidad angular constante en tanto no actúe ninguna fuerza (o algún torque de fuerza) para cambiar dicho movimiento. Más difícil es encontrar un equivalente rotacional para la segunda ley de Newton, la pregunta sería: ¿qué da lugar a una aceleración angular? Para hacer que un objeto comience a girar alrededor de un eje es necesaria una fuerza, pero la dirección de esta y el lugar en donde se aplique, son aspectos de gran importancia (Douglas, 2007; Nigg, 1994; Belloch y Pérez, 2016).

La figura 35 muestra el torque que se forma cuando una persona realiza un movimiento de rotación con una llave inglesa sobre un tornillo. Entre más fuerza se aplique al radio (r) de la trayectoria circular que describe el objeto, en este caso conformado por la longitud de la llave inglesa, más torque obtendrá. De igual forma, el torque no sería el mismo si por el contrario la fuerza que se aplicara sobre el radio no se aplicara a su extremo, sino en un punto central o muy cercano al tornillo.

Figura 35. Torque de fuerza que se ejerce por una llave inglesa sobre un tornillo



Fuente: tomado y modificado de Douglas (2008).

Ejemplos concretos de torque o momento de fuerza evidenciados en el movimiento corporal se encuentran relacionados con el desarrollo de movimientos rotacionales, como el desarrollo de un clavado en natación, o el levantamiento de pesas o mancornas con una sola mano.

Dinámica: leyes de Newton y diagramas de cuerpo libre

En secciones anteriores se ha descrito la forma en que se puede analizar el movimiento en términos de velocidad y aceleración. En la rama de la dinámica, al contrario de lo que pasa con la rama de la cinemática, se analiza el movimiento de un cuerpo, en esta ocasión teniendo en cuenta las causas que lo producen. Se ha determinado entonces, que la principal causa para generar alteraciones o modificaciones en los estados inerciales de reposo o de movimiento de un cuerpo se relacionan siempre con la fuerza, la cual en secciones anteriores ha sido definida. En esta parte del libro se plantearán las siguientes preguntas: ¿qué hace que un objeto en reposo comience a moverse?, ¿qué provoca que un cuerpo se acelere o se desacelere?, ¿qué ocurre cuando un objeto tiene o realiza un movimiento circular? En cada caso se podría responder que una fuerza es la causa responsable de todas estas respuestas (Douglas, 2007; Nigg, 1994; Belloch y Pérez, 2016).

Newton ha sido uno de los científicos más importantes de todos los tiempos y dentro de sus obras se destacan las que desde el área de conocimientos de la física generaron la explicación (y en parte la respuestas) a las preguntas que se han planteado anteriormente, encontrando una causa concreta al movimiento o a las modificaciones para cualquier cuerpo. El concepto de fuerza, el de masa y el de aceleración, entre otros que ya habían sido descritos desde la cinemática, fueron ahora relacionados desde la dinámica, y dicha relación quedó explícita en las que hoy en día se conocen como las “leyes de Newton”, que se describen a continuación:

Primera ley de Newton: inercia

¿Cuál es la conexión exacta entre fuerza y movimiento? Aristóteles creía que se necesitaba una fuerza para que un objeto continuara moviéndose a lo largo de un plano horizontal. Se podría citar como ejemplo que para hacer

que un libro se mueva sobre la superficie de una mesa, tendría que ejercerse una fuerza sobre este de manera continua. Para Aristóteles, el estado natural de un cuerpo era en reposo y consideraba que era necesaria una fuerza para conservar un cuerpo en movimiento. Más aun, suponía que mientras más grande fuera la fuerza sobre un cuerpo, más grande sería su velocidad.

Unos 2000 años después, Galileo, viendo con escepticismo los puntos de vista aristotélicos al igual que aquellos sobre la caída de los cuerpos, llegó a una conclusión radicalmente diferente. Afirmó que para un objeto es tan natural permanecer moviéndose en forma horizontal, con una rapidez o velocidad constante, como estar también en reposo. Para entender la conclusión de Galileo, se deben considerar las siguientes observaciones que comprenden el movimiento de un cuerpo a lo largo de un plano horizontal (en donde no se tengan en cuenta los efectos de la fuerza de la gravedad). Se requerirá de cierta cantidad de fuerza para empujar un objeto con una superficie rugosa a lo largo de la cubierta de una mesa, con rapidez o velocidad constante. Para empujar un objeto igualmente pesado con una superficie muy lisa a lo largo de la mesa a la misma velocidad se requerirá de una fuerza de menor magnitud. Por último, si se pone una capa de aceite u otro lubricante entre la superficie del objeto y la mesa, la fuerza para mover el objeto será mínima. De esta forma, para mover el libro sobre dicha superficie horizontal de la mesa, requerirá una fuerza cada vez menor. De este razonamiento también se puede entender que una vez el objeto en cuestión comienza a moverse, seguirá en su nuevo estado de movimiento sin que se aplique fuerza alguna, y que tendría que haber una fuerza que interviniera para que el objeto dejara de moverse (Douglas, 2007; Nigg, 1994; Belloch y Pérez, 2016).

En términos aplicables, ninguno de los dos pensamientos (el de Aristóteles y el de Galileo) estaba errado, pues se sabe y se ha comprobado que para que un objeto se mueva, se requiere de una fuerza, pero también es cierto que como lo dijo Galileo, un cuerpo también puede detenerse si se aplica una fuerza de “frenado”, a la vez que si un objeto ya se está moviendo, lo seguirá haciendo por un tiempo más largo, de acuerdo a la cantidad de fuerza que haya sido la responsable de generar dicho movimiento. Con base en los anteriores razonamientos, Newton construyó su gran teoría del movimiento. El análisis del movimiento de Newton se resume de esta forma en sus famosas leyes del movimiento, de donde sale el precepto de la primera ley que textualmente dice:

“todo cuerpo continúa en su estado de reposo o con velocidad uniforme (constante) a lo largo de una línea recta a menos que se le obligue a cambiar su estado mediante fuerzas que actúen sobre él”.

La tendencia de un cuerpo a mantener su estado de reposo o movimiento rectilíneo uniforme se llama inercia, debido a esto, esta primera ley se le suele conocer con el nombre de la “ley de la inercia”. La figura 36 muestra un ejemplo concreto en donde se aplica el precepto de la primera ley.

Figura 36. Ejemplo de la aplicación de la primera ley de Newton



Se observa como cuando el perro se atraviesa en el recorrido de la bicicleta, genera que el conductor de la bicicleta frene, generando una fuerza de frenado, que cambia el estado inercial de movimiento de la bicicleta y le genera un estado inercial de reposo en forma abrupta.

Fuente: elaboración propia.

Segunda ley de Newton: ley de la fuerza o ley de la dinámica

La primera ley de Newton señala que si no actúa ninguna fuerza neta sobre un cuerpo, este permanece en reposo, o que si está en movimiento, continuará moviéndose con una velocidad constante en una trayectoria rectilínea. ¿Pero qué pasaría si en un cuerpo que ya se encuentra en movimiento, se aplicara otra fuerza neta? Newton supuso que la velocidad que este ya tenía podría

cambiar (en este caso concreto, incrementándose), aunque también podría ser que una fuerza que se aplique en un cuerpo que está en movimiento, en sentido y dirección contrarias a la fuerza responsable de que dicho cuerpo se mueva, podría hacer que este frene. De esta manera se establece entonces una relación entre fuerza, velocidad y aceleración (Douglas, 2007; Nigg, 1994; Belloch y Pérez, 2016).

¿Cuál es la relación entre la Fuerza y la aceleración?, o más bien, ¿de qué tipo es la relación existente entre la fuerza y la aceleración? Se sabe por ejemplo que si un atleta (velocista) realiza una fuerza total de 500 N de fuerza muscular para correr hacia adelante lo más rápido posible, logrará una aceleración de unos 0,5 m/s². Pero si realiza por el contrario, una fuerza de acción muscular de 800 N, logrará una aceleración de su cuerpo de unos 0,7 m/s². De esta forma se puede establecer que entre mayor sea la fuerza que se aplica sobre un cuerpo para que este se mueva, mayor aceleración tendrá. Sin embargo, la aceleración que dicho cuerpo gane durante el movimiento no solo dependerá de la fuerza que lo haga moverse, sino también de la masa que el cuerpo que pretende moverse o se encuentra ya en movimiento. Por ejemplo, si un atleta que realiza una carrera en 100 metros planos llevando un peso a cuestas (por ejemplo de una maleta o de equipaje), deberá realizar mucha más fuerza si quiere lograr mayor aceleración; en tanto, si este mismo atleta corre esos 100 metros planos sin carga alguna extra, más que la de su propio peso. De esta forma se establece entonces una relación inversa entre la masa del cuerpo que se mueve y la aceleración que alcanza en dicho movimiento, por lo que el precepto de la segunda ley de Newton dice lo siguiente:

“La aceleración de un objeto es directamente proporcional a la fuerza neta que actúa sobre él e inversamente proporcional a su masa. La dirección de la aceleración se encuentra en la dirección de la fuerza neta aplicada”.

Que de forma simbólica podría escribirse como fórmula, de la siguiente manera:

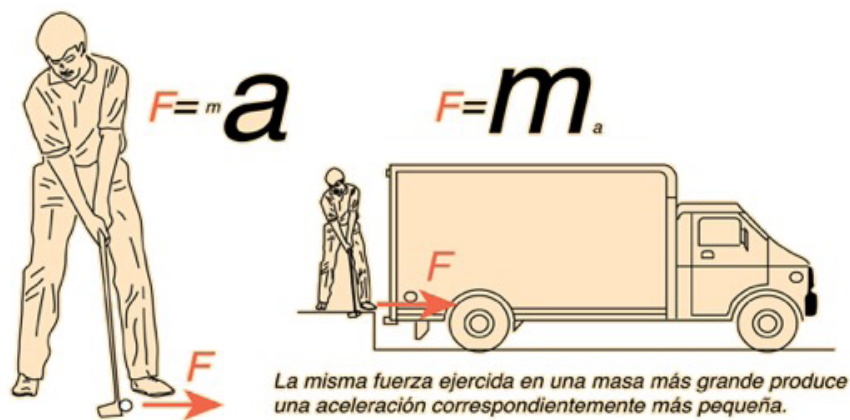
$$F = m \cdot a \text{ (28)}$$

Mostrando la relación directa entre Fuerza y aceleración. Para mostrar en fórmula la relación inversa entre aceleración y masa, está la siguiente ecuación:

$$a = F/m \text{ (29)}$$

La figura 37 muestra una aplicación gráfica del precepto de la segunda ley de Newton.

Figura 37. Aplicación de la segunda ley de Newton



Se observa una relación directa entre la fuerza ejercida sobre un cuerpo y la aceleración que este logra (a mayor fuerza aplicada mayor aceleración del mismo objeto) y la relación inversa entre la aceleración que logra el objeto en movimiento y su masa.

Fuente: tomado y modificado de Giancoli (2008).

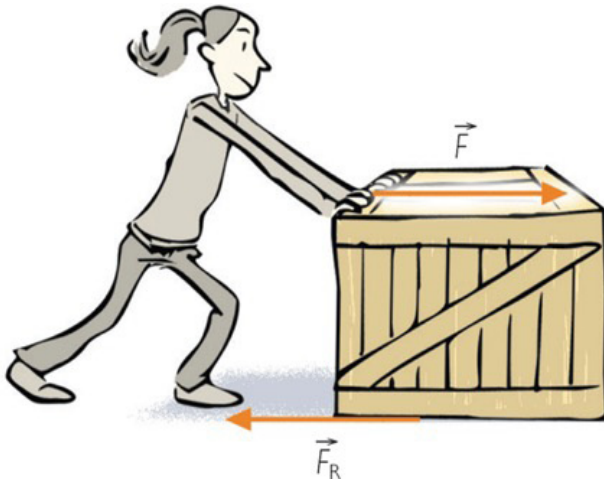
Tercera ley de Newton: ley de la acción y la reacción

La segunda ley describe de manera cuantitativa como afecta una fuerza el movimiento. Pero podría surgir una pregunta: ¿de dónde provienen las fuerzas? Las observaciones sugieren que una fuerza aplicada a cualquier objeto siempre es aplicada por otro objeto. Un caballo tira de una carretilla, una persona empuja de un carrito de mercado, un martillo empuja un clavo, un imán atrae un clavo de acero, etc. En todos estos ejemplos, un objeto ejerce fuerza sobre otro objeto, uno aplica la fuerza y el otro la siente. Pero Newton se dio cuenta que no toda la interacción de fuerzas era en un solo sentido. Por ejemplo, el martillo ejerce una fuerza sobre el clavo, pero de igual forma, el clavo también ejerce una fuerza sobre el martillo, es decir, existe una fuerza de acción del martillo sobre el clavo, pero hay también una fuerza de reacción del clavo sobre el martillo (por partes iguales). De acuerdo con lo anterior, Newton generó el precepto de la tercera ley de Newton, que dice lo siguiente:

“Cada vez que un objeto ejerce una fuerza sobre un segundo objeto, el segundo ejerce una fuerza igual y opuesta sobre el primero.”

Un ejemplo muy común de la aplicación que puede tener la tercera ley de Newton es cuando una persona camina, concretamente cuando apoya el pie sobre el suelo. Este ejerce una fuerza igual y opuesta de reacción sobre la persona, y es esta última fuerza la que hace que la persona se mueva hacia adelante. De manera análoga, un pájaro vuela hacia adelante ejerciendo una fuerza sobre el aire, pero este, al empujar a su vez sobre las alas del pájaro, es lo que termina impulsándolo hacia adelante. La figura 38 muestra una aplicación del precepto de la tercera ley de Newton (Douglas, 2007; Nigg, 1994; Belloch y Pérez, 2016).

Figura 38. Aplicación de la tercera ley de Newton. Se observa que cuando la mujer empuja la caja (generando una fuerza de acción, la caja ejerce una fuerza de reacción sobre el cuerpo de la mujer)



Fuente: tomado y modificado de Giancoli (2008).

El peso definitivo desde la fuerza de gravedad

Galileo afirmó que todos los objetos que se soltaran cerca de la superficie terrestre caerían con la misma aceleración, g , siempre y cuando se eliminara la resistencia del aire. La fuerza que origina esta aceleración es la fuerza de la gravedad. Se ha determinado que el valor numérico (o módulo) de dicha fuerza corresponde a $9,8 \text{ m/s}^2$. Si se desea calcular el peso de un objeto cuya masa (dada en kilogramos) es de 100 kg . Siguiendo la representación simbólica de la segunda ley de Newton, el peso real del objeto cuya masa es de 100 kg sería:

$$F = m \cdot a$$

$$F = 100 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$F = 980 \text{ N}$$

En realidad el peso de un objeto que tiene una masa determinada, bajo la influencia de la aceleración de la fuerza de la gravedad es la que define como tal la fuerza de la gravedad, que equivale de nuevo al peso del objeto, por lo que se hace entonces una diferencia entre la masa de un objeto y el peso del mismo. Se define entonces a la masa de un objeto como la cantidad de partículas que componen al objeto, en tanto que el peso del objeto se puede definir como la interacción de la masa del objeto con la aceleración de la fuerza de la gravedad (Douglas, 2007; Nigg, 1994; Belloch y Pérez, 2016).

Aplicaciones gráficas de las leyes de Newton: diagrama de cuerpo libre

Hasta el momento, se han descrito los preceptos de las leyes del movimiento de Newton, y se ha dicho que para que un objeto modifique su situación de movimiento o de reposo, se requiere del concepto de la fuerza. Al mismo tiempo, se han mencionado algunos conceptos que se relacionan con el concepto de fuerza, como el concepto de aceleración, masa y velocidad. Todos estos conceptos también tienen una representación vectorial, dado que desde el punto de vista matemático, se consideran como magnitudes físicas vectoriales. De igual manera se ha descrito en secciones anteriores, que las magnitudes físicas vectoriales pueden ser representadas gráficamente utilizando un sistema de referencia (plano cartesiano o sus aplicaciones del mismo).

De acuerdo con lo anterior, se puede hacer una representación gráfica de las leyes de Newton a través de un diagrama de cuerpo libre que se define como una representación gráfica que permite observar los vectores de acción que interactúan sobre un cuerpo, ya sea que este último esté en estado de equilibrio estático (en reposo) o en estado de equilibrio dinámico (en movimiento). Al diagrama de cuerpo libre también se le denomina como diagrama de fuerzas (Douglas, 2007; Nigg, 1994; Belloch y Pérez, 2016).

Elementos requeridos para desarrollar un diagrama de cuerpo libre

Para el desarrollo de un diagrama de cuerpo libre con los criterios y condiciones adecuadas, se necesita tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

Trazar un sistema de referencia (plano cartesiano o plano corporal) con los puntos de referencia adecuados, de acuerdo al tipo de plano que se escoja.

Tener en cuenta que el punto (0,0) del plano siempre corresponderá con el centro de gravedad del cuerpo sobre el cual se pretenden representar las fuerzas que actúan sobre un cuerpo (esté en reposo o en movimiento).

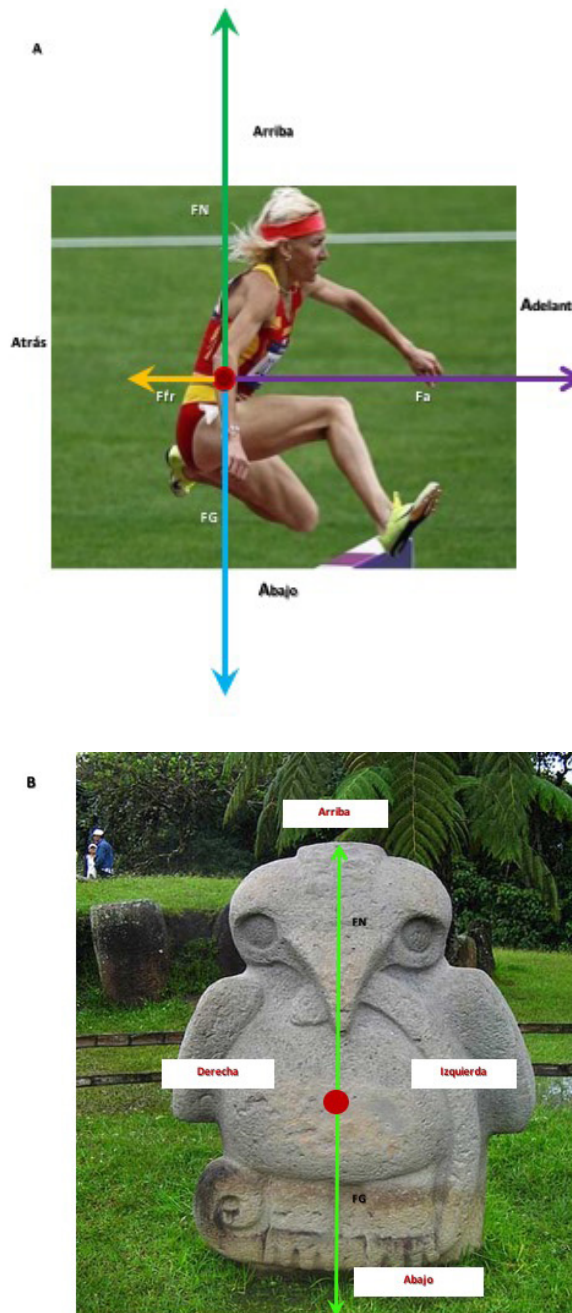
Ubicar únicamente los vectores de fuerza que sea necesario representar en el sistema de referencia, como: fuerza de gravedad (FG), fuerza normal (FN), fuerza neta de acción (F_a) y fuerzas de fricción o de reacción (F_{fr}).

Para los cuerpos que se encuentran en estado de equilibrio estático, (o en reposo), solo se deben graficar dos fuerzas, la fuerza de gravedad (FG) y la fuerza normal (FN), con respecto a un punto de referencia denominado centro de gravedad (CG). Estos vectores de fuerza van representados en el eje Y del plano o sistema de referencia (La FG va representada generalmente en la zona negativa del eje Y, mientras que la FN va representada en la zona positiva del eje Y).

Para los cuerpos que se encuentran en estado de equilibrio dinámico, (o en movimiento), se representan gráficamente por lo menos cuatro fuerzas: fuerza de gravedad (FG), fuerza normal (FN). Estas dos fuerzas se representarán mediante vectores, disponiéndose la FG en la zona negativa del eje Y, mientras que la FN se ubicará en la zona positiva del eje Y. Las otras dos fuerzas que se representan para este caso son la fuerza de acción (o fuerza neta – F_a), y la fuerza de reacción o de fricción (F_{fr}). El vector de fuerza de acción (F_a) quedará dispuesto generalmente en la zona positiva del eje X, mientras que el vector de la fuerza de fricción o de reacción (F_{fr}) estará dispuesto en la zona negativa del eje X.

La figura 39 muestra ejemplos concretos de diagramas de cuerpo libre, en dos figuras (A y B) de gestos deportivos. Se observan cuatro vectores de acción: fuerza de gravedad (FG), fuerza normal (FN), ubicados en el eje Y. los vectores de la fuerza de acción (F_a) y fuerza de fricción están en el eje X. el punto de referencia del centro de gravedad (CG) se representa con un punto rojo.

Figura 39. Se observa una atleta en pleno desempeño de su gesto deportivo (en un plano sagital). Se observa que es una figura en equilibrio dinámico



En la figura B, se observa una figura en equilibrio estático (en reposo), sobre la cual actúan dos fuerzas, representadas por dos vectores: Un vector de la Fuerza de Gravedad (F_G) y un vector de la Fuerza Normal (F_N).

Fuente: elaboración propia.

Dinámica newtoniana: trabajo y energía

En anteriores segmentos de esta obra, se hacía referencia a que la dinámica es aquella rama de la mecánica que estudia el movimiento de un cuerpo teniendo en cuenta las causas que lo producen (en este caso una fuerza). Existe una parte grande de la dinámica que tiene en cuenta los preceptos de Newton y que explica el movimiento a partir de las famosas leyes del movimiento. A esta parte de la dinámica se le denomina como “dinámica newtoniana” (o la dinámica clásica). Sin embargo además del concepto de fuerza, que es básico para la descripción y la explicación del porqué un cuerpo se mueve, existen otras razones que explican el cómo un cuerpo se mueve sobre la superficie de la tierra. Es por esto que en esta parte del libro se hace una discusión del movimiento de una partícula en términos de las cantidades de energía e ímpetu o momento. La importancia de estas cantidades es que estas se conservan, es decir, en circunstancias más o menos generales permanecen constantes. El hecho de que tales cantidades se conserven no solo proporciona una visión más profunda de la naturaleza del mundo, y la naturaleza misma del movimiento de los cuerpos (en este caso, del movimiento corporal a la luz de estos mismos conceptos).

De esta forma, esta parte del libro relaciona dos conceptos muy importantes para la explicación del movimiento, como el de trabajo con el concepto de energía. Las dos cantidades o magnitudes físicas son de naturaleza escalar, por lo que es más fácil manejarlas mancomunadamente. La importancia de la energía proviene de dos fuentes: una cantidad que se conserva; y un concepto útil no solo en el estudio del movimiento sino también en otras áreas de estudio de la Física y de otras ciencias (Douglas, 2007; Nigg, 1994; Belloch y Pérez, 2016).

Concepto de trabajo (realizado por una fuerza)

La palabra trabajo tiene una gran diversidad de significados en el lenguaje cotidiano, en física, tiene un significado muy específico, pues describe aquello que está acompañado por la acción de una fuerza cuando hace que un objeto recorra una distancia. De manera específica, el trabajo realizado sobre una partícula por una fuerza constante (tanto en magnitud como en dirección) se define como el producto de la magnitud de la fuerza por la componente del

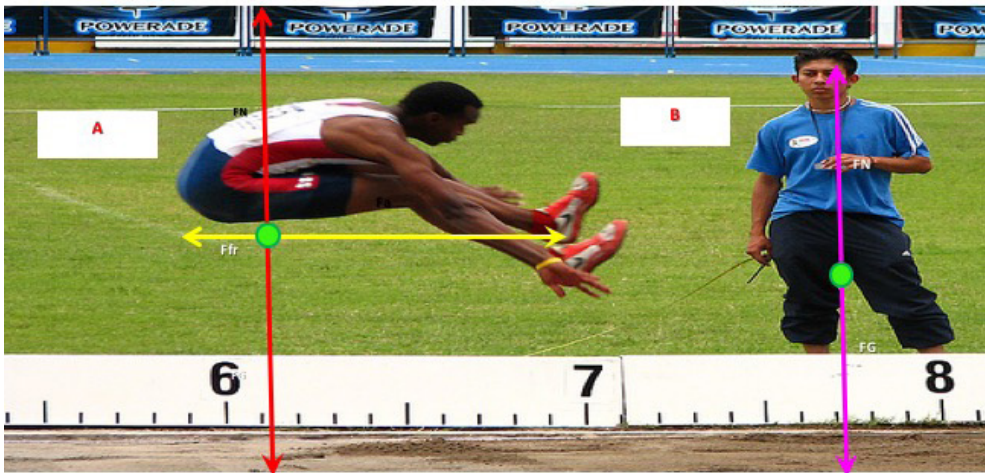
desplazamiento paralelo a esta. En forma de ecuación, el trabajo se puede representar de la siguiente forma:

$$W = F \cdot d \quad (30)$$

Donde F es la fuerza neta aplicada a un cuerpo, para que este último recorra una distancia (d). Las unidades de medida para el trabajo son los Joules (Julios), cuyo símbolo es J , y un Joule es igual a $1 \text{ N} \cdot \text{m}$. Hasta ahora se ha venido repitiendo que la causa máxima de que un cuerpo modifique su estado inercial de reposo o de movimiento, depende de una fuerza, sin embargo, bajo el concepto de trabajo, hay que “no toda fuerza genera trabajo”, es decir, no siempre una fuerza aplicada de un cuerpo A sobre un cuerpo B genera que este último se desplace o recorra una distancia. Esta situación se puede ilustrar mediante un ejemplo: se puede imaginar una situación en donde un hombre sostiene una bolsa llena de varios objetos por un tiempo prolongado. Aunque la bolsa no se está desplazando, dado que el hombre la sostiene en un mismo lugar, sí está realizando varias fuerzas de acción muscular, que consecuentemente generan un gasto de energía (Douglas, 2007; Nigg, 1994; Belloch y Pérez, 2016).

La figura 40 muestra dos situaciones básicas en donde, al aplicar una fuerza sobre un cuerpo, se genera trabajo (figura 40 a) y otra en donde a pesar de que hay fuerzas que intervienen, no se genera trabajo sobre el cuerpo en el que se aplica dicha fuerza (figura 40 b). De igual forma, cuando se trata con el concepto de trabajo, así como cuando se tiene en cuenta el concepto de fuerza, es necesario especificar si se está haciendo referencia al trabajo realizado por un objeto específico o sobre él. Asimismo, es importante especificar si el trabajo realizado se debe a una fuerza en particular o a la fuerza neta total sobre el objeto.

Figura 40. Dos situaciones en donde se aplica el principio de “no toda fuerza genera un trabajo”



En la figura A se observa como una fuerza (fuerza muscular en este caso) genera el desplazamiento del cuerpo del deportista, en tanto que en la figura B, se observa que las fuerzas que actúan sobre el personaje que se encuentra de espectador, hacen que el cuerpo permanezca en su estado inercial de reposo, sin generar trabajo, pero sí un gasto de energía.

Fuente: elaboración propia.

Concepto de energía: tipos de energía (desde la mecánica y la dinámica)

El término energía tiene diversas acepciones y definiciones, relacionadas con la idea de una capacidad para obrar, transformar o poner en movimiento. En física, «energía» se define como la capacidad para realizar un trabajo. En física clásica, la ley universal de conservación de la energía, que es el fundamento del primer principio de la termodinámica, indica que la energía ligada a un sistema aislado permanece constante en el tiempo. Eso significa que para multitud de sistemas físicos clásicos la suma de la energía mecánica, la energía calorífica, la energía electromagnética, y otros tipos de energía potencial son un número constante.

Por ejemplo, la energía cinética se cuantifica en función del movimiento de la materia, la energía potencial según propiedades como el estado de deformación o a la posición de la materia en relación con las fuerzas que actúan sobre ella, la energía térmica según el estado termodinámico, y la

energía química según la composición química. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que según la teoría de la relatividad la energía definida según la mecánica clásica no se conserva constante, sino que lo que se conserva es la masa-energía equivalente. Es decir, la teoría de la relatividad especial establece una equivalencia entre masa y energía por la cual todos los cuerpos, por el hecho de estar formados de materia, poseen una energía adicional equivalente a $E=mc^2$ y si se considera el principio de conservación de la energía esta energía debe ser tomada en cuenta para obtener una ley de conservación (naturalmente en contrapartida la masa no se conserva en relatividad, sino que la única posibilidad para una ley de conservación es contabilizar juntas la energía asociada a la masa y el resto de formas de energía) (Douglas, 2007; Nigg, 1994; Belloch y Pérez, 2016).

Energía en diversos tipos de sistemas físicos

La energía también es una magnitud física que se presenta bajo diversas formas, está involucrada en todos los procesos de cambio de estado físico, se transforma y se transmite, depende del sistema de referencia y fijado este, se conserva. Por lo tanto, todo cuerpo es capaz de poseer energía en función de su movimiento, posición, temperatura, masa, composición química, y otras propiedades. En las diversas disciplinas de la física y la ciencia, se dan varias definiciones de energía, todas coherentes y complementarias entre sí, y todas ellas siempre relacionadas con el concepto de trabajo.

En la mecánica se encuentran:

- Energía mecánica, que es la combinación o suma de los siguientes tipos:
 - Energía cinética, que es relativa al movimiento.
 - Energía potencial, que es la asociada a la posición dentro de un campo de fuerzas conservativo. Por ejemplo, está la *Energía potencial gravitatoria* y la *Energía potencial elástica* (o energía de deformación, llamada así debido a las deformaciones elásticas). Una onda también es capaz de transmitir energía al desplazarse por un medio elástico.

En electromagnetismo se tiene a la:

- Energía electromagnética, que se compone de:
 - Energía radiante, que es la energía que poseen las ondas electromagnéticas.

- Energía calórica, que es la cantidad de energía que la unidad de masa de materia puede desprender al producirse una reacción química de oxidación.
- Energía potencial eléctrica.
- Energía eléctrica, que es el resultado de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos.

En la termodinámica están:

- Energía interna, que es la suma de la energía mecánica de las partículas constituyentes de un sistema.
- Energía térmica, que es la energía liberada en forma de calor, obtenida de la naturaleza (energía geotérmica) o mediante la combustión.

En la relatividad están:

- Energía en reposo, que es la energía debida a la masa según la conocida fórmula de Einstein, $E=mc^2$, que establece la equivalencia entre masa y energía.
- Energía de desintegración, que es la diferencia de energía en reposo entre las partículas iniciales y finales de una desintegración.

En física cuántica, la energía es una magnitud ligada al operador hamiltoniano. La energía total de un sistema no aislado de hecho puede no estar definida: en un instante, dado la medida de la energía puede arrojar diferentes valores con probabilidades establecidas. En cambio, para los sistemas aislados en los que el hamiltoniano no depende explícitamente del tiempo, los estados estacionarios sí tienen una energía bien definida. Además de la energía, asociadas a la materia ordinaria o campos de materia, en física cuántica aparece la:

- Energía del vacío: un tipo de energía existente en el espacio, incluso en ausencia de materia.

En química aparecen algunas formas específicas no mencionadas anteriormente:

- Energía de ionización, una forma de energía potencial, es la energía que hace falta para ionizar una molécula o átomo.
- Energía de enlace, es la energía potencial almacenada en los enlaces químicos de un compuesto. Las reacciones químicas liberan o absorben esta clase de energía, en función de la entalpía y energía calórica.

Si estas formas de energía son consecuencia de interacciones biológicas, la energía resultante es bioquímica, pues necesita de las mismas leyes físicas que aplican a la química, pero los procesos por los cuales se obtienen son biológicos, como norma general resultante del metabolismo celular (Douglas, 2007; Nigg, 1994; Belloc y Pérez, 2016). Hasta ahora se han descrito los tipos de energía que se pueden contemplar desde los distintos campos de la física, pero solo los tipos de energía que atañen al movimiento de un cuerpo son las dos primeras: energía cinética y energía potencial, las que serán descritas a continuación.

Energía potencial

La energía potencial es la energía almacenada que posee un sistema como resultado de las posiciones relativas de sus componentes. Por ejemplo, al comprimir un resorte o levantar un cuerpo se efectúa un trabajo y por lo tanto se produce energía que es potencialmente disponible. En este caso la energía adquirida por el resorte se debe a su configuración, y la energía del cuerpo se debe a su posición. En el primer caso se dice que la energía potencial es elástica y en el segundo que la energía potencial es gravitatoria.

La energía potencial elástica se podría explicar así: si un resorte deformado posee energía potencial, es producto de la realización de un trabajo, que se manifiesta en una transformación de energía muscular en energía cinética y esta a su vez se transforma en energía potencial que adquiere el resorte. Analicemos lo que ocurre al comprimir el resorte: la fuerza que se le aplica es proporcional a la compresión que este experimenta. Tomando en cuenta la definición de proporcionalidad sabemos que se necesita una constante, y tomaremos como constante la deformación del resorte que llamaremos K y tendremos la siguiente fórmula $F=K*d$, sustituyendo esta fórmula en la ecuación de trabajo tendremos que $T = \frac{1}{2} (K*d)*d$ donde nos queda que $T = \frac{1}{2}K*d^2$.

Un cuerpo adquiere energía potencial gravitatoria cuando realiza un trabajo contra la gravedad, para colocarlo a cierta altura en relación con el plano horizontal. Para elevar un cuerpo de masa m a una altura h es necesario realizar una fuerza igual a su peso, siendo g la aceleración de la gravedad; el trabajo sería igual a $T = F*h$ siendo la fuerza $F = m*g$ el trabajo sería $T = m*g*h$. Si la energía potencial gravitatoria de un cuerpo se mide con referencia a la superficie de la tierra, la ecuación solo es válida para alturas relativamente

pequeñas, en donde la fuerza de gravedad todavía actúe (Douglas, 2007; Nigg, 1994; Belloch y Pérez, 2016).

Fuerzas conservativas y no conservativas

El trabajo efectuado contra la gravedad para mover un objeto de un punto a otro, no depende de la trayectoria que siga; por ejemplo se necesita el mismo trabajo para elevar un cuerpo a una determinada altura, que llevarlo cuesta arriba a la misma altura. Fuerzas como la gravitatoria, para las cuales el trabajo efectuado no depende de la trayectoria recorrida, sino de la posición inicial y final, se les conoce como fuerzas conservativas.

Por otra parte la fuerza de fricción no es una fuerza conservativa, pues el trabajo realizado para empujar una caja por el piso depende de la trayectoria, si es recta, curva o en zigzag. Por ejemplo si una caja es empujada siguiendo una trayectoria semicircular más larga, en vez de hacerlo en trayectoria recta se realiza un trabajo mayor porque es una mayor distancia, y a diferencia de la gravedad, la fuerza de fricción está en contra de la fuerza que se aplica, debido a que la energía potencial está asociada con la posición de los cuerpos, lo cual tiene sentido solo si se puede establecer para cualquier punto dado. Esto no se puede hacer con las fuerzas no conservativas, pues el trabajo no depende de la distancia entre dos puntos sino de la trayectoria que siga. En consecuencia, la energía potencial se puede definir solo para una fuerza conservativa, así y aunque siempre se asocia la energía potencial con una fuerza, no podemos formularla para cualquier fuerza, como la de fricción que es una fuerza no conservativa.

Otro ejemplo es una partícula que cae en un fluido, la cual está sujeta a la fuerza de gravedad, a la fuerza de fricción y a la viscosidad del elemento. Ahora podemos ampliar el principio de trabajo y energía, descrito anteriormente para trabajar con energía potencial. Si suponemos que trabajamos con varias fuerzas sobre una misma partícula, algunas de ellas conservativas, podemos formular una función de la energía potencial a estas fuerzas conservativas. Escribimos el trabajo total (neto) como un trabajo realizado por las fuerzas conservativas y el trabajo realizado por las fuerzas no conservativas (Douglas, 2007; Nigg, 1994; Belloch y Pérez, 2016).

Energía cinética

La energía cinética es la energía que posee un cuerpo debido a su movimiento, depende de la masa y la velocidad del cuerpo según la siguiente ecuación: $E_c = \frac{1}{2} m \cdot V^2$, donde m es la masa del cuerpo y V es la velocidad que tiene el cuerpo. Si tenemos la aceleración y la distancia recorrida por el cuerpo sabiendo que $A = V/T$ obtenemos la siguiente fórmula $E_c = m \cdot a \cdot d$. Un ejemplo de energía cinética en la vida cotidiana sería el hecho de manejar un auto por una calle o el simple acto de caminar.

Por otra parte dentro de la energía cinética se encuentran diferentes clases de energía cinética o relaciones entre la energía cinética y con otras clases de energías. Entre ellas está la relación entre trabajo y energía, la transmisión de energía cinética en choques o colisiones y la relación entre energía y la cantidad de movimiento. Con respecto a la relación entre trabajo y energía, es claro que un cuerpo en movimiento realiza un trabajo y por lo tanto posee una energía, que el movimiento realiza un trabajo y por lo tanto posee una energía, y que si el movimiento posee una rapidez variable, la energía del cuerpo también varía. Esta clase de energía que depende de la rapidez que posee en cuerpo se llama energía cinética.

Si se tiene en cuenta que $t = m \cdot a \cdot d$ y se sabe que la energía cinética es $e_c = m \cdot a \cdot d$ el trabajo realizado por un cuerpo es igual a la energía cinética que este tiene.

En el caso de la transmisión de energía cinética en colisiones o choques, se sabe que generalmente en una interacción entre dos o más cuerpos, la energía cinética se transforma en energía potencial, energía calórica o en algún proceso de deformación de los cuerpos que actúan en el proceso. Estas interacciones se caracterizan porque la energía cinética no se conserva y se les llama interacciones inelásticas. En este caso la fuerza que se produce cuando los cuerpos se acercan es mayor a la fuerza que se produce cuando se alejan, esto hace que la velocidad que poseen los cuerpos disminuya después de su interacción, haciendo que la energía cinética disminuya. En relación a la energía cinética y la cantidad de movimiento, si en un sistema aislado formado por dos cuerpos de masas m_1 y m_2 , entre los cuales existe una interacción, la cantidad de movimiento se conserva, o sea que $m_1 v + m_2 u = m_1 v_1 + m_2 v_2$; siendo v y u las velocidades respectivas antes de la interacción y v_1 y u_1 las velocidades después de la interacción (Douglas, 2007; Nigg, 1994; Belloch y Pérez, 2016).

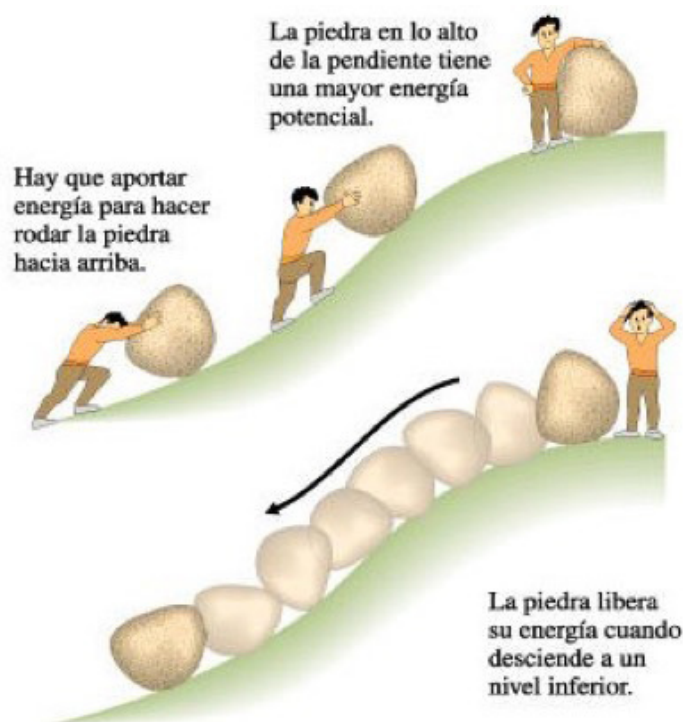
Teorema de trabajo y energía

Luego de haber estudiado lo anterior tenemos una idea de la relación que existe entre el trabajo y la energía, se sabe que el trabajo efectuado sobre un objeto es igual a su cambio de energía cinética. Esta relación es llamada “El principio de trabajo y energía”, que se podría explicar así: “cuando la velocidad de un cuerpo pasa de un valor a otro, la variación de la energía cinética que experimenta es igual al trabajo realizado por la fuerza neta que origina el cambio de velocidad”.

Si se toma en cuenta el planteamiento anterior se tendrá, que $E_c = T$, pero teniendo en cuenta que este trabajo es realizado por la fuerza neta del cuerpo, es decir por la sumatoria de las fuerzas que actúan sobre el cuerpo. Veamos algunos ejemplos cotidianos de este teorema: cuando un carro acelera aumenta su rapidez y por lo tanto su energía cinética. En forma detallada ocurre lo siguiente: la explosión de gasolina por medio del motor y otros componentes originan una fuerza con la misma dirección y sentido del movimiento. Esta fuerza realiza un trabajo mecánico que transmite a la masa del carro, lo cual ocasiona un aumento en la velocidad y por lo tanto la energía cinética es igual al trabajo mecánico que por medio de la gasolina se transmitió al carro. En este caso el trabajo es positivo porque la energía cinética aumentó.

Otro ejemplo: cuando una bola atraviesa una pared, pierde velocidad y por lo tanto energía cinética. En este caso ocurre lo siguiente: para que la bala atravesase la pared, primero tiene que romper la fuerza de adhesión que tienen las moléculas de la pared, es decir que se origina una fuerza de rozamiento con la dirección del movimiento pero en sentido contrario, que frena la bala disminuyendo su velocidad y por lo tanto su energía cinética. Esta fuerza a lo largo del espesor de la pared realiza un trabajo mecánico que se transfiere a la masa de la bala, lo cual origina una disminución de la velocidad y por tanto en la energía cinética, y esta energía cinética es igual al trabajo realizado, que mediante rozamiento se transmitió a la bala. En este caso el trabajo es negativo porque la energía cinética disminuyó (Douglas, 2007; Nigg, 1994; Belloch y Pérez, 2016). La figura 41 muestra un ejemplo gráfico (además de los que ya se han mostrado) del teorema que relaciona el trabajo y la energía.

Figura 41. Teorema del trabajo y la energía



Fuente: tomado y modificado de Hewitt (2004).

Otros elementos desde la física mecánica: centro de gravedad y centro de masa

Antes de hacer las correspondientes descripciones de centro de gravedad (CG) y centro de masa (CM), es necesario poner en contexto estos términos bajo el marco de la estática: el estudio de las fuerzas en equilibrio. Se ha repetido en varias ocasiones en esta obra que una fuerza actúa sobre un objeto, haciendo que este se mueva o que en términos generales, modifique el estado inercial de reposo o de movimiento. Se ha descrito de igual forma, que no todas las fuerzas que se aplican sobre un cuerpo, generan movimiento y desplazamiento, aunque el conjunto de fuerzas que actúan sobre un cuerpo si determinan si podrá mantenerse en equilibrio. De igual forma, el conjunto de fuerzas que actúa sobre un cuerpo, lo hace en determinados puntos que sirven a la vez como puntos de referencia para la acción de dichas fuerzas.

Estos puntos de referencia se denominan como centro de gravedad y centro de masa, términos que serán descritos y explicados a continuación.

Centro de gravedad

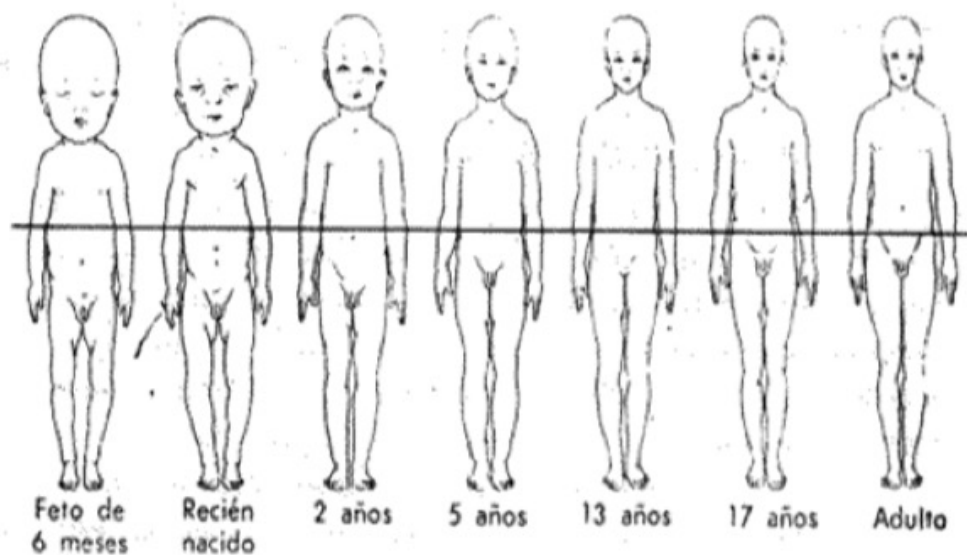
Un cuerpo (y en este caso concreto, el cuerpo humano), se puede considerar como una distribución continua de masa. En cada una de estas partículas que conforman la masa del cuerpo, estará actuando la fuerza de la gravedad. Teniendo en cuenta lo anterior, la posición donde la fuerza de la gravedad actúa de forma neta, se le conoce como centro de gravedad. Es el punto de referencia ubicado en una posición promedio (en la estructura de un cuerpo), en donde se concentra el peso total del cuerpo. También se puede definir este centro de gravedad como el punto de aplicación de la resultante de todas las fuerzas que la gravedad ejerce sobre los diferentes puntos materiales que constituyen a un cuerpo.

Existen variadas definiciones del centro de gravedad, las cuales se enfocan, en su gran mayoría, en definirlo como un punto de equilibrio (o punto de un cuerpo en donde la sumatoria de las fuerzas que actúan sobre ese mismo es igual cero). De esta forma, el centro de gravedad es un punto teórico en el cual un objeto puede ser balanceado. El objeto se comporta como si su peso estuviera concentrado en ese punto. Puede estar dentro o fuera del objeto. El centro de gravedad también se considera como aquel punto del cuerpo donde la masa total del cuerpo puede aplicarse y es el punto alrededor del cual el cuerpo puede permanecer inmóvil (llamado también punto de equilibrio). Otras definiciones hacen referencia al centro de gravedad de un cuerpo sólido como el punto de aplicación de la resultante de la fuerza de la gravedad ejercida por la atracción terrestre sobre todas las partículas de la masa del cuerpo.

Para el caso concreto del cuerpo humano, el centro de gravedad está ubicado en término promedio en la zona correspondiente con el nivel L1 o L2 vertebral. Esta ubicación puede modificarse y hacerse más arriba o más abajo en el cuerpo, de acuerdo al mayor acúmulo de masa del mismo cuerpo. De igual forma, la ubicación del centro de gravedad conforme sucede el desarrollo psicomotriz y estructural del cuerpo humano, cambia de acuerdo a estas características. La figura 42 muestra como la ubicación del centro de gravedad va cambiando, presentando una ubicación a nivel de la columna dorsal (o torácica), y paulatinamente va descendiendo hasta ubicarse a

nivel definitivo L1 – L2 (en columna lumbar). Este comportamiento de ubicación del centro de gravedad se debe a que la distribución de masa en el cuerpo humano en las primeras etapas de vida es diferente, teniendo una preferencia por ser en mayor cuantía en la parte superior de cuerpo (esto es, que en un niño recién nacido y más o menos hasta los 6 o 7 años de edad tendrá la cabeza un poco más grande con respecto al resto del cuerpo). Dado el contexto en el cual se describe el concepto del centro de gravedad, cabe anotar que este mismo siempre tendrá una relación importante con los cuerpos que se encuentran en situación de equilibrio estático, ya que uno de los aspectos determinantes del centro de gravedad, es la fuerza de gravedad, que en términos generales se encarga de la ubicación de este importante centro, no solo en el cuerpo humano, sino en cualquier cuerpo (Douglas, 2007; Nigg, 1994; Belloch y Pérez, 2016).

Figura 42. Cambio de ubicación del centro de gravedad en el cuerpo humano de acuerdo al desarrollo estructural y psicomotor



Fuente: tomado de Palmer (1994).

En el segmento que se tratará posteriormente, se dará cuenta de una de las formas concretas que existen para el cálculo del centro de gravedad en la figura humana.

Centro de masa

Al igual que el concepto de centro de gravedad, las definiciones que existen para el centro de masa son variadas. Sin embargo, si se tiene en cuenta la definición del centro de gravedad, el centro de masa se puede definir como aquel punto ponderado de un cuerpo en donde se supone que estará concentrada la masa, por lo que el centro de masa de cualquier cuerpo rígido siempre estará cercano a donde se acumule la mayor parte de la masa del mismo cuerpo. Definiciones similares del centro de masa hacen referencia al punto en donde se acumula la masa de todo el cuerpo, y el sitio en donde actúa la fuerza neta (o sumatoria de fuerzas), la cual es responsable de que un cuerpo cambie su estado inercial de movimiento.

Si bien es cierto que las definiciones de centro de gravedad y centro de masa son muy similares, existen algunas diferencias importantes entre ambos conceptos. Los dos se relacionan con la masa de un cuerpo, pero de forma diferente. Es de esta manera como un cuerpo que se encuentra en estado de equilibrio dinámico (o en movimiento), en la realización del mismo, desplaza su cantidad n de partículas en el sentido del movimiento (o en el sentido de la fuerza de acción), es hacia ese mismo lado hacia donde se moverá el centro de masa, es decir, es la fuerza de acción, la que en este caso determina la ubicación del centro de masa en el cuerpo. La tabla 11 muestra las principales diferencias y similitudes entre los conceptos de centro de gravedad (CG), y centro de masa (CM) (Douglas, 2007; Nigg, 1994; Belloch y Pérez, 2016).

Tabla 11. Diferencias y similitudes entre los conceptos de centro de gravedad y centro de masa

Concepto	Centro de gravedad	Centro de masa
Similitudes	Tanto el centro de masa (CM) como el centro de gravedad (CG) hacen referencia al acúmulo de la cantidad de partículas que conforman la masa de un cuerpo.	

Diferencias	El centro de gravedad siempre se relaciona con cuerpos en equilibrio estático (o cuerpos en reposo).	El centro de masa siempre se relaciona con cuerpos en equilibrio dinámico (o cuerpos en movimiento).
	La ubicación del centro de gravedad dependerá de la fuerza de gravedad (F_g).	La ubicación del centro de masa dependerá de la fuerza de acción (F_a).

Fuente: elaboración propia.

En los segmentos que serán presentados a continuación, se describirán las formas existentes para el cálculo del centro de gravedad y del centro de masa en un cuerpo.

Cálculo del centro de gravedad a través del método clúster (o método segmentario)

Existen muchas formas para el cálculo del centro de gravedad, que pueden ser más o menos exactos dependiendo de las necesidades que se tengan para la medición, cálculo y ubicación en un cuerpo que se encuentre en equilibrio estático o en equilibrio dinámico. Sin embargo, de todos los métodos que existen para hacer dicho cálculo se encuentra uno que puede ser el más preciso de todos y tal vez uno de los más utilizados para tal fin: el método segmentario o método clúster.

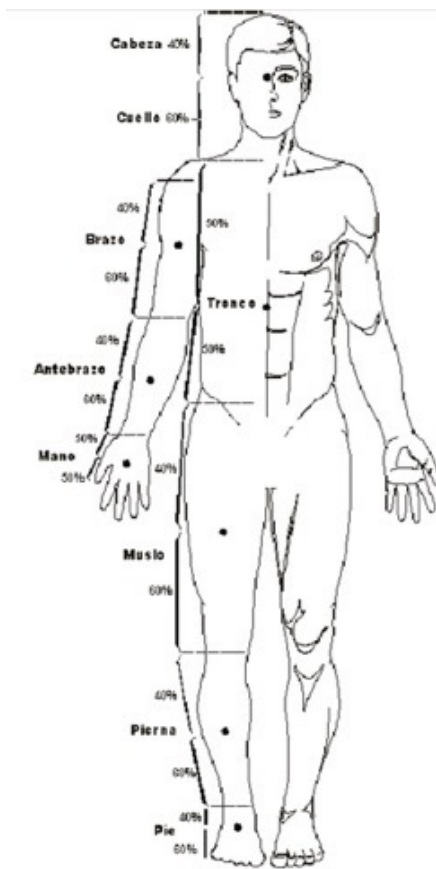
El método segmentario tiene como objetivo fundamental el cálculo del centro de gravedad a partir del marcaje de la posición de una serie de segmentos del cuerpo denominados como “centros de gravedad segmentarios”, que corresponden con los centros de gravedad propios para cada segmento del cuerpo (segmentos como cabeza, tronco, brazos, antebrazos, manos, muslos, piernas y pies), que se ubican a través de una fotografía en un sistema de referencia o plano corporal o cartesiano. De cada uno de estos segmentos corporales también se dispone del porcentaje del peso relativo, así como de la ubicación de cada uno de los centros de gravedad segmentarios en un mapa corporal (mostrado en la figura 43) (Douglas, 2007; Nigg, 1994; Belloch y Pérez, 2016).

Para realizar dicha práctica de aplicación del método segmentario, tanto el porcentaje relativo de cada segmento corporal, como la ubicación de

los centros de gravedad segmentarios que se obtiene de los estudios que clústerrealizados en 13 cadáveres en 1963. Se deben seguir los siguientes pasos en el procedimiento para el cálculo del CG:

- a. Escoger una fotografía de cuerpo completo en plano sagital o coronal.
- b. Ubicar la foto sobre un papel milimetrado o cuadriculado en su defecto.
- c. Determinar el sistema de referencia en un plano cartesiano estableciendo el eje X y el eje Y, para hacer más fácilmente la ubicación de los CGS (centros de gravedad segmentarios) en la figura.
- d. Enumerar el eje X de izquierda a derecha y el eje Y de inferior a superior.
- e. Marcar los puntos de referencia establecidos en la tabla de registro sobre cada uno de los segmentos de la foto.
- f. Con cada punto, uniéndolos, elaborar un kinegrama (o imagen alámbrica) a partir de la unión de los centros de gravedad segmentarios.
- g. Determinar el CGS, teniendo en cuenta la tabla de pesos relativos y porcentajes de ubicación de los centros de gravedad.
- h. El CGS se halla multiplicando la longitud de cada segmento corporal, por el porcentaje correspondiente de ubicación del centro de gravedad establecido en la tabla, y dividirlo en 100. El resultado obtenido se dará en centímetros y la ubicación de los puntos se realizará de proximal a distal.
- i. Al culminar la marcación de los CGS realizar la sumatoria de los valores registrados en cada uno de los ejes y dividir el resultado de cada eje, entre el número de registros realizados para cada uno.
- j. Ubicar el punto de intersección entre estos dos resultados (este será el CGT – Centro de gravedad total). La tabla 12 tiene en cuenta los porcentajes de peso relativo de cada uno de los segmentos corporales.

Figura 43. Mapa corporal de los centros de gravedad segmentarios



Fuente: tomado de Saunders (2004).

Tabla 12. Valores de porcentaje de peso relativo para cada segmento corporal, según el método segmentario o clúster

Segmento del cuerpo	% del peso segmental	Valor de la coordenada X	Productos X (%) del peso	Valor de la coordenada Y	Producto Y (%) del peso
Cabeza y cuello	.079				
Tronco	.511				
Brazo superior derecho	.027				
Brazo inferior derecho	.016				

Mano derecha	.006				
Brazo superior izquierdo	.027				
Brazo inferior izquierdo	.016				
Mano izquierda	.006				
Muslo derecho	.097				
Pierna inferior derecha	.045				
Pie derecho	.014				
Muslo izquierdo	.097				
Pierna inferior izquierda	.045				
Pie izquierdo	.014				
Total de los productos					

Fuente: tomado de Saunders (2004).

Determinación del centro de masa mediante el método convencional

Una de las fuerzas que actúan sobre las estructuras y los diversos cuerpos que se encuentran en la superficie de la Tierra (incluyendo el cuerpo humano) es la fuerza de gravedad. Sin embargo, se ha determinado ya en varias ocasiones en esta obra, que la fuerza de gravedad no es la única fuerza que interviene sobre un cuerpo. Una de las más importantes fuerzas que actúan en un cuerpo y que determina, específicamente para una estructura en movimiento, hacia donde se mueve, y por cuánto tiempo terminará moviéndose, es la fuerza de acción (F_a), que a su vez es el principal determinante de la ubicación que el CM pueda tener. De acuerdo con esta afirmación, el método, o dicho de mejor forma, la fórmula que permite calcular el CM de un objeto es la siguiente:

$$X(cm) = \sum m_i x_i / M \quad (31)$$

En donde cm (en minúsculas) es la distancia (en cm) de cada una de las partículas en su ubicación en el eje X y en el eje Y . m_i hace referencia a la masa (en kg) de cada partícula y X_i hace referencia a la distancia de cada una de las partículas en cada eje. M es la masa total del sistema o del cuerpo sobre el que se está calculando el CM. En la sección IV se harán aplicaciones concretas de cada uno de los métodos para el cálculo del CG y del CM (Viladot, 2001; Aguilar, 2000; Miralles, 2007; Nigg, 1994).

Palanca: concepto y clasificación

Una de las características del movimiento de un cuerpo (incluyendo el movimiento del cuerpo humano en la realización de las praxias simples, complejas o en la realización de gestos deportivos), es la de realizar dichos movimientos con la mayor eficacia y eficiencia, y al mismo tiempo con la mayor economía posible (en cuanto a gasto energético se refiere —con el menor gasto de energía, que para el caso de nuestro cuerpo se vería reflejado en un óptimo y adecuado consumo de ATP— Adenosina Trifosfato). Parte de garantizar que en una cadena cinética un adecuado comportamiento se basa en el principio básico que trata el tema de palancas, descrito a continuación.

Por definición, una palanca se considera como una máquina simple, representada por una barra rígida, la cual se dispone sobre un fulcro o punto de apoyo, y que tiene como objetivo, transmitir una fuerza (fuerza motriz), generando así un movimiento de dicho objeto sobre el que la palanca actúa. Una palanca es utilizada para amplificar la magnitud de la fuerza que se desea aplicar sobre un objeto para hacer que este se mueva (Viladot, 2001; Aguilar, 2000; Miralles, 2007; Nigg, 1994).

Algo de historia

Se cuenta que Arquímedes dijo sobre la palanca:

“Dadme un punto de apoyo y moveré el mundo”.

El descubrimiento de la palanca y su empleo en la vida cotidiana proviene de la época prehistórica. Su empleo cotidiano, en forma de cigoñales, está documentado desde el tercer milenio a.C., en sellos cilíndricos de Mesopotamia, hasta nuestros días. El manuscrito más antiguo que se

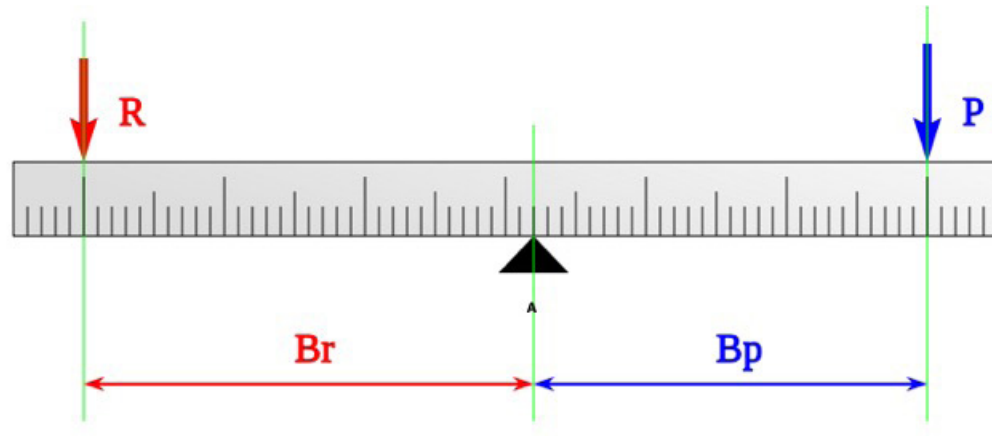
conserva con una mención a la palanca forma parte de la *Sinagoga* o *Colección matemática* de Pappus de Alejandría, una obra en ocho volúmenes que se estima fue escrita alrededor del año 340. Allí aparece la famosa cita de Arquímedes, descrita anteriormente. De esta forma, al heleno Arquímedes se le atribuye la primera formulación matemática del principio de la palanca (Viladot, 2001; Aguilar, 2000; Miralles, 2007; Nigg, 1994).

Fuerzas actuantes en una palanca

Sobre la barra rígida que constituye una palanca actúan tres fuerzas, descritas a continuación:

- La potencia (P): es la fuerza que aplicamos voluntariamente con el fin de obtener un resultado; ya sea manualmente o mediante motores u otros mecanismos.
- La resistencia (R): es la fuerza que vencemos, ejercida sobre la palanca por el cuerpo a mover. Su valor será equivalente, por el principio de acción y reacción, a la fuerza transmitida por la palanca a dicho cuerpo.
- La fuerza de apoyo: es la ejercida por el fulcro sobre la palanca. Si no se considera el peso de la barra, será siempre igual y opuesta a la suma de las anteriores, que permite mantener la palanca sin desplazarse del punto de apoyo, sobre el que rota libremente.
- Brazo de potencia (Bp): es la distancia entre el punto de aplicación de la fuerza de potencia y el punto de apoyo.
- Brazo de resistencia (Br): distancia entre la fuerza de resistencia y el punto de apoyo. (Izquierdo, 2008; Viladot, 2001; Aguilar, 2000; Miralles, 2007; Nigg, 1994). La figura 44 representa todas las fuerzas actuantes de una palanca.

Figura 44. Partes de una palanca y fuerzas actuantes. P: Potencia, R: Resistencia, A: Apoyo o fulcro, Bp: Brazo de potencia, Br: Brazo de resistencia



Fuente: tomado y modificado de Giancoli (2002).

Leyes físicas de la palanca

En física, la ley que relaciona las fuerzas de una palanca en equilibrio se expresa mediante la ecuación:

$$P \times Bp = R \times Br \quad (32)$$

Ley de la palanca: potencia por su brazo es igual a resistencia por el suyo

Siendo P la potencia, R la resistencia, y Bp y Br las distancias medidas desde el fulcro hasta los puntos de aplicación de P y R respectivamente, llamadas *brazo de potencia* y *brazo de resistencia*.

Si en cambio una palanca se encuentra rotando aceleradamente, como en el caso de una catapulta, para establecer la relación entre las fuerzas y las masas actuantes deberá considerarse la dinámica del movimiento en base a los principios de conservación de cantidad de movimiento y momento angular (Izquierdo, 2008; Viladot, 2001; Aguilar, 2000; Miralles, 2007).

Tipos de palanca

Las palancas se dividen en tres géneros, también llamados órdenes o clases, dependiendo de la posición relativa de los puntos de aplicación de la potencia y de la resistencia con respecto al fulcro (punto de apoyo). El principio de la palanca es válido indistintamente del tipo que se trate, pero el efecto y la forma de uso de cada uno cambian considerablemente. A continuación se hará la explicación de cada uno de los tipos de palanca existentes:

Palanca de primera clase

En la palanca de primera clase, el fulcro se encuentra situado entre la potencia y la resistencia. Se caracteriza en que la potencia puede ser menor que la resistencia, aunque a costa de disminuir la velocidad transmitida y la distancia recorrida por la resistencia. Para que esto suceda, el brazo de potencia B_p ha de ser mayor que el brazo de resistencia B_r . Cuando lo que se requiere es ampliar la velocidad transmitida a un objeto, o la distancia recorrida por este, se ha de situar el fulcro más próximo a la potencia, de manera que B_p sea menor que B_r . (Izquierdo, 2008; Viladot, 2001; Aguilar, 2000; Miralles, 2007). La figura 45 muestra un ejemplo gráfico de una palanca de primera clase.

Figura 45. Palanca de primera clase (también denominada como palanca de primer género)



Fuente: elaboración propia,

Palanca de segunda clase

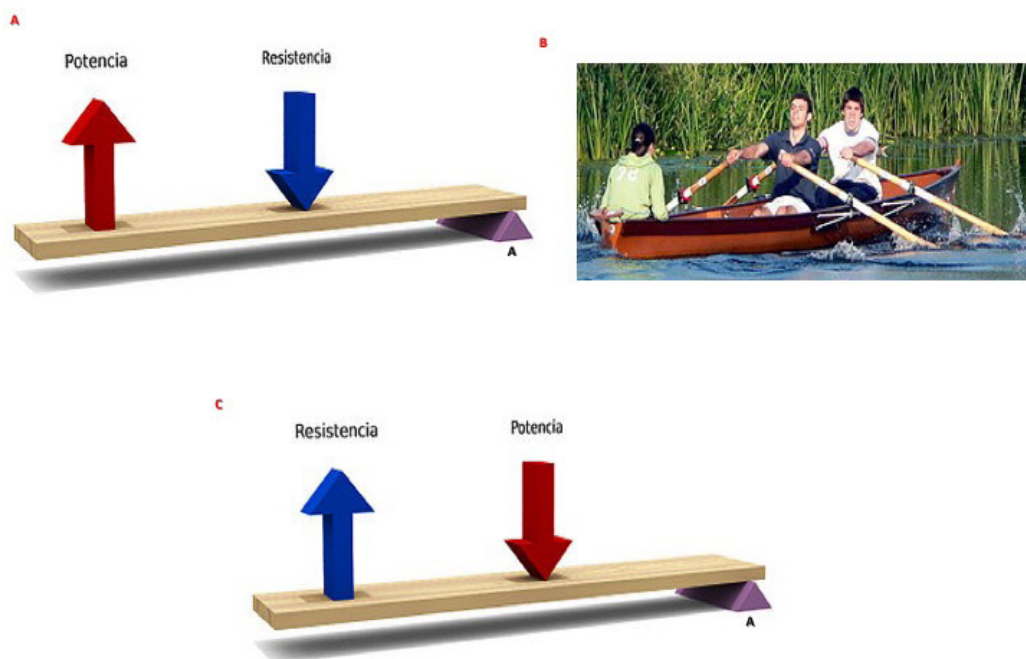
En la palanca de segunda clase, la resistencia se encuentra entre la potencia y el fulcro. Se caracteriza porque la potencia es siempre menor que la resistencia, aunque a costa de disminuir la velocidad transmitida y la distancia recorrida por la resistencia. La figura 46 a muestra un ejemplo gráfico de una palanca de segunda clase o de segundo género. (Izquierdo, 2008; Viladot, 2001; Aguilar, 2000; Miralles, 2007).

La figura 46 b muestra un ejemplo aplicado de la palanca de segundo grado.

Palanca de tercera clase

En la palanca de tercera clase, la potencia se encuentra entre la resistencia y el fulcro. Se caracteriza porque la fuerza aplicada es mayor que la resultante; y se utiliza cuando lo que se requiere es ampliar la velocidad transmitida a un objeto o la distancia recorrida por él. (Izquierdo, 2008; Viladot, 2001; Aguilar, 2000; Miralles, 2007). La figura 46 c muestra un ejemplo gráfico de una palanca de tercera clase.

Figura 46. a) Palanca de Segunda clase. b) Ejemplo aplicado de palanca de segunda clase en el desarrollo de la acción de remar. c) Palanca de tercera clase



Fuente: elaboración propia.

Palancas en el cuerpo humano

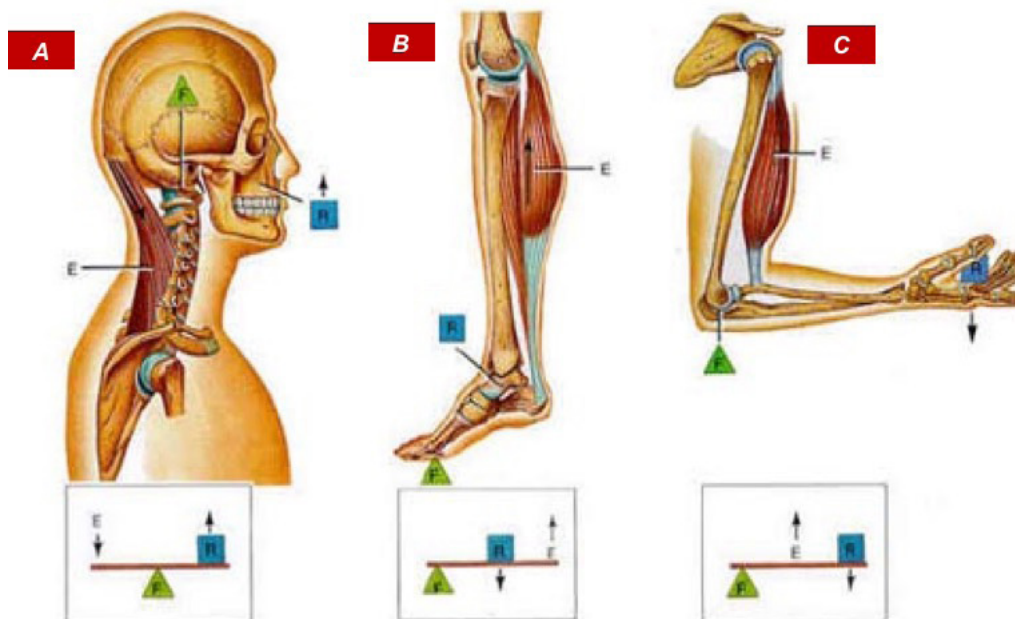
Muchos de los músculos y huesos del cuerpo actúan como palancas. Las de tercera clase son las más frecuentes. Principalmente se hallan en las extremidades, y están destinadas a permitir grandes, amplios y poderosos movimientos. Las de las piernas son más fuertes que las de los brazos, aunque tiene menos variedad de posiciones al moverse. La figura 47 muestra aplicaciones concretas de las tres clases de palancas en el cuerpo humano.

Se puede establecer que tan efectiva es una palanca desde el punto de vista mecánico, es decir, que la magnitud de la fuerza aplicada es suficiente para mantener el equilibrio o para generar un movimiento. En este caso, se utiliza el concepto de ventaja mecánica, que desde el punto de vista matemático, corresponde a un número finito y representa la relación entre brazo de palanca (B_p) y el brazo de resistencia (B_r). Al calcular la ventaja mecánica se cumplen las siguientes condiciones o características:

- Si la ventaja mecánica es mayor a 1, entonces la palanca es mecánicamente efectiva.
- Si la ventaja mecánica es menor de 1, entonces la palanca no es mecánicamente efectiva.
- Si la ventaja mecánica es igual a 1, indica que el cuerpo permanece en equilibrio.

Si la palanca no es efectiva, significa que la magnitud de la fuerza ejercida debe aumentar para lograr la condición de equilibrio o de movimiento. Esto es de gran importancia, ya que casi todas las articulaciones de nuestro cuerpo se clasifican en su funcionamiento en cadena cinética, como palancas de tercera clase, con brazos de potencia cortos de longitud, lo que indica que el músculo debe esforzarse más para contraerse y generar más fuerza, responsable de generar a su vez una ventaja mecánica mayor a 1 (Cromer, A, 1996; McDonald, 1998; Miralles, 2007; Viladot, 2001; Aguilar, 2000).

Figura 47. Aplicaciones de palancas de primera, segunda y tercera clase en el cuerpo humano. a) Palanca de primera clase, b) Palanca de segunda clase, c) Palanca de tercera clase



Se observa que en a) palanca de primera clase, la resistencia es lo que se desea mover (en este caso la barbilla, sobre un punto de apoyo – A, que sería la articulación atlanto–occipital y que se comporta como apoyo o fulcro, a través de la acción de una potencia – P, que es el esternocleidomastoideo. En b) palanca de segunda clase, A es el apoyo sobre los dedos del pie, mientras que la resistencia – R, es la articulación del tobillo, y la potencia – P, es generada por el músculo gastronemio. En c) palanca de tercera clase, la R – resistencia es generada por el peso de la mano, mientras que quien mueve esta resistencia es la P – potencia, generada por la acción del músculo bíceps braquial, sobre A – apoyo en la articulación del codo.

Fuente: elaboración propia.

Hasta esta temática se tendrán en cuenta los aspectos que desde la física, y más concretamente, desde la mecánica se necesitan para comenzar a responder la pregunta de ¿cómo nos movemos? Sin embargo, es necesario también tener en cuenta otros criterios provenientes de la biología en relación a como los tejidos conectivos que hacen parte de las cadenas cinéticas, responden ante los distintos tipos de carga.

