

MÓDULO

BIOMECAÁNICA: DE LA FÍSICA MECAÁNICA AL ANÁLISIS DE GESTOS DEPORTIVOS

Yisel Carolina Estrada Bonilla

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE CULTURA FÍSICA
DEPORTE Y RECREACIÓN
2018



Módulo

**Biomecánica: de la física
mecánica al análisis de
gestos deportivos**

Yisel Carolina Estrada Bonilla



Estrada Bonilla, Yisel Carolina

Biomecánica: De la física mecánica al análisis de gestos deportivos / Yisel Carolina Estrada Bonilla
Bogotá: Universidad Santo Tomás, 2018.

265 páginas; Cuadros, fotografías a color, gráficas, ilustraciones y tablas

Incluye referencias bibliográficas

ISBN 978-958-782-132-1

1. Mecánica humana 2. Locomoción humana 3. Deportes -- Aspectos fisiológicos 4. Biomecánica
5. Movimientos mecánicos 6. Mecánica humana 7. Fisiología humana I. Universidad Santo Tomás
(Colombia).

CDD 612.76

CO-BoUST



© Yisel Carolina Estrada Bonilla

© Universidad Santo Tomás, 2018

Ediciones USTA

Carrera 9 n.º 51-11

Edificio Luis J. Torres sótano 1

Bogotá D.C., Colombia

Teléfono: (+571) 5878797, ext. 2991

editorial@usantotomas.edu.co

<http://ediciones.usta.edu.co>

Coordinación de libros: Karen Grisales Velosa

Diagramación: Violeta de Oliveira.

Diseño de cubierta: Kilka Diseño Gráfico

Corrección de estilo: Miguel Fernando Niño Roa

Hecho el depósito que establece la ley

E-ISBN: 978-958-782-132-1

Primera edición, 2018

Se prohíbe la reproducción total o parcial de
esta obra, por cualquier medio, sin la autorización
previa por escrito de Ediciones USTA.

Contenido

INTRODUCCIÓN	13
Definición e historia de la biomecánica	17
Evolución histórica de la biomecánica	20
Antigüedad	22
Edad Media	25
Renacimiento	25
Revolución Científica	27
La Ilustración	29
El siglo de la marcha	30
Siglo xx	32
LINEAMIENTOS GENERALES PARA LA REALIZACIÓN DE ESTE LIBRO	35
Planteamiento del problema. ¿El porqué de este libro?	36
Pregunta de investigación	37
Objetivos	38
Objetivo General	38

Objetivos Específicos	38
Justificación	39
Marco metodológico. ¿Cómo se realizó este libro?	40
Tipo de estudio que rige la realización de este libro	40
Tipos de documentos revisados: clasificación, tiempos de realización y de búsqueda de la información	41
Esquema general (pedagógico) base para el desarrollo del libro	44
PRINCIPIOS BÁSICOS APLICADOS A LA BIOMECÁNICA DEL MOVIMIENTO CORPORAL HUMANO	48
Sistemas de referencia: planos y ejes corporales, tipos de movimientos realizados por el cuerpo humano	50
Planos anatómicos	53
Ejes anatómicos de movimiento	56
Movimientos realizados por el cuerpo humano	58
Tipos de movimiento según la trayectoria: de traslación, rotación, y mixtos	59
Descriptores anatómicos de movimiento	61
Movimientos registrados por cada plano y por cada eje	62
Unidades de medida según el sistema métrico internacional (SI) factores de conversión y tabla de múltiplos y submúltiplos de la unidad	65
Términos clave	66
El Sistema Métrico Internacional (SI)	67
Unidades de base	67

Unidades suplementarias	67
Unidades derivadas o combinadas	67
Unidades nombradas especialmente	68
Unidades estándar nombradas por los científicos	71
Conversión de otras unidades de medida al SI	74
PRINCIPIOS FÍSICOS APLICADOS AL ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO CORPORAL HUMANO	76
Concepto de cinética, cinemática y dinámica	77
Algo de historia acerca de la cinemática	79
Elementos básicos de la cinemática	80
Historia de la dinámica	82
Ley de la conservación	83
Inercia y masa inercial	83
Trabajo y energía	84
Fuerza y potencia	84
Concepto de fuerza	84
Algo de historia: origen del concepto de fuerza	88
Fuerzas de contacto y fuerzas a distancia	89
Magnitudes físicas escalares y vectoriales	90
Definición de vector: ¿qué es?, ¿para qué sirve?	92
Operaciones matemáticas con vectores	94
Sumatoria de vectores: método gráfico (o del paralelogramo)	95

Sumatoria de vectores: métodos matemáticos	100
Sumatoria de vectores: método de los componentes (o de seno y coseno)	100
Sumatoria de vectores: método aritmético	105
Sumatoria de vectores: método del teorema de Pitágoras	108
Resolución de sumatoria de vectores: combinación de métodos matemáticos (componentes, aritmético y teorema de Pitágoras)	110
Cinemática lineal: movimiento rectilíneo uniforme (MRU), movimiento rectilíneo uniformemente variado (MRUV), movimiento parabólico y movimiento semiparabólico	115
Movimiento rectilíneo uniforme (MRU)	117
Movimiento rectilíneo uniformemente variado (MRUV)	121
Movimiento semiparabólico (MSP) y movimiento parabólico (MP)	121
Cinemática rotacional: movimiento circular uniforme, torques, momentos de fuerza	125
Conceptos básicos a tener en cuenta para el MCU	127
Fórmulas que explican el MCU	128
Torque o momento de fuerza	129
Dinámica: leyes de Newton y diagramas de cuerpo libre	131
Primera ley de Newton: inercia	131
Segunda ley de Newton: ley de la fuerza o ley de la dinámica	133
Tercera ley de Newton: ley de la acción y la reacción	135

El peso definitivo desde la fuerza de gravedad	136
Aplicaciones gráficas de las leyes de newton: diagrama de cuerpo libre	137
Dinámica newtoniana: trabajo y energía	140
Concepto de trabajo (realizado por una fuerza)	140
Concepto de energía: tipos de energía (desde la mecánica y la dinámica)	142
Teorema de trabajo y energía	148
Otros elementos desde la física mecánica: centro de gravedad y centro de masa	149
Centro de gravedad	150
Centro de masa	152
Cálculo del centro de gravedad a través del método clúster (o método segmentario)	153
Determinación del centro de masa mediante el método convencional	156
Palanca: concepto y clasificación	157
Algo de historia	157
Fuerzas actuantes en una palanca	158
Leyes físicas de la palanca	159
Tipos de palanca	160
Palancas en el cuerpo humano	162
BIOMECÁNICA DE TEJIDOS CONECTIVOS (BIOMECÁNICA TISULAR)	165

Conceptos básicos relacionados con la biomecánica de tejidos	167
Propiedades biofísicas de los tejidos conectivos	167
Elastancia	167
Capacitancia	169
Contractilidad	170
Viscoelasticidad	171
Anisotropía	174
Bifascicidad	175
Tipos de carga a los que se somete un tejido conectivo: cargas compresivas, tensiles y cizallantes	177
Solicitud normal y de cizalla	178
Deformación normal y de cizalla	179
Deformaciones elásticas y plásticas	180
Componentes microestructurales de los tejidos conectivos: tejido óseo, tejido tendinoso y ligamentario, tejido muscular y cartílago articular	181
HERRAMIENTAS TÉCNICAS PARA EL ANÁLISIS DE MOVIMIENTO	189
Fotograma y videograma: definición y técnicas para su realización	191
Videograma: ¿qué es?, ¿cómo se hace?	191
Algo de historia	192
¿Cómo se hace un videograma?	192
Fotograma ¿qué es?, ¿cómo se hace?	193

Algo de historia	194
¿Cómo se hace un fotograma?	195
Ejemplo de videograma y fotograma	195
ANÁLISIS BIOMECÁNICO DE GESTOS DEPORTIVOS – ABORDAJE PRÁCTICO	199
Criterios biomecánicos aplicados al análisis de gestos deportivos	201
Ubicación de las fotografías del gesto deportivo a analizar y medición de rangos de movilidad articular	202
Determinación y sumatoria de vectores de acción muscular en el gesto deportivo analizado	204
Determinación del centro de gravedad en el fotograma escogido para el análisis	207
Relación de las leyes de Newton con el gesto deportivo analizado	209
Relación de los conceptos de trabajo y energía con el gesto deportivo analizado	210
Relación de los tejidos conectivos con el gesto deportivo analizado	212
Análisis de palancas en un gesto deportivo de movimiento	213
REFERENCIAS	214
LIBRO DE TRABAJO	217

Agradecimientos

Este libro se originó a partir de la interacción que he mantenido con los estudiantes de la Facultad de Cultura Física, Deporte y Recreación de la Universidad Santo Tomás, en donde se ha tenido en cuenta el intercambio de diversas literaturas relacionadas con las temáticas que se abordan en esta publicación. Temas como planos y ejes corporales, unidades de medida, magnitudes vectoriales y escalares, sumatoria de vectores, palancas, centro de gravedad, centro de masa, trabajo y energía, entre otros, que pretenden dar respuesta a la pregunta ¿cómo nos movemos?, en este caso haciendo énfasis en el desarrollo del movimiento durante la ejecución de praxias de gestos deportivos. La información intercambiada generó un archivo base a partir del cual surgió la idea y el material inicial que dio origen a este texto. La intención es que la recopilación de la información que aquí se hace, constituya un texto guía para los estudiantes.

De esta forma, agradezco en primer lugar, a los estudiantes de la Facultad de Cultura Física, Deporte y Recreación, quienes han estado en las aulas de clase intercambiando información relacionada con los criterios que se han tenido en cuenta hasta el momento: análisis de movimientos dentro de la concepción del “análisis de cadenas cinéticas” o el “análisis de los gesto deportivos”. También quiero agradecer a mis compañeros docentes de la Facultad, quienes han compartido el mismo espacio de trabajo y la misma formación pregradual. Así como a la docente fisioterapeuta Adriana Campos Rodríguez, quien me ha enseñado a ser una persona crítica y analítica con toda la información manejada en las aulas de clase y fuera de ella. Mis agradecimientos van también a mi compañera y docente fisioterapeuta Yohanna Montenegro, quien ha sido una de las principales fuentes de inspiración intelectual y espiritual en mi vida. Asimismo al fisioterapeuta Julián Cuervo Pulido, quien me ha acompañado en este proceso aconsejándome sobre la forma y fondo de esta publicación. A la fisioterapeuta Laura Castro, compañera y docente de la misma Facultad, quien también me ha orientado con opiniones e ideas involucradas en la creación de este libro guía. Agradezco también a los docentes, fisioterapeutas y compañeros de la Facultad de Cultura Física, Deporte y Recreación, Yenny Paola Argüello, Isabel Adriana Sánchez y Pablo Sergio Molina, quienes han realizado aportes a esta propuesta.

Especiales agradecimientos al doctor Jesús Astolfo Romero, decano de la Facultad de Cultura Física, Deporte y Recreación de la Universidad Santo Tomás, quien me ha alentado y me ha dado el tiempo necesario para generar esta publicación, además de haberme dado la oportunidad de ingresar al programa. Finalmente, doy el agradecimiento más importante de todos, a Dios, ya que sin Él, no existiría nada ni nadie, somos y hacemos gracias a su voluntad divina.

Introducción

Teniendo en cuenta que gran parte de la presente obra corresponde a objetivos pedagógicos concretos, resulta útil comenzar este texto hablando del concepto de biomecánica, término que ha sido punto de partida para el estudio del movimiento corporal y que encierra varios campos del conocimiento considerados como herramientas que definen y delimitan el campo de acción de la biomecánica. Dichos campos de conocimiento relativos y delimitantes de la biomecánica son: la anatomía, que tiene en cuenta todos aquellos conceptos relativos a la forma/estructura de los seres vivos y con mayor énfasis en la forma y estructura humana; la fisiología, que trata del estudio de la naturaleza humana y a su vez determina que dicha naturaleza radica en el funcionamiento de los distintos componentes del cuerpo: la física, que de manera más cercana y concreta refiere a la física mecánica, con sus ramas de la dinámica y la cinemática; entre otras.

De todas las ciencias básicas que se han nombrado anteriormente, la física, definida por Aristóteles como “la naturaleza de las cosas” es aquel cuerpo de conocimientos cuyo objeto de estudio es el de describir todos los fenómenos naturales, incluida la naturaleza desde el punto de vista de la biología y la química, es por eso que, la meta principal de la física es la de describir y comprender las leyes básicas de la naturaleza, las cuales obedecen a su vez a todos los fenómenos que ocurren en ella, haciendo explicaciones de estos fenómenos desde su interacción causa–efecto y teniendo en cuenta representaciones matemáticas como tal (a través del uso de gráficos matemáticos que utilizan planos, ejes y vectores, entre otros). Desde el punto de vista del análisis del movimiento, las diversas disciplinas que lo han estudiado buscan una “verdad única” acerca del mundo físico para la búsqueda y aplicación de leyes físicas, a través de explicaciones cada vez más simples e integradas, reafirmando en el cuerpo de conocimientos de la física.

Las bases de la biología (que abarca por sí misma la naturaleza de los seres vivos) es explicada en parte por la física y la química, y estas tres áreas de conocimiento a su vez son el fundamento básico de la fisiología y de la anatomía, que a su vez son la base de la biomecánica. Pero se puede afirmar

que todos estos cuerpos de conocimiento parten de la física. Es por esta razón que la primera parte de este libro tendrá en cuenta el desarrollo básico y aplicado de varios conceptos que desde la física ayudan a entender cómo nos movemos.

Del área de conocimiento de la física general, los conceptos y aplicaciones que son base para el análisis de movimiento dentro de la biomecánica, tienen asiento en la física mecánica, esta se define como el campo de estudio que describe el movimiento de los cuerpos y su evolución en el tiempo bajo la acción de diversas fuerzas. En particular, la física mecánica se subdivide en la cinemática, la cual se ocupa del movimiento de los cuerpos sin considerar las causas que lo originan y la dinámica, que describe el movimiento, esta vez teniendo en cuenta las causas que lo originan. Una tercera rama de la física mecánica es la estática, que estudia las condiciones de equilibrio de un cuerpo. El lector encontrará diversos elementos explicados en su forma básica y aplicada en las tres partes que conforman este libro, contempladas para el análisis de movimiento corporal en el desarrollo de gestos deportivos concretos.

De igual forma, parte de la biología y de la fisiología se verán reflejadas en su aplicación en este libro a través del desarrollo de la temática de biomecánica de tejidos (como el tejido muscular esquelético, el tejido tendinoso y ligamentario, el tejido óseo y el cartílago articular), a partir de la descripción de la composición y morfología de los mismos y su capacidad de respuesta ante los diversos tipos de carga (que serán también explicados en este libro) y que se pueden presentar en la ejecución de cualquier tipo de movimiento corporal.

Para la comprensión de los temas tratados en este libro, es necesario tener un conocimiento de los conceptos básicos y fundamentales de la mecánica y la biología; sin embargo, la descripción y aplicación de dichos conocimientos para y en el análisis del movimiento corporal humano se hará no solo de forma magistral sino también de manera aplicada a los conceptos que este libro guía trae consigo, además el abordaje de las temáticas se desarrollarán con la compañía del material de trabajo que el estudiante puede consolidar tanto en forma autónoma como en forma dirigida en el desarrollo de las clases.

Uno de los conceptos teóricos que dan sustento al inicio de este libro guía es el de física, que por definición es una palabra que proviene del griego y que significa “naturaleza”, así pues, la física involucra el estudio de la

naturaleza de los eventos que suceden en nuestro entorno y que incluyen algunos procesos que en la actualidad se estudian desde la biología. Este concepto amplio de la física se mantuvo hasta principios del siglo XIX y por ello se le denominaba como la “filosofía natural”, sin embargo, desde este momento, la física estuvo restringida al estudio de un número limitado de fenómenos físicos que se definieron en su momento y en el que la naturaleza del fenómeno (por lo menos la naturaleza física) no cambiaba. Esta versión que los griegos habían denominado afortunadamente está cambiando y en la actualidad, se habla de otros conceptos más amplios y relacionados con otras ciencias como: biofísica, fisicoquímica, física médica; términos que están apareciendo y están desarrollándose. La meta principal de la física es la de descubrir y comprender las leyes básicas de la naturaleza, las cuales obedecen todos los fenómenos que ocurren en ella. Es decir, la física trata de explicar los fenómenos naturales explicados a partir de una relación causa–efecto con una representación matemática específica.

Los científicos buscan la verdad acerca de los fenómenos físicos que suceden en nuestro entorno e inclusive en nuestros propios cuerpos, pero esta búsqueda de leyes y explicaciones cada vez más simples e integradas se constituyen como un tipo de mentalidad básica utilizada mucho por la física pero a veces es muy olvidada por otros campos de la ciencia como la biología, la química, la fisiología y otras ciencias básicas afines. Algunas de las bases de la química actual se encuentran en la física moderna para explicar procesos y reacciones químicas. Lo mismo se puede decir de otros campos de estudio como las ciencias del movimiento y ciencias de la salud. En definitiva, todas las disciplinas científicas y las ingenierías tienen alguna o gran parte de su base en la Física.

Asimismo, la física es muy importante para sentar precedente o dar bases en los procesos específicos de medición concreta y precisa de muchos de los mismos fenómenos que esta misma ciencia estudia. Es así que, desde la física se pueden encontrar determinados sistemas de medición, que han establecido los estándares de medición de variados fenómenos físicos, incluyendo los relacionados con el movimiento. De igual forma, es relativamente frecuente encontrar libros de biofísica que en realidad son libros con base en la física, con ejemplos aplicados a la biología o a la termodinámica de organismos de seres vivos, incluyendo obviamente al cuerpo humano.

De igual manera, como la química y la biología están relacionados con la física y que mancomunadamente se esfuerzan para explicarnos cómo nos movemos, existe otro término bastante relacionado con el de la física

que también pretende explicar la sucesión de los eventos que se presentan específicamente en el cuerpo humano o en el organismo de los seres vivos, se trata entonces de la fisiología, representada en las funciones de los seres vivos (como comen, respiran, se mueven y de lo que hacen para mantenerse vivos y en equilibrio –homeostasis). Más técnicamente, la fisiología trata sobre la explicación de todos los procesos que suceden en un organismo vivo, como los procesos de respiración, circulación, transporte, excreción y movimiento, entre otros fenómenos.

El problema de muchos de los libros que explican la naturaleza de los seres vivos es que los procesos se explican desde la forma en cómo suceden, mas no dicen desde la base más simple cómo es que estos fenómenos se dan a partir de las reacciones químicas o a partir de una explicación más concreta desde la física y más específicamente desde la mecánica. La mecánica (palabra que proviene del griego, y que significa “herramienta”), es una rama particular de la física y trata sobre la influencia de las fuerzas (incluyendo situaciones de equilibrio estático de un cuerpo en donde la sumatoria de fuerzas que actúan sobre dicho cuerpo es igual a cero) en el movimiento de los cuerpos y de la descripción de dicho movimiento. La mecánica como área de conocimiento es bastante amplia e incluye desde la termodinámica y la física estadística hasta la mecánica de fluidos (hidrodinámica). Gran parte de la temática desarrollada en este libro guía se desarrolla a partir de este concepto involucrado específicamente a partir del concepto de biomecánica con la intención de mostrar las bases para el análisis de movimiento y así poder responder a la pregunta que nos hemos planteado anteriormente: ¿cómo nos movemos?

La biomecánica estudia el movimiento de los seres vivos desde una tendencia apoyada en la mecánica (física mecánica), que busca relaciones entre magnitudes y explicaciones de comportamientos y observaciones. Dentro de la mecánica también se incluye todo lo relacionado con fluidos y la termodinámica.

Para la comprensión de los temas tratados en este libro, es necesario un conocimiento básico de los conceptos que desde la física mecánica se tratan y que serán descritos en la primera sección. También se requerirán conceptos básicos de fisiología y de anatomía, los cuales el estudiante previamente ya ha repasado o ha visto en otros espacios académicos y que en este libro, se mostrarán relacionados al concepto y al objetivo de analizar gestos de movimiento. Sin embargo, todo el libro se basa en el área de conocimiento de la biomecánica.

Definición e historia de la biomecánica

Es preciso que en este apartado del libro se tenga en cuenta los términos respecto al análisis de movimiento corporal. El primero de ellos es el término de biomecánica, que se define más exactamente como el área de conocimiento interdisciplinaria que estudia los modelos, fenómenos y leyes que sean relevantes para la explicación del movimiento (incluyendo situaciones de equilibrio estático de los cuerpos). Es una disciplina científica que tiene por objeto el estudio de las estructuras de carácter mecánico que existen en los seres vivos, fundamentalmente del cuerpo humano. Esta área de conocimiento se apoya en diversas ciencias biomédicas, utilizando los conocimientos de la mecánica, la ingeniería, la anatomía, la fisiología y otras disciplinas, para estudiar el comportamiento del cuerpo humano y resolver los problemas derivados de las diversas condiciones a las que puede verse sometido (Izquierdo, 2008; Aguado, 1993). Así las cosas, se puede afirmar que la biomecánica:

- Estudia las fuerzas y aceleraciones que actúan sobre los organismos vivos. Está relacionada íntimamente con su forma de manera que se puede hablar de una morfología funcional.
- Es un conjunto de conocimientos interdisciplinarios generados a partir de utilizar, con el apoyo de otras ciencias biomédicas, los conocimientos de la mecánica y distintas tecnologías (Aguado, 1993; Gutiérrez, 2005).
- Estudia el comportamiento de los sistemas biológicos y en particular del cuerpo humano.
- Resuelve los problemas que le provocan las distintas condiciones a las que pueden verse sometido los sistemas biológicos.
- Aplica principios mecánicos a los cuerpos humanos y animales en movimiento y en reposo esto es un intento por combinar la ingeniería con la anatomía y la fisiología (Izquierdo, 2008; Gutiérrez, 2015).

Además, la biomecánica se ha desarrollado principalmente en tres áreas:

- Área médica, en la que analiza las patologías que aquejan al cuerpo humano cuyo fin consiste en establecer soluciones capaces de resolver dichas patologías.

- Área deportiva, en la que analiza la práctica deportiva para lograr un mejor rendimiento, de igual modo desarrolla técnicas de entrenamiento capaces de imitar a otros organismos que en la naturaleza son superiores al hombre y así poder crear nuevos materiales para que tanto uniformes como equipos sean el sustento para romper nuevos records.
- Área ocupacional, en la que analiza la relación mecánica que el cuerpo humano sostiene con los elementos con que interactúa en distintos ambientes, por ejemplo el laboral, el educativo, el doméstico y el de descanso; con el único fin de adaptarlo a sus necesidades y capacidades para lograr una vida mejor.
- Área aplicada a la rehabilitación, la cual estudia aquellos ejercicios que tienen carácter rehabilitador, teniendo en cuenta la dirección de las fuerzas así como los momentos de movimiento generados en torno a las articulaciones (Muñoz, 2007; Izquierdo, 2008; López, 2014).

Las posibilidades que la biomecánica ofrece al plantear y resolver problemas relacionados con la mejora de la salud y de la calidad de vida, la han consolidado como un campo de conocimientos en continua expansión capaz de aportar soluciones de índole científica y tecnológica. De igual forma, según Aguilar (2010), la biomecánica se define como la disciplina que estudia los modelos, fenómenos y leyes que sean relevantes en el movimiento de un ser vivo. Para estudiar el movimiento corporal humano hay que tener en cuenta tres aspectos, a saber:

- El control del movimiento está relacionado no solo con el aspecto mecánico sino también con el aspecto psicológico y neurofisiológico; que apenas serán mencionados en este libro.
- La estructura del cuerpo que se mueve, y que para el caso de nuestro cuerpo consta de una estructura compleja que conforma variadas cadenas cinéticas conformadas por músculos, huesos, articulaciones, ligamentos y tendones y a su vez conformados por células de tejido conectivo. Esta es la parte de la anatomía, fisiología y biología de tejidos y de órganos—sistemas que se abordan en el contenido de este libro pero concretamente en el apartado de biología de tejidos.
- Las fuerzas (tanto internas como externas) que producen el movimiento de acuerdo con los preceptos provenientes de la física mecánica, aspectos que se tratarán con mucha profundidad en este libro, y que el estudiante podrá también desarrollar a partir de la lectura del libro de trabajo de los autores Izquierdo (2008), López (2014) y Gutiérrez (2015).

Los dos últimos aspectos permiten el estudio de los movimientos de los seres vivos desde un punto de vista fundamentalmente morfofisiológico o estructural. Así pues, los movimientos se deducen sobre todo desde la estructura o la función básica de cada sistema en movimiento (esqueleto, articulaciones, tendones, músculos, etc.), aplicando tanto las leyes o preceptos que provienen de la fisiología como desde la física mecánica. La unión de los conceptos morfofisiológicos con los conceptos físicos en el análisis del movimiento se conoce no solo como biomecánica sino también como kinesiología (Izquierdo, 2008; Gutiérrez, 2015).

En el término Biomecánica coexisten dos elementos: el biológico y el mecánico, aspectos que se encuentran en la mayoría de las definiciones de esta palabra. De esta manera, se han acuñado muchos términos para definir esta área como biocinemática, biodinámica, bioestática, biomateriales o biofluidos. Debido a la proliferación de estas denominaciones y a la imprecisión establecida por las pobres fronteras temáticas entre los anteriores conceptos, es una práctica frecuente utilizarlos de forma imprecisa y generalizada. Sin embargo, el término de biomecánica empleado en este libro tendrá en cuenta el análisis de movimiento corporal desde una tendencia biofísica y mecánica, a partir de los conceptos ya antes explicados. Así mismo, todos los conceptos que se han mencionado hasta el momento se enfocarán y se relacionarán, dentro del análisis de movimiento corporal, al análisis concreto de gestos deportivos de movimiento (López, 2014; Muñoz, 2007).

El estudio del movimiento corporal se puede abarcar desde muchos puntos de vista: psicológico, filosófico, sociológico, biológico, físico y anatómico. Tradicionalmente el estudio concerniente a las bases biofísicas y biológicas del movimiento corporal humano se conoce como kinesiología, área de estudio que es ampliamente abordada por profesionales del área de la salud y de las ciencias del deporte. Sin embargo, esta área de conocimiento no solo se ciñe a estos profesionales sino que también se relaciona con otros tantos desde las áreas de estudio en las que se basa la biomecánica y la kinesiología, como los profesionales en ingenierías y en medicina. El conocimiento obtenido del estudio de esta área de conocimiento puede ser de un gran aporte para los profesionales en ciencias del deporte, pues orienta la optimización del rendimiento humano en la realización de gestos deportivos y también ayuda a prevenir lesiones relacionadas con una práctica deportiva mecánicamente no correcta (Izquierdo, 2008; Muñoz, 2007).

Una de las ramas de mayor importancia de la biomecánica es la rama deportiva, la cual tiene como objetivo básico realizar análisis de movimiento

a partir del uso de diferentes principios físicos, mecánicos, anatómicos y fisiológicos para comprender cómo nos movemos, en el contexto de entender cómo se desarrolla una praxia deportiva. La tabla 1 muestra las relaciones de esta rama importante de la biomecánica con tres elementos básicos de interacción: con el deportista, con el medio ambiente y con los materiales deportivos

Evolución histórica de la biomecánica

La historia de la biomecánica como área del conocimiento que se encarga de dar respuesta a la pregunta de ¿cómo nos movemos?, inicia en el último siglo y medio, dando aportes concretos y específicos a una de las ramas de mayor importancia de la biomecánica (rama de la biomecánica deportiva), el cual ha tenido una progresión en las últimas tres décadas. Gran parte de lo que ha sido el desarrollo y la evolución de este término ha estado encadenado al desarrollo y la evolución científica de las áreas de conocimiento que le dan soporte. Las etapas de desarrollo histórico de la biomecánica serán divididas en forma arbitraria por periodos, en los cuales se han denotado grandes cambios o evoluciones de la misma. Los periodos a describir son los siguientes:

- Antigüedad (600–250 a.C.)
- Edad Media (200–1450)
- Renacimiento (1450–1600)
- Revolución Científica (1600–1730)
- Ilustración (1730–1800)
- Siglo de la mancha (1800–1900)
- Siglo xx (1900) (Izquierdo, 2008; Halton, 1993).

Tabla 1. Relaciones entre la rama de la biomecánica deportiva con el deportista, su medio ambiente y los materiales usados para la realización del gesto deportivo

En relación con el deportista	En relación con el medio	En relación con el material deportivo
<ul style="list-style-type: none"> ▶ Describir las técnicas deportivas. ▶ Ofrecer nuevos aparatos de medida y registro. ▶ Identificar defectos en el desarrollo de las técnicas y ayudar a corregirlos. ▶ Evitar las lesiones aconsejando en cómo ejecutar las mismas en forma segura. ▶ Proponer desarrollo e implementación de técnicas más eficaces y eficientes. 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Minimizar las fuerzas externas que ofrecen resistencia al desarrollo de la praxia deportiva. ▶ Optimizar la ayuda ofrecida por los dispositivos externos que el deportista use en el desarrollo del gesto deportivo. ▶ Estudiar todas las fuerzas que están en el medio ambiente que pueden influir positiva o negativamente en el desarrollo del gesto deportivo. ▶ Definir la eficacia del gesto deportivo realizado por el deportista, en función de las fuerzas que están actuando desde el medio ambiente sobre el cuerpo del deportista. ▶ Establecer la relación que puede haber entre las lesiones desarrolladas por el deportista y las fuerzas externas que influyen sobre su cuerpo en el momento en el que ejecuta el gesto deportivo. 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Reducir el peso de los materiales que se utilizan en los dispositivos deportivos, sin ir en detrimento del desarrollo del gesto deportivo. ▶ Mejorar las cualidades físicas del material en pro de una buena ejecución del gesto deportivo. ▶ Aumentar la durabilidad del material. ▶ Hacer materiales más seguros. ▶ Conseguir materiales que vayan en pro de la eficacia y de la eficiencia del deportista en la ejecución de su gesto deportivo.

Fuente: tomado y modificado de Izquierdo (2008).

Antigüedad

Históricamente, el inicio de la Antigüedad se podría situar en el mundo de los griegos, quienes fueron capaces de desarrollar los elementos de las ciencias básicas que le dan soporte a la biomecánica, como las matemáticas, la mecánica, la física y la medicina. Otras ciencias básicas tuvieron también desarrollo en esta misma etapa así no se relacionen con la biomecánica como la geografía y la astronomía. Los personajes de esta época de evolución histórica que se destacan son los siguientes:

Pitágoras (580–495 a.C.)

Nació en un periodo emergente de la filosofía. Fue uno de los primeros pensadores de la época que afirmaba que todas las cosas tenían una forma y que al mismo tiempo dichas formas podían definirse en números. De este precepto inicial, surge el teorema que lleva su mismo nombre y que es: $a^2 + b^2 = c^2$. El cual posteriormente es base para el procesos de sumatoria de vectores, que se explicará más adelante (Izquierdo, 2008; López, 2014).

Hipócrates (460–370 a.C.)

Basó sus observaciones en percepciones sensoriales. Estableció el principio de causalidad que decía que el azar no existe y que cada cosa que ocurre es por una razón concreta, razones que podían ser objeto de estudio de ciencias como la filosofía o la física (Gutiérrez, 2005; Izquierdo, 2008).

Platón (427–347 a.C.)

Creía que el mundo de los sentidos era una sombra ilusoria de la realidad. Él decía “las ideas son la única realidad y el conocimiento de la verdad no puede conocerse sino a través del estudio de la naturaleza de las cosas (...) la búsqueda de la verdad requiere contemplación y no acción”. Es importante destacar que este autor enfatiza en una de las herramientas que hoy por hoy son bastantes útiles en la realización de los análisis de movimiento, tal como lo son la observación y la contemplación de los fenómenos de movimiento relacionados con la ejecución de praxias deportivas (Izquierdo, 2008; Aguado, 2001).

Aristóteles (384–322 a.C.)

Estudió en Atenas y pasó varios años en la Academia como discípulo de Platón. Su curiosidad intelectual lo llevó a cuestionarse al respecto de la filosofía platónica. Pensaba que el propósito máximo de la ciencia era explicar la naturaleza y que las matemáticas proporcionaban un buen modelo para una ciencia bien organizada. Al contrario de lo que pensaba su maestro Platón, Aristóteles pensaba que los sentidos revelaban la verdad y que las ideas eran meras abstracciones hacia conceptos mentales. Pensaba que la abstracción era superior a la acción mecánica y por tanto sus métodos de observación no incluían ni la experimentación ni la observación. Para él los movimientos naturales como la caída libre, eran en una sola dimensión y se representaban a través de una línea recta. Él pensaba que todo lo que se movía bajo el influjo de las leyes físicas en la superficie terrestre tenía un proponente, es decir, todo lo que se movía, era a su vez movido por otra cosa. El motor responsable de dicho movimiento se debía encontrar dentro del móvil o estar en contacto con él. La acción a distancia para Aristóteles era inconcebible. Para este mismo, el centro de la inteligencia era el corazón y el movimiento generado por la acción muscular se debía a que la respiración pasaba por todo el cuerpo para recibir la fuerza impulsadora del corazón, quien luego impulsaba a la acción muscular (Izquierdo, 2008; Gutiérrez, 2010; Halton, 1993).

Su tratado acerca del movimiento de los animales, basado en la observación y contemplación de dicho fenómeno, describía el movimiento corporal y la locomoción. Este pensamiento proporcionaba el primer análisis científico realizado sobre la marcha, así como el primer análisis geométrico sobre la acción muscular. Comparaciones mecánicas mostraban un profundo conocimiento acerca de la acción de huesos y músculos durante la ejecución de la marcha y explicaba en este tratado a las fuerzas de reacción de la siguiente forma: “justo cuando el impulsador empuja, el empujador es impulsado” (Izquierdo, 2008).

Herófilo (335–280 a.C.)

Dio bases a lo que hoy en día se conoce como la anatomía moderna. Fue la persona que dio el primer paso hacia las técnicas de disección identificando de esta forma numerosos órganos. Fue el primero en distinguir entre tendones y nervios, atribuyéndole la sensibilidad a estos últimos. También estableció las diferencias macroscópicas entre arterias y venas, estableciendo que las

arterias son seis veces más gruesas que las venas. Igualmente descubrió a partir de sus disecciones que estos vasos sanguíneos contenían sangre y no aire como se pensaba antes de Aristóteles. No obstante rechazó la teoría que afirmaba que la inteligencia residía en el corazón; atribuyéndosela al cerebro. Finalmente desarrolló varios trabajos que dieron origen a la teoría hoy confirmada del músculo como tejido contráctil (Izquierdo, 2008; Gutiérrez, 2005; Halton, 1993; Aguado, 1993).

Arquímedes (287–212 a.C.)

Su fama se debió a sus inventos, que incluían armas mecánicas como las catapultas, ingeniosos ganchos y espejos cóncavos para asaltar y quemar a los merodeadores barcos romanos. Usando sus palancas y poleas compuestas, llegó a afirmar que sería capaz de mover el peso del mundo si se le daba un punto de apoyo. Fue uno de los primeros pensadores de la época quien habló del concepto de centro de gravedad, e indicó cómo calcularlo para algunas figuras geométricas como en un paralelogramo, en un trapecio y en una hipérbola. El movimiento era una de los objetos de estudio más importantes para Arquímedes desde el punto de vista de cómo mover el peso del cuerpo a través de una fuerza realizada sobre el mismo. Arquímedes es considerado como uno de los padres de la mecánica, porque estableció principios básicos de la hidrodinámica y de la hidrostática que prevalecieron hasta que Galileo Galilei los retomara (Izquierdo, 2008; Gutiérrez, 2005; Halton, 1993; Aguado, 1993).

Galeno (129–201 d.C.)

Aunque se desempeñó concretamente como médico, su formación, en física reconocida por el colegio de gladiadores, se puede desconocer. Llegó a ser el primer “físico deportivo” y “médico de equipo” de la historia. Durante cuatro años de sus prácticas como médico, realizó acciones tendientes a la medicina deportiva, y la nutrición deportiva de los cuales obtuvo substanciales conocimientos del cuerpo humano y de su movimiento. Pensaba que la naturaleza colocaba cada cosa de acuerdo con una función única y distinta para cada órgano, pero con el alma dominando al cuerpo. Su manuscrito *De usu partium* llegó a constituirse como el único texto incontestable durante 1300 años. Enfatiza en la importancia del conocimiento de la estructura y de la función para establecer alternativas de intervención y el diagnóstico. *De*

motu musculorum, encarna la pasión de Galeno por los mecanismos que en el cuerpo humano eran los responsables del movimiento corporal; él creía que el músculo como órgano contenía agrupaciones de redes nerviosas que provenían de un misterioso *spiritus animalis* desde el cerebro hasta el músculo que estimulaba el movimiento. Distinguió entre el músculo agonista y antagonista y entre el nervio motor y el nervio sensorial (Izquierdo, 2008; López, 2014).

Obsesionado con la importancia de las matemáticas en el arte de explicar muchos de los procesos de la naturaleza humana, elevó la medicina al rango de ciencia exacta. Como anatomista, la descripción de los músculos y nervios que realizó, más la correlación con las secciones medulares y la descripción de los pares craneales y espinales, se consideran de las más brillantes de la época.

Edad Media

Durante este periodo, el desarrollo de la espiritualidad y de las tendencias religiosas aumentó siendo su aporte casi nulo a la ciencia. La contribución de la Edad Media al desarrollo de la biomecánica es mínima. En general, el desarrollo científico fue rechazado en este periodo y consecuentemente el interés creado previamente en áreas concretas de conocimiento como la física, la fisiología, la anatomía y la biomecánica, estuvieron en pausa por más de 1200 años. Sin embargo, se encuentran ilustraciones, representaciones y dibujos del movimiento corporal en el arte griego y romano y serían los artistas antes que los científicos quienes posteriormente reavivarían el estudio del movimiento humano (López, 2014; Muñoz, 2007).

Renacimiento

Este periodo que avanzó rápidamente desde el año 1450 hasta el saqueo de Roma en 1527, se caracterizó por la libertad de pensamiento que posibilitó el resurgimiento de la filosofía antigua griega, así como el arte y la literatura. Se establece en esta etapa al hombre como el centro y la medida estándar de todas las cosas. En esta época también surgieron personajes muy importantes con aportes igualmente muy valiosos a las ciencias, como: Leonardo Da Vinci, Miguel Ángel y Maquiavelo (Izquierdo, 2008; Gutiérrez, 2005; Halton, 1993; Aguado, 1993).

Leonardo Da Vinci (1452–1519)

Se le conoció como artista pese a que tenía formación como ingeniero civil y militar. Entre algunas de sus creaciones cuentan: acueductos, fortificaciones, aparatos de destilación, esquíes acuáticos, un helicóptero, un tanque, un paracaídas, un cañón de vapor y un ala delta. Da Vinci contribuyó sustancialmente a la mecánica en este entonces. Entre sus mayores avances se registran: 1) la descripción del paralelogramo de fuerzas, componiendo y descomponiendo fuerzas, 2) estudio la fuerza de fricción o de rozamiento, y cuestionó la relación que Aristóteles había establecido entre fuerza, peso y velocidad en la caída libre, 3) dio inicios de la tercera ley de Newton al explicar el concepto de la misma en su análisis del vuelo de los pájaros afirmando que un objeto ejerce tanta resistencia al aire como el aire lo realiza sobre el objeto. Sin embargo, la mecánica de Da Vinci no obedece a conceptos físicos modernos como el de la inercia, aceleración o masa en comparación con el peso. También fue capaz de realizar representaciones de cada uno de los músculos por aparte, representándolos como hilos y determinando el origen y la inserción de los mismos, más la función en cuanto a movimientos ejecutados por cada uno de estos. También esquematizó la acción mecánica y la representó en sus dibujos con fuerzas actuando a lo largo de los filamentos musculares (Izquierdo, 2008; Gutiérrez, 2005; Halton, 1993; Aguado, 1993).

Vesalio (1514–1564)

En su obra *De humani corporis fábrica* revolucionó la anatomía humana. Este físico había declarado con descaro que la anatomía humana podría aprenderse únicamente a partir de la disección y observación del cuerpo humano, cambiando así la filosofía galena que influyó durante 1300 años. Demostró que el músculo se acortaba y se hacía más grueso durante la contracción. Atribuyó la contracción a propiedades del músculo, ya que este se contrae cuando es cortado en los extremos. Pensaba igualmente que el músculo estaba compuesto por sustancias similares o iguales a las que componen los tendones y los ligamentos y que a su vez, está compuesto por bastantes fibras de un material “carnoso”, que reciben extensiones de arterias, venas y nervios. Fue el fundador de la anatomía moderna y a pesar de su crítica hacía la filosofía galénica, adoptó el *Spiritus Animalis* como causa única que explica el proceso de la contracción muscular y portador de la función cerebro espinal del sistema nervioso central (Izquierdo, 2008; López, 2014).

Revolución científica

El ambiente en el cual se desarrolló la revolución científica fue muy similar al que se llevó a cabo en el Renacimiento. Hombres de ciencia eran apoyados por instituciones privadas y públicas como reyes, nobles, familias acomodadas, universidades y hasta el Vaticano en Roma. La libertad intelectual fue altamente respetada y el interés por las nuevas ideas y los nuevos descubrimientos fue sustancial. Además, las sociedades intelectuales comenzaron a emerger estimulando el cambio de ideas, en efecto tuvo lugar un intenso contacto de diferentes científicos de todos los países europeos. En esta etapa del desarrollo histórico y científico se encuentran importantes nombres que generaron valiosos aportes a las ciencias que fundamentan la biomecánica. Algunos de estos son:

Galileo Galilei (1564–1642)

Fue uno de los principales interesados en la doctrina aristotélica. Estudió, desde estos preceptos, el fenómeno de la caída libre de los cuerpos. Alrededor de 1591, había descubierto la imposibilidad de mantener que la velocidad de la caída está en función del peso del objeto (tal como Aristóteles creía). Un año más tarde, Galileo fue nombrado profesor de matemáticas en la Universidad de Padua. Galileo fue más allá del estudio de la materia inorgánica y propuso publicar un tratado sobre el análisis mecánico del movimiento animal denominado *De animalium motibus*, que en su traducción más estricta significa “el movimiento de los animales”. Los temas de Galileo en este tratado fueron: “la biomecánica del salto humano, el análisis de la marcha de los caballos y de los insectos y una determinación de las condiciones que le permiten al cuerpo humano inmóvil flotar”. Analizó igualmente, la resistencia de algunos materiales como vigas o sólidos ante la fractura y la causa de su cohesión que tuvieron aplicación en la dinámica de la estructura del hueso (Izquierdo, 2008; Gutiérrez, 2005; Halton, 1993; Aguado, 1993).

También comparó los efectos del cambio de estructuras de biomateriales. Demostró el incremento de un fémur normal para adaptarse a soportar un peso tres veces superior y de esta experiencia afirmó “que no se puede someter a una estructura biológica a soportar indefinidamente un peso muy superior a su punto límite, tanto en forma artificial como en forma natural”. Estos estudios reconocen a Galileo Galilei como el padre de la biomecánica. Estructuró el camino de la ciencia para años venideros. Así, sus

teorías sobre el movimiento rectilíneo uniforme, movimiento en proyectil (o semiparabólico) y en plano inclinado, más la definición del movimiento lineal, proporcionaron las bases para las tres leyes de Newton.

René Descartes (1596–1650)

Filósofo y físico que se formó bajo la escuela de Galileo Galilei. Se reconoce por ser el creador del principal sistema de coordenadas cartesiano ahora reconocido como uno de los principales sistemas de referencia bajo los cuales se estudia el movimiento corporal. También se dio cuenta de la posibilidad de representar un movimiento en dicho sistema de referencia reuniendo muchos conceptos que provenían de la física de Galileo, pero mezclando conceptos más de índole matemática y biológica.

Giovanny Borelli (1608–1679)

Es uno de los principales investigadores de la mecánica del movimiento humano. Se considera otro de los padres de la biomecánica moderna, al describir todo su conocimiento sobre la mecánica del movimiento en el tratado “De motus animalium”, describiendo movimientos en praxias simples y complejas como caminar, saltar, correr y nadar, analizando criterios básicos de comportamiento de huesos, articulaciones y de músculos. Fue uno de los primeros en describir la acción de los músculos sobre los huesos y sobre los tendones como una acción de una palanca. Intuyó la acción de las fuerzas en el cuerpo humano en reposo y complementó los conceptos de centro de gravedad y centro de masa (Izquierdo, 2008; Gutiérrez, 2005; Halton, 1993; Aguado, 1993).

Isaac Newton (1642–1727)

Principal autor y descubridor de la ley de la gravitación universal. Concluyó muchos aspectos que si bien habían sido tratados por otros físicos y científicos que le precedían él los reunió y dedujo de una forma más personal, complementando así el cuerpo de conocimientos que componen la física mecánica actual. Fue el creador de las leyes de Newton que hoy en día explican el movimiento en la física mecánica desde la concepción de la dinámica (López, 2014; Gutiérrez, 2015).

La Ilustración

En esta etapa, la antigua filosofía natural quedó atrás y fue sustituida por una nueva mecánica general, desarrollándose a la vez un nuevo grupo de científicos: los filósofos mecánicos. Pero estas épocas suelen venir acompañadas de situaciones en las que algunos de los conceptos no son totalmente comprendidos, lo que requiere de brillantes cerebros para aclarar dichas ideas y obtener resultados más de tendencia experimental.

El concepto de fuerza no estaba claro en ese tiempo y los científicos que la estudiaban no lograban acuerdos en si la materia se movía por fuerzas externas, internas o no se movían gracias a la acción de alguna fuerza. De igual forma, gran parte de las posturas de los mismos científicos estaban muy influenciados por la religión. Algunos de ellos pensaban que sus análisis matemáticos servían para dar respuesta a muchas de las enfermedades que aquejaban a la sociedad (Izquierdo, 2008; Gutiérrez, 2005; Halton, 1993; Aguado, 2001).

Las leyes de Newton describían el movimiento de masas puntuales y podían aplicarse apropiadamente a cuerpos celestes, pero no podían describir el movimiento de cuerpos rígidos, el movimiento de fluidos o las vibraciones de una cuerda. Para ello, fue necesaria la aparición de matemáticos que dieron soporte a estas cuestiones, entre los más destacados se encuentran:

Leonard Euler (1707–1783)

Considerado uno de los más hábiles, brillantes y productivos matemáticos y científicos de la época del siglo XVIII. Desarrolló teorías matemáticas para describir el movimiento de cuerpos vibrantes, así como la ampliación de las leyes de Newton a cuerpos rígidos y fluidos (ángulos de Euler). Además, estableció las leyes matemáticas para introducir el concepto de conservación de la energía.

James Keill (1674–1719)

Calculó el número de fibras presentes en cada músculo y la cantidad de tensión por fibras que se requiere para levantar un peso dado. Durante esta época se lograron gracias a la integración de estos personajes los siguientes criterios:

- a. El concepto de fuerza se entendió mejor.
- b. Los conceptos de conservación de momento y energía empezaron a desarrollarse.
- c. Tuvo lugar una consolidación matemática de las diferentes leyes mecánicas.
- d. La contracción muscular llegó a ser un evento influenciado por fuerzas eléctricas, bioquímicas y mecánicas.
- e. La relación entre fuerza y movimiento fue muy importante; de aquí surgieron las leyes de la conservación de la energía y el movimiento, que formaban las bases mecánicas de la biomecánica.
- f. Empezaron a estudiarse los biomateriales para crear estructuras (Gutiérrez, 2015; López, 2014).

El siglo de la marcha

El desarrollo de la ciencia en relación con el movimiento humano durante el siglo XIX fue influenciado por tres eventos en la segunda mitad del siglo XVIII:

- a. La novela Emilio de Jean Jacques Rousseau en 1762.
- b. La invención de la máquina de vapor por James Watt en 1777.
- c. La toma de la Bastilla en 1789.

Jean Jacques Rousseau (1712–1778): en su novela Emilio restableció la antigua idea de desarrollar complementariamente cuerpo e intelecto fomentando así una vuelta a la naturaleza y a la actividad física. El invento de la máquina de vapor por James Watt, anunciaba el comienzo de la revolución industrial creando la necesidad de tiempo para el ocio y la recreación. El asalto de la Bastilla, marcaba el comienzo de la revolución francesa y el final del monopolio del ocio, así mismo, los deportes y la actividad física crearon un renovado interés científico por la locomoción humana (Izquierdo, 2008; Gutiérrez, 2005; Halton, 1993; Aguado, 1993).

El siglo XIX se caracterizó por el desarrollo de métodos experimentales e instrumentos para aumentar el conocimiento de cómo nos movemos. El análisis de la marcha humana ocupaba a fisiólogos, ingenieros, matemáticos y aventureros. El estudio de la locomoción empezó más bien como una ciencia observacional, pero al final del siglo XIX la fotografía había revolucionado y

cuantificado el estudio del movimiento humano y animal. Dentro de esta tendencia de análisis utilizando apoyo fotográfico dos de los principales exponentes fueron:

Étienne Jules Marey (1838–1904)

Quien transformó el estudio de la locomoción de una ciencia observacional a una basada en la cuantificación gracias a la cinematografía. Los numerosos inventos de Marey fueron diseñados para proporcionar una descripción cuantitativa del movimiento. Construyó en lo que hoy son las pistas de Roland Garros el Parque de los Príncipes, una estación fisiológica que incluía una pista circular de 500 m equipada con monitores de cine. Analizaba el movimiento de adultos y niños, durante la realización de algún deporte o de algún tipo de movimiento, así como también analizó el movimiento de caballos, pájaros, peces, insectos y hasta medusas. Es reconocido por esta razón como el pionero de la cinematografía, antes que el pionero de la biomécanica.

Marey hizo uso de un dispositivo similar al de un calzado acolchado en una mesa dinamométrica, que se consideró como la primera plataforma de fuerzas seria. Aprovechó rápidamente el potencial de las placas fotográficas para superar el defecto que podía añadirle el ojo humano y desarrolló en consecuencia la tecnología necesaria para la elaboración de secuencias de movimiento a partir de fotogramas (Izquierdo, 2008; Cutiérrez, 2005; Halton, 1993; Aguado, 1993).

Eadweard Muybridge (1830–1904)

Empezó sus trabajos estudiando el trote de los caballos a petición de su buen amigo, el señor Stanford, un propietario de caballos y aficionado a las carreras de equinos. El objetivo del estudio del trote de los caballos fue el de comprobar si en algún momento del desarrollo del trote, el caballo quedaba con las cuatro patas en el aire. La contribución de Muybridge a la biomecánica fue la gran cantidad de imágenes que produjo para documentar el movimiento (Izquierdo, 2008; López, 2014).

Siglo xx

Está caracterizado por varios factores para el desarrollo de la biomecánica:

- a. Los desarrollos mecánicos y tecnológicos de las dos guerras mundiales.
- b. La explosión de apoyo financiero para la investigación.
- c. El reconocimiento social y económico del deporte en la sociedad, que abrió camino para que los biomecánicos le prestarán gran atención. Con el transcurso del tiempo, ha emergido una subdisciplina que hoy es conocida como la biomecánica deportiva.

De acuerdo con los criterios anteriores, los científicos más destacados de esta época que generaron aportes a la biomecánica son:

Jules Amar (1879-1935)

Desarrolló un amplio tratado dedicado a la mecánica corporal, orientando sus estudios hacia el mundo del trabajo. En su libro *The human motor*, realizó un análisis de la actividad muscular, la fatiga física y los efectos que tiene sobre la actividad muscular. Puede considerarse como el primer tratado de ergonomía.

Nicolás Bernstein (1896–1966)

Con su formación en física, se encargó de desarrollar un método para la medición del movimiento, basado en el análisis matemático. La biodinámica de Bernstein incluía estudios de:

- a. Útiles como el martillo y la sierra.
- b. Diseño de las cabinas de los tranvías en Moscú.
- c. Análisis de los movimientos de la mujer trabajando.
- d. Coordinación y regulación de movimientos de niños y adultos, proporcionando la base para las teorías de control motor y coordinación.

Estableció que los adultos corren más económicamente que los niños (desde el punto de vista del gasto energético) (Izquierdo, 2008; Gutiérrez, 2005; Halton, 1993; Aguado, 1993).

Archibald Vivian Hill (1888–1977)

Empezó su carrera como matemático, pero también hizo muy importantes aportes a la fisiología. En 1923 recibe el premio Nobel de Fisiología y Medicina. Su principal contribución fue: 1) explicar la función mecánica y estructural de la función muscular, la cual sigue vigente hasta nuestros días, 2) estudiar la locomoción humana; contribuyó especialmente a la eficiencia de la carrera como una de las principales praxias complejas de movimiento, 3) en la década de los treinta tuvieron gran auge las técnicas de registro de la actividad eléctrica de los músculos esqueléticos.

Charles Scott Sherrington (1852–1952)

Estudió fisiología, desde sus inicios su mayor interés fue el de la neurofisiología, con especial atención en la parte de la actividad refleja y la parte de la inervación de las motoneuronas a los músculos esqueléticos. Su principal obra fue: *The integrative action of the nervous system*. Fue Premio Nobel de Medicina y Fisiología en 1932 (Izquierdo, 2008; López, 2014; Gutiérrez-Dávila, 2015).

Lineamientos generales para la realización de este libro

Objetivos de esta sección

- Saber cuál fue el planteamiento de la situación pedagógica que conllevó al desarrollo del libro.
- Saber cuál es la pregunta de investigación que conllevó al desarrollo de la presente obra.
- Conocer los objetivos que subyacen a la realización de este libro.
- Conocer la justificación (el para qué y el por qué) del presente libro.
- Conocer metodológicamente cuál es el modelo de investigación que soporta la realización de la presente obra.
- Conocer los tipos de documentos que se han revisado para la realización de varios apartados de la presente obra (concretamente los aspectos teóricos y metodológicos del mismo).
- Conocer los detalles que constituyen el esquema general de desarrollo del presente libro.

Resumen

Todo manuscrito que tenga un objetivo académico está basando en una serie de lineamientos que tienen el mismo carácter. Esto mismo ocurre con el presente libro. Antes de hacer una presentación y desarrollo formal de los aspectos más relevantes que hacen parte del presente escrito, es necesario mostrar cuáles son sus aspectos metodológicos. Así las cosas, en el primer capítulo se aborda el planteamiento del problema y se hace explícita la pregunta de investigación. Asimismo, se dan a conocer los objetivos que orientaron el desarrollo de la obra, la justificación y el marco metodológico. También se da a conocer el tipo/clasificación de documentos que se han revisado para el desarrollo de varios aspectos conformantes del libro y el esquema general.

El porqué de este libro

La primera pregunta que surge en el desarrollo de este libro es ¿por qué escribir un texto de biomecánica? Y de esta primera pregunta, puede desprenderse una segunda: ¿para qué escribirlo? Los programas de Educación Física y ciencias afines, y en sí, todos los programas que desde el pregrado o el posgrado tengan como objetivo el estudio del movimiento corporal humano implícitamente tendrán la necesidad de estudiar aspectos relacionados con ciencias básicas que permitan entender ese movimiento corporal. Desde la vertiente biológica y física, existen entonces diversos conceptos a tener en cuenta. Los profesionales en educación física, cultura física, deporte y recreación y ciencias del deporte requieren ver conceptos provenientes de la anatomía, la fisiología, la biología y la biomecánica (PEP CFDR USTA, 2008).

La Universidad Santo Tomás – Sede Bogotá, se encuentra actualmente con un gran reconocimiento y grandes resultados en el área de la educación física y las ciencias afines. El caso del programa profesional de pregrado de Cultura Física, Deporte y Recreación, creado para comenzar funciones en 1998 (como extensión del programa de la sede Bucaramanga), ha planteado frente a la sociedad un programa de formación con objetivos enfocados en gran parte al estudio del movimiento corporal humano. Este mismo programa ha

realizado en los últimos años cambios que han tenido como objetivo ajustar los contenidos de estudio de la profesión, con el fin de formar profesionales con mayor capacidad de responder a las demandas de la sociedad actual.

Dentro de los diversos ajustes curriculares que se han realizado en el programa de Cultura Física, Deporte y Recreación de la Universidad Santo Tomás, el último aprobado y en funcionamiento (en el año de 2013), sitúa a la asignatura de biomecánica como uno de los componentes de obligatorio desarrollo por parte del estudiante en el ciclo 1 Básico. Dentro de este ciclo se encuentra en el módulo 1 Fundamentos de la acción motriz, que está compuesto de otra serie de asignaturas del mismo cohorte básico que complementan el conjunto de núcleos temáticos que se desarrollan en la asignatura de biomecánica, como: anatomía, fisiología del ejercicio, biología, entre otras (PEP CFDR USTA, 2008).

La asignatura de biomecánica se constituye entonces en una de las áreas de conocimiento o disciplinas más importantes dentro del ciclo de formación básica en el programa de Cultura Física, Deporte y Recreación de la Universidad Santo Tomás. De esta forma, la asignatura debe generar en el estudiante la posibilidad de adquirir competencias suficientes en cuanto al entendimiento de cómo nos movemos y cuáles son las bases biológicas y físicas que le permitan entender las características del movimiento corporal humano.

De acuerdo con lo anterior, la asignatura de biomecánica tiene en cuenta aspectos de orden físico y matemático, biológico, histológico, anatómico y fisiológico que permiten responder la siguiente pregunta de investigación:

Pregunta de investigación

La pregunta de investigación que se pretendió responder con la realización de este trabajo fue: ¿cómo nos movemos?

De acuerdo con esta pregunta de investigación se plantearon de igual forma las siguientes preguntas anexas, las cuales también se responden con la realización de la presente obra:

- ¿Cuáles son las bases físicas y matemáticas que permiten entender cómo nos movemos?

- ¿Cuáles son las bases biológicas e histológicas que permiten entender cómo nos movemos?
- ¿Cuáles son las bases anatómicas y fisiológicas que permiten entender cómo nos movemos?
- ¿Qué aspectos de comportamiento (en cuanto al movimiento corporal ejecutado) se observan durante la ejecución de gestos deportivos de movimiento?

De las anteriores preguntas resultan los objetivos que se tuvieron en cuenta para el desarrollo del presente libro:

Objetivos

Un objetivo en un proyecto de investigación, en el desarrollo de tareas pedagógicas y curriculares, tiene como fin determinar el destino de las acciones realizadas en un proceso pedagógico, así pues, se dan a conocer los objetivos del presente trabajo:

Objetivo general

Establecer y desarrollar los aspectos que desde la biología, la histología, la física, la anatomía y los principios básicos de fisiología, permiten el entendimiento de la biomecánica para poder responder a la pregunta: ¿cómo nos movemos?

Objetivos específicos

- Desarrollar los conceptos que desde la física y la matemática básica permiten comprender cómo nos movemos.
- Desarrollar los conceptos que desde la biología y la histología permiten entender cómo nos movemos.
- Desarrollar los conceptos que desde la anatomía y la fisiología permiten entender cómo nos movemos.

- Mostrar algunas aplicaciones prácticas de los conceptos antes mencionados desarrolladas en la asignatura en cuanto al análisis de gestos deportivos.
- Describir la estructura curricular de la asignatura de biomecánica del programa de Cultura Física, Deporte y Recreación de la Universidad Santo Tomás, sede Bogotá.

Justificación

El objetivo fundamental que se pretende alcanzar con la asignatura de Biomecánica del programa de Cultura Física, Deporte y Recreación de la Universidad Santo Tomás, sede Bogotá, está enfocado a que el estudiante y el profesional en formación adquiera las competencias específicas para entender el movimiento corporal humano (en el desarrollo de gestos deportivos de movimiento y en el desarrollo de praxias simples y complejas) y poderlo analizar, aplicando bases de conocimiento que desde la física, la matemática, la biología, la histología, la anatomía y la fisiología adquieren en el desarrollo de la misma asignatura.

De acuerdo con el objetivo de la asignatura, es necesario establecer materiales de consulta que puedan aportar al desarrollo de los elementos básicos de los contenidos contemplados en el espacio académico de Biomecánica, y luego establecer, a partir del conocimiento adquirido, juicios con respaldo académico para realizar análisis de movimiento (más enfocados al análisis de gestos deportivos). Tanto el Programa de Cultura Física, Deporte y Recreación como el *syllabus* de la asignatura de Biomecánica obedecen a los lineamientos de un modelo pedagógico constructivista y humanista que se constituye como base en el modelo educativo de la Universidad Santo Tomás.

Teniendo en cuenta que el modelo pedagógico aplicado permite una interacción del estudiante con el cuerpo de conocimientos que conforman la asignatura de una forma más activa, se generan entonces reconstrucciones del conocimiento que son las responsables de la generación de procesos de análisis, que usa las herramientas dadas en la asignatura y en otras que ya se han desarrollado en el momento en el cual el estudiante cursa la asignatura de Biomecánica y que debe quedar consignada en forma escrita y organizada para poder ser consultada.

De igual forma, los procesos de análisis de movimiento que se realizan en el desarrollo de la asignatura están guiados por la adquisición de conceptos propios del curso, como las técnicas que pueden implementarse para el desarrollo de análisis de movimiento y las formas de presentación de los análisis realizados desde perspectivas cualitativas o cuantitativas de movimiento. Todos estos elementos básicos quedan registrados en una herramienta de consulta fundamental para los estudiantes que toman la asignatura.

Marco metodológico

¿Cómo se realizó este libro?

Todo proceso investigativo o pedagógico está determinado por una serie de parámetros metodológicos que se encargan de guiar el desarrollo del mismo. En este apartado se mostrarán los criterios metodológicos que se tuvieron en cuenta para el desarrollo de este libro.

Tipo de estudio que rige la realización del presente libro

El libro desarrollado se rige por un tipo de estudio descriptivo y documental, que tiene en cuenta la búsqueda de información para establecer un marco teórico adecuado y suficiente para constituirse en una herramienta de búsqueda para los estudiantes que cursen la asignatura. Los tipos de evidencia documental que se han tenido en cuenta para la realización del marco teórico del presente libro son de primer nivel (artículos originales y/o de revisión), relacionados con las temáticas a tratar, de segundo nivel (que tiene en cuenta libros relacionados con las temáticas a tratar) y de tercer nivel (en menor medida, relacionados con la tan conocida “webgrafía” o información que

se encuentra en páginas de internet que traten del tema). De igual forma, la presente obra no solamente es de tipo descriptivo y documental, sino que también es de aplicación, en la medida en que aprovecha el marco de recursos teóricos que presenta para establecer una sección final en la que se muestran los diferentes resultados que se pueden obtener por la aplicación de los mismos en la realización de análisis de gestos deportivos (Bisquerra, 2004; Namakforoosh, 2005). En las tablas 2 y 3 se muestran las características de búsqueda de la información que se tuvo como base para el desarrollo del presente libro.

Tipos de documentos revisados: clasificación, tiempos de realización y de búsqueda de la información

Las tablas que se presentan a continuación muestran la clasificación de los referentes documentales que se tuvieron en cuenta, las cuales permiten observar cuántas referencias se utilizaron para la realización de esta obra y su clasificación en primer, segundo y tercer nivel. Se muestra mayor uso de referencias de primer y segundo nivel de evidencia (es decir, artículos y libros) y en segunda instancia, el uso de información que se encuentra directamente en internet.

Tabla 2. Clasificación de referencias documentales de acuerdo a niveles de evidencia (primer nivel, segundo nivel y tercer nivel).

Características	Primer nivel (Artículos originales, de revisión publicados en revistas especializadas en el tema)		Segundo nivel (Libros, cartillas)		Tercer nivel (Información en la red, webgrafía)	
	Valor absoluto	Valor relativo	Valor absoluto	Valor relativo	Valor absoluto	Valor relativo
Cantidad de artículos, libros y webgrafía (páginas, blogs, etc.)	50	100%	50	100%	2	100%
Clasificación de artículos (originales) o clasificación de libros (de resultado de investigaciones realizadas).	31	62%	2	4%	----	----
Clasificación de artículos (de revisión) o clasificación de libros (textos guía del tema, o de revisión documental).	19	38%	48	96%	----	----
Artículos, libros, webgrafía en español	31	62%	40	80%	2	100%
Artículos, libros y webgrafía en inglés	18	36%	10	20%	0	0%
Artículos, libros y webgrafía en otros idiomas.	1	2%	0	0%	0	0%
Total	50	100%	50	100%	2	100%

Fuente: elaboración propia.

Se intentó seleccionar información reciente (con una ventana de tiempo de más o menos 10 años), criterio que ha sido especialmente aplicado para los artículos que fueron seleccionados para la realización de la presente obra. Los libros que se seleccionaron estuvieron mayormente relacionados con temáticas como anatomía, fisiología, histología y biofísica. También se tuvieron en cuenta libros relacionados con biomecánica y biomecánica y deportes. Con los artículos solo se tuvieron en cuenta aquellos relacionados con la biomecánica (básica o aplicada), teniendo en cuenta como básica, especialmente, la relacionada con la biomecánica tisular, mientras que en la parte aplicada, se tuvieron en cuenta artículos de aplicación de la biomecánica en el análisis de gestos deportivos. La webgrafía consultada estuvo enfocada a la búsqueda de información básica de conceptos biomecánicos. La tabla 3 muestra la clasificación de la información que se empleó para la realización del presente libro, de acuerdo a los ítems mencionados anteriormente.

Tabla 3. Clasificación de la información: referencia documental encontrada para la realización de este libro (por año, por temática tratada)

Características	Primer nivel (Artículos originales, de revisión publicados en revistas especializadas en el tema)		Segundo nivel (Libros, cartillas)		Tercer nivel (Información en la red, webgrafía)	
	Valor absoluto	Valor relativo	Valor absoluto	Valor relativo	Valor absoluto	Valor relativo
Temática del artículo, libro o webgrafía:						
a) Física	0	0%	2	4%	0	0%
b) Bioquímica	0	0%	3	6%	0	0%
c) Matemáticas	0	0%	1	2%	0	0%
d) Biología	0	0%	2	4%	0	0%
e) Histología	0	0%	2	4%	0	0%
f) Anatomía	0	0%	5	10%	0	0%
g) Fisiología	0	0%	5	10%	0	0%
h) Biomecánica básica	2	4%	25	50%	1	50%
i) Biomecánica aplicada (deportes)	48	96%	5	10%	1	50%
Total	50	100%	50	100%	2	100%

Año de publicación/ origen de artículos/ libros/ webgrafía	Primer nivel (Artículos originales, de revisión publicados en revistas especializadas en el tema)		Segundo nivel (Libros, cartillas)		Tercer nivel (Información en la red, webgrafía)	
Antes del 2000	0	0%	2	4%	0	0%
Entre 2000– 2005	22	44%	48	96%	0	0%
Entre 2006– 2010	24	48%	0	0%	2	100%
Entre 2010– 2015	6	12%	0	0%	0	0%
Total	50	100%	50	100%	2	100%

Fuente: elaboración propia.

Esquema general (pedagógico) base para el desarrollo del libro

El esquema pedagógico general que subyace en la realización del presente libro, se acoge en primera instancia al modelo educativo humanista de la Universidad Santo Tomás, el cual permite al estudiante de Cultura Física, Deporte y Recreación reconocerse a sí mismo como ser humano, con una tarea específica para realizarse como persona y crear unas relaciones más humanas y justas con el entorno natural y social. De esta forma, el ser humano cuando adopta una actitud reflexiva frente a sus actos, reconociéndose a sí mismo como “alguien” que interpreta y comprende su mundo, y que respeta y acepta como legítimo otro que convive con él, es más eficiente en su desempeño profesional, en cualquiera de las áreas en las que actúa, porque transforma positivamente su mundo laboral, familiar y personal. Y si logra lo anterior, tiene terreno abonado para crear espacios de cooperación, solidaridad, convivencia y compromiso desinteresado (Universidad Santo Tomás, 2016).

En segunda instancia, el esquema pedagógico que subyace en la realización de este libro se encuentra relacionado con el modelo pedagógico constructivista, el cual concibe el proceso de enseñanza-aprendizaje

como resultado de un proceso de construcción personal y colectiva de los conocimientos, actitudes y vida a partir de los ya existentes y en cooperación con los compañeros y el profesor (orientador o facilitador) (Porlan, 2008). La asignatura está diseñada de tal forma que se pueda incorporar al ciclo Básico, módulo 1: Fundamentos de la acción motriz, del programa de Cultura Física, Deporte y Recreación de la Universidad Santo Tomás-Sede Bogotá (Campos, 2013).

El presente libro está diseñado de la misma forma en que está estructurada la asignatura de Biomecánica en el programa, que se describe a continuación:

Parte I (primera cohorte): desarrollo de la competencia interpretativa, aquí el estudiante debe adquirir todos los conceptos que desde la biofísica y la matemática le permiten comprender el movimiento corporal y abordar procesos de análisis de gestos deportivos. Dentro de las temáticas que se contemplan en esta primera parte se encuentran:

Unidades de medida: revisión del Sistema Internacional de Medidas con el desarrollo de los factores de conversión y revisión de tabla de múltiplos y submúltiplos de la unidad. Este tema es acorde a la realización de procesos de medición y evaluación de las características del movimiento, especialmente en la ejecución de gestos deportivos (como velocidad, aceleración, entre otros).

Principios de dinámica aplicados a la comprensión del movimiento corporal: aquí se revisan conceptos básicos como fuerza, magnitud física (de gran importancia, responsable de la generación de movimiento corporal), revisión de las magnitudes físicas y su clasificación (vectoriales y escalares), y más ejemplos de las mismas aplicados al movimiento corporal humano. Concepto de vector, y partes de un vector y su relación como herramienta para representación gráfica del movimiento realizado por un cuerpo. Desarrollo del tema de métodos para realizar operaciones con vectores (método gráfico del paralelogramo y métodos matemáticos de suma y resta o aritmético, método de los componentes o de seno y coseno y método del teorema de Pitágoras o de los catetos. Dinámica clásica (newtoniana: leyes de Newton y diagramas de cuerpo libre y su relación como herramienta de representación de las fuerzas que hacen que un cuerpo se mueva). Dinámica moderna, con la revisión de los conceptos de trabajo y energía, tipos, clasificación y su relación con la dinámica del movimiento corporal humano.

Principios de cinemática aplicados a la comprensión del movimiento corporal: en este tema se revisan temáticas relacionadas con la medición y/o cálculo de las características de movimiento de un cuerpo, resumidas en las siguientes temáticas: movimiento rectilíneo uniforme, movimiento rectilíneo uniformemente acelerado, movimiento circular, torque o momento de fuerza, concepto de aceleración y concepto de velocidad.

Centro de gravedad, centro de masa, métodos para el cálculo y la determinación del centro de gravedad, con la aplicación práctica. Desarrollo de las temáticas de palanca, tipos de palanca, concepto y aplicaciones en el cuerpo humano.

Una vez el estudiante ha superado esta primera parte, está en capacidades de desarrollar la segunda parte de la asignatura, la cual será descrita a continuación:

Parte II (segunda cohorte): desarrollo de la competencia argumentativa: el estudiante adquiere conceptos desde las vertientes biológica, histológica, y morfofisiológicas haciendo una aplicación más cercana al entendimiento del movimiento corporal y al proceso de análisis de gestos deportivos. En esta parte se desarrollan las siguientes temáticas:

Composición microestructural de tejidos conectivos: aquí se hace una revisión de la composición microestructural de tejidos como el óseo, ligamentario, tendinoso, cartilaginoso y muscular esquelético, teniendo en cuenta la organización celular y de matriz extracelular de los tejidos antes mencionados.

Propiedades físicas de los tejidos conectivos: se desarrolla una revisión teórico-práctica sobre las propiedades físicas que cada uno de los tejidos conectivos antes mencionados tienen de acuerdo a la organización microestructural de los tejidos. Se revisan conceptos como elastancia, plasticidad, viscoelasticidad, anisotropía, bifascicidad, entre otros términos relacionados. Se estudia la dependencia de cada término con los componentes de la matriz extracelular de cada tejido.

Tipos de carga: se revisan los diferentes tipos de carga que los tejidos pueden soportar de acuerdo a su estructura macro y a su microestructura. Se revisan los conceptos de carga tensil, carga compresiva, carga cizallante, carga angular, entre otras.

Una vez el estudiante ha desarrollado las temáticas de la segunda parte de la asignatura, consignadas en este libro, se desarrolla la tercer parte de la asignatura, la cual será descrita a continuación:

Parte III (tercer cohorte): desarrollo de la competencia propositiva. El estudiante adquiere las competencias que le permiten no solo comprender el movimiento corporal, sino que también le permiten abordar análisis de gestos deportivos sencillos, usando lo que hasta ahora ha aprendido. Se desarrollan las siguientes temáticas:

Técnicas para realizar análisis de movimiento: se hace una revisión de temáticas relacionadas con el análisis de movimiento como el videograma, el kinegrama y el fotograma, más las formas de realización, entre otras.

Análisis de gesto deportivo: el cual constituye la parte práctica de la asignatura. Se realiza un primer abordaje al análisis de un gesto deportivo escogido por los mismos estudiantes, teniendo en cuenta dos aspectos fundamentales a desarrollar: a) un análisis cuantitativo—en el cual se realiza sobre el gesto deportivo escogido procesos de planimetría, de determinación del centro de gravedad, determinación vectorial y sumatoria vectorial, b) un análisis cualitativo—en el cual se realizan análisis del mismo gesto deportivo escogido desde una perspectiva teórica relacionando los conceptos vistos desde la histología y biomecánica de tejidos, así como desde lo desarrollado en la dinámica clásica y moderna, palancas y cinemática. La figura 1 describe el orden de las partes que se tienen en cuenta en el desarrollo de la asignatura y del presente libro.

Figura 1. Esquema general de organización del libro



Fuente: elaboración propia.

Principios básicos aplicados a la biomecánica del movimiento corporal humano

Objetivos de esta sección

- Que el estudiante adquiera el conocimiento acerca de los sistemas de referencia para el movimiento corporal humano, teniendo en cuenta los principales planos corporales y ejes de movimiento.
- Que el estudiante adquiera el conocimiento al respecto del sistema internacional de medidas (si), con las principales unidades de medidas básicas y derivadas y combinadas, haciendo uso de las unidades de medida correspondientes para cada magnitud física.
- Que el estudiante haga uso de los factores de conversión para hacer conversiones de valores entre unidades de medida en las mismas magnitudes físicas, y que pueda igualmente hacer conversión de números de decimales a números expresados en potencias de 10 y viceversa.
- Que el estudiante reconozca la diferencia entre una magnitud física vectorial y una magnitud física escalar.
- Que el estudiante reconozca las partes de un vector y aplique en contexto los diferentes métodos para la sumatoria de vectores.

- Que el estudiante reconozca las características básicas del método segmentario para el cálculo del centro de gravedad y lo pueda aplicar para determinar el mismo en gestos deportivos de movimiento.
- Que el estudiante reconozca los criterios básicos que desde la rama de la dinámica sirven para el análisis de movimiento: reconocimiento de las leyes de Newton con sus preceptos y que a partir de este reconocimiento, establezca relaciones con los análisis de gestos deportivos.
- Que el estudiante adquiera el conocimiento básico respecto a los conceptos de trabajo y energía y los reconozca como elementos básicos de análisis de movimiento que se pueden analizar desde una perspectiva de la dinámica no newtoniana.

Resumen

El análisis de cualquier praxia de movimiento requiere de la descripción detallada de los cambios de posición del cuerpo (en este caso, de las articulaciones que se encuentran en cada uno de los segmentos del mismo: miembros superiores, miembros inferiores, tronco y raquis), así como el de identificar con claridad las causas que producen dicho movimiento. Para la realización de análisis de movimiento, es necesario tener en cuenta algunos criterios básicos que desde la mecánica (física mecánica) provienen y son necesarios para tal fin. No obstante, algunos otros criterios básicos de análisis provienen como tal de la anatomía.

La mecánica se divide en dos principales ramas: a) la rama de la cinemática, que se encarga de estudiar el movimiento de un cuerpo, (en este caso del cuerpo humano en la realización de gestos deportivos de movimiento), sin tener en cuenta las causas que lo producen y b) la rama de la dinámica, que estudia el movimiento de un cuerpo (el cuerpo humano), en este caso teniendo en cuenta las causas que lo producen. De igual forma, la dinámica se subdivide en dos ramas: a) la rama de la dinámica newtoniana, que tiene en cuenta consideraciones como la ley de la gravitación universal y su influencia sobre los cuerpos en movimiento y las leyes de Newton y b) la dinámica no Newtoniana, que tiene en cuenta la explicación de cómo nos movemos pero desde conceptos como el de trabajo y el de energía. En esta sección del libro se dará desarrollo a todas estas características provenientes de la física mecánica.

Como se ha descrito antes, existen otros criterios que provienen de otras áreas de conocimiento (en este caso de la anatomía), y que son parte fundamental en el análisis de movimiento, ya que permiten ubicar los desplazamientos de los segmentos en sistemas de referencia, como en este caso, en los planos y ejes corporales. En esta sección del libro, se describirán los principales sistemas de referencia relacionados con los más relevantes movimientos de las articulaciones que conforman cada uno de los segmentos corporales.

Sistemas de referencia: planos y ejes corporales, tipos de movimientos realizados por el cuerpo humano

El análisis del movimiento humano requiere de la descripción detallada de los cambios de posición en el cuerpo o de sus segmentos (y más de las articulaciones que componen cada uno de los segmentos corporales). El primer paso para realizar un análisis de movimiento será identificar las articulaciones o segmentos corporales cuyo movimiento se pretende analizar. Es necesario entonces, que a la hora de observar y describir el movimiento se puedan identificar marcos o sistemas de referencia en donde tenga lugar el movimiento. De esta forma, un sistema de referencia será el lugar desde dónde tiene lugar la medición (u observación). Un sistema de referencia será necesario para especificar la posición del cuerpo, de un segmento o de un objeto (el que se pretenda analizar), así como para describir si ocurren cambios en su posición. Los sistemas de referencia que se utilizan, pueden ser fijos, si la figura a analizar se encuentra en estado de equilibrio estático, o pueden ser móviles, si la figura a analizar se encuentra en situación de equilibrio dinámico.

Desde el punto de vista de representación gráfica y matemática de los movimientos realizados por el cuerpo, ubicados en un plano de referencia,

tienen en cuenta la aplicación de los planos cartesianos, que han sido una de las más importantes contribuciones para la conformación subsiguiente de los planos corporales, y a su vez, para la determinación de los ejes de movimiento corporal. Si se asume que un plano corporal es la extrapolación de un plano cartesiano, y si a su vez, se tiene en cuenta que un plano cartesiano está compuesto por lo menos por dos ejes (una coordenada y una abscisa, representadas por las letras X y Y), que en conjunción, determinan un espacio propio en el cual se podrán hacer representaciones gráficas y matemáticas de un cuerpo, ya sea que esté en posición estática o en posición dinámica.

Antes de describir los planos y los ejes corporales, es necesario hacer una ubicación precisa del cuerpo humano en el espacio y a partir de esta misma posición estándar de ubicación del cuerpo en el espacio, hacer todas las aseveraciones al respecto de la determinación de movimientos segmentarios o articulares en los mismos planos y ejes. La figura estándar del cuerpo sobre la cual se harán todas las descripciones del movimiento será la denominada como “posición anatómica”. Extrapolaciones de esta figura o posición estándar se pueden aplicar a la descripción de figuras en movimiento o en situación de equilibrio dinámico, y muchas más aplicaciones de esta misma posición de referencia se tienen para las figuras en estado de reposo o de equilibrio estático.

El objetivo de crear una posición de análisis de movimientos estándar como lo es la posición anatómica, es la de generar al igual que con los sistemas de referencia del movimiento, una posición de referencia que no sea ambigua. La posición anatómica hace referencia entonces a la posición del cuerpo en la que se encuentra de pie, independientemente de la posición real, con las siguientes características:

- La cabeza, con la mirada (ojos) hacia adelante.
- Las palmas de las manos estarán ubicadas mirando “hacia arriba” o en posición supina, y los dedos de las manos mirando igualmente hacia adelante.
- Los miembros superiores van adyacentes a los lados del cuerpo.
- Los miembros inferiores se encuentran juntos, con los pies dispuestos en posición paralela, con los dedos de los pies mirando hacia adelante (ver figura 2).

La posición anatómica es la adoptada globalmente para las descripciones anatómicas del movimiento corporal humano. Al describir esta posición con

la terminología apropiada, se pueden relacionar las partes del cuerpo en movimiento entre sí (Moore, 2007; Aguilar, 2000).

Figura 2. Posición anatómica del cuerpo humano (posición de referencia)



En esta figura se pueden observar las características antes descritas, entre ellas, la mirada hacia el frente, las palmas de las manos y los dedos de los pies.

Fuente: tomado y modificado de Moore (2007).

Una vez se ha aclarado el concepto de la posición anatómica, que es la estándar del cuerpo, sobre la cual se aplicarán los criterios provenientes de los planos y los ejes de movimiento. A continuación se describirán los principales sistemas de referencia sobre los cuales se describe el movimiento corporal humano.

Planos anatómicos

Las descripciones anatómicas se basan en cuatro planos imaginarios (medio, sagital, frontal y transversal), que se intersectan en el cuerpo en la posición anatómica. El plano medio, que se toma como el plano vertical que pasa en dirección longitudinal a través del cuerpo y lo divide en una mitad derecha y una izquierda como se ilustra en la figura 3. La línea media es usada erróneamente como sinónimo de plano medio (Aguado, 2001; Moore, 2007; Miralles, 2007).

Figura 3. Plano medio o sagital



Este plano atraviesa al cuerpo en posición anatómica de arriba abajo y lo divide en dos mitades, una derecha y una izquierda.

Fuente: tomado y modificado de Moore (2007).

Los planos parasagital (también denominados como planos paramedianos) son planos verticales que pasan a través del cuerpo paralelamente al plano medio. Resulta útil dar un punto de referencia nombrando una estructura que se cruza con el plano al que se hace referencia, como el plano sagital a través del punto medio de la clavícula. Los términos plano parasagital y plano medio están relacionados entre sí y tienen en cuenta los mismos puntos de división en el cuerpo en posición anatómica, es decir, tanto el plano medio

como un plano parasagital atraviesan el cuerpo en posición anatómica de arriba a abajo y lo dividen en dos partes, derecha e izquierda.

Los planos frontales también denominados como coronales (ver figura 4), son planos verticales que atraviesan el cuerpo en ángulo recto respecto al plano medio, de manera que dividen al cuerpo en dos mitades, una anterior (parte delantera) y una posterior (parte trasera).

También en este caso es necesario un punto de referencia para indicar la posición del plano (por ejemplo, un plano frontal, a través de los cóndilos de las ramas de la mandíbula). Al igual que los planos mediales y paramediales o paramedianos, el plano transversal se puede entender como un plano parafrontal o paracoronal si atraviesa al cuerpo de arriba abajo, pero en otros puntos de referencia paralelos al escogido para el plano frontal inicial (Moore, 2007; Aguilar, 2000; Aguado, 1993).

Figura 4. Plano frontal o coronal



En la figura se observa que este plano atraviesa al cuerpo de arriba abajo y lo divide en dos mitades: una anterior y una posterior

Fuente: tomado y modificado de Moore (2007).

Los planos transversales (ver figura 5), son aquellos que cruzan el cuerpo respecto de los planos medio y frontal en forma anteroposterior, lo que divide al cuerpo en dos mitades, una superior y una inferior. Resulta útil dar un punto de referencia para identificar el nivel del plano, como por ejemplo “plano transversal a través del ombligo” o a través de una determinada vértebra. Los clínicos también se refieren a este tipo de plano como transaxial (o plano axial simplemente). Normalmente, las secciones del cuerpo en los planos frontal y transversal son simétricas, y pasan a través de los elementos derecho e izquierdo de las estructuras pares, de modo que permite cierta comparación. El número de planos sagitales, frontales y transversales es ilimitado. El principal uso de los planos es la descripción de secciones. Los clínicos crean secciones anatómicas para la descripción del movimiento de los segmentos corporales (Moore, 2007; Aguilar, 2000).

Figura 5. Plano transverso



Este plano atraviesa al cuerpo de adelante a atrás y divide al cuerpo en dos mitades: una superior y una inferior.

Fuente: tomado y modificado de Moore (2007).

Ejes anatómicos de movimiento

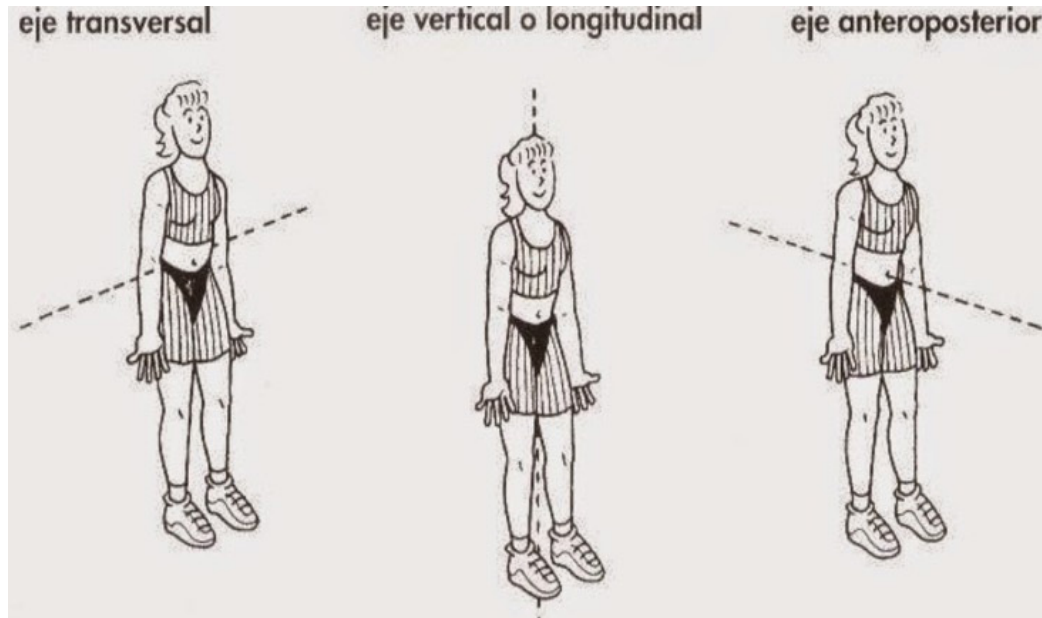
El término *eje*, que tiene sus raíces etimológicas en la palabra proveniente del griego *axis*, posee múltiples usos, definiciones y aplicaciones. En sus orígenes representaba la barra que unía las ruedas de las carretas y, más adelante, la línea imaginaria que cruza el planeta Tierra de polo a polo. En el campo de la mecánica, por ejemplo, un eje considerado como una pieza constructiva que resulta útil a la hora de dirigir el desplazamiento de rotación de un elemento o de un grupo de piezas, como puede ocurrir al trabajar sobre una rueda o un engranaje. En matemáticas, los ejes permiten ubicar una figura en el espacio. Por convención, el eje horizontal se referencia con la letra X, el vertical con la letra Y, y el que representa la profundidad, con la Z (Miralles, 2007; Hamill, 2017).

De acuerdo con lo anterior, un eje como sistema de referencia para el movimiento corporal se define como aquella línea que puede atravesar al cuerpo de varias formas, estableciéndose referencia para las diversas series de movimientos que se pueden desarrollar. La unión de dos o más ejes (X, Y y Z), conforman un plano que puede ser cartesiano o corporal, como los que se han descrito anteriormente.

Como sistema de referencia para el movimiento, existen tres ejes corporales, definidos de la siguiente forma:

- Eje frontal horizontal (también denominado como eje latero–lateral), que atraviesa al cuerpo de un lado a otro (del lado derecho al lado izquierdo). Este eje debe escoger una articulación como punto de referencia para poder atravesar al cuerpo. Por ejemplo: un eje latero–lateral que atraviesa al cuerpo en las dos articulaciones coxofemorales o de las caderas (ver figura 6).
- Eje Longitudinal (también denominado como eje vertical), que atraviesa al cuerpo de arriba a abajo (ver figura 6).
- Eje sagital horizontal (también llamado como eje antero–posterior), que atraviesa al cuerpo de adelante hacia atrás (ver figura 6).

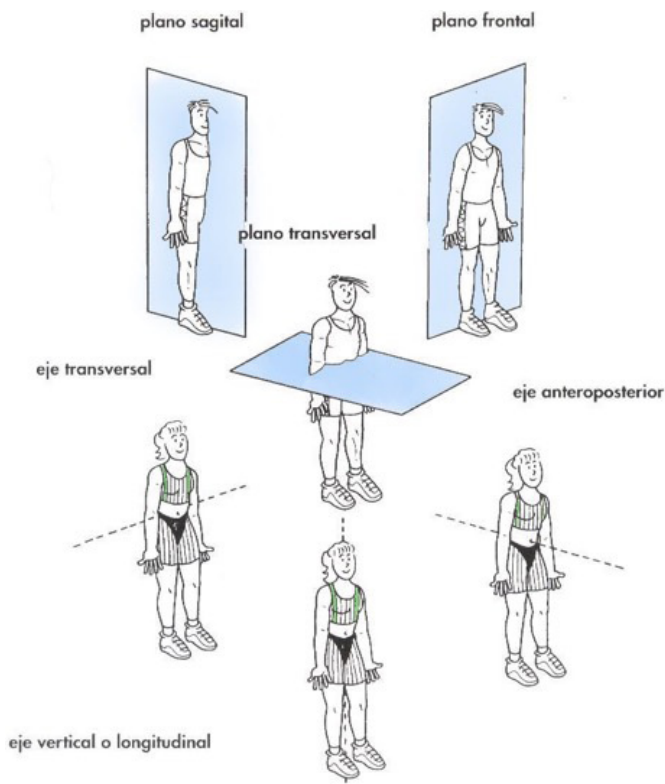
Figura 6. Ejes corporales de movimiento: eje frontal horizontal o latero–lateral, eje longitudinal o vertical y eje sagital horizontal o anteroposterior



Fuente: tomado de Moore (2007).

Los planos y los ejes corporales de movimiento tienen entre ellos una adecuada correspondencia de perpendicularidad, en el que cada eje corresponde perpendicularmente con cada plano, lo que conforma una dupla de plano–eje, responsable de servir como sistema de referencia para los diferentes movimientos registrados por las articulaciones en el cuerpo humano. En la figura 7 se observa la correspondencia de cada eje con cada plano.

Figura 7. Correspondencia (o perpendicularidad) entre ejes y planos



El plano sagital se corresponde con el eje latero–lateral, el plano transversal se corresponde con el eje longitudinal y el plano coronal se corresponde con el eje antero–posterior.

Fuente: tomado y modificado de Moore (2007).

Movimientos realizados por el cuerpo

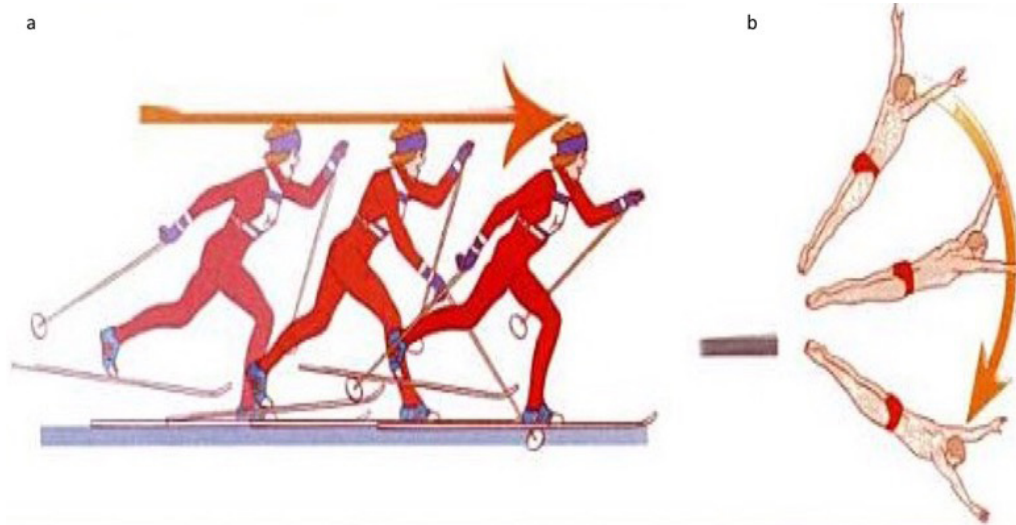
Los movimientos que puede realizar el cuerpo serán descritos en este apartado, de acuerdo a dos criterios básicos: primero, los movimientos realizados por los segmentos y/o articulaciones corporales en cada plano y en cada eje corporal de movimiento y segundo, los movimientos realizados por el cuerpo humano que tienen en cuenta la posibilidad de realizar movimientos de traslación, rotación y mixtos.

Tipos de movimientos según la trayectoria: de traslación, rotación y mixtos

El cambio de posición de un cuerpo puede ser clasificado de acuerdo a la trayectoria que describan en movimientos de traslación, de rotación o combinados. La traslación del cuerpo supone un cambio de posición de un sitio a otro dentro de un sistema de referencia. Si el camino que recorre el cuerpo en movimiento es lineal se considera que está recorriendo una trayectoria rectilínea o lineal, si por el contrario describe una curva, se dice que el cuerpo está recorriendo una trayectoria “curvilínea”. En los dos tipos de traslaciones (rectilíneas y curvilíneas) cada uno de los puntos del cuerpo recorre el mismo espacio en el mismo tiempo. La distancia que un cuerpo desplaza en línea recta es representada en el denominado “sistema de unidades de desplazamiento lineal”, dentro del sistema métrico internacional (SI), en metros y sus submúltiplos correspondientes (centímetros y milímetros por ejemplo) (ver figura 8).

En el movimiento rotatorio o angular, cada parte del cuerpo en movimiento describe el mismo ángulo en el mismo tiempo. En este tipo de movimientos el cuerpo gira o rota sobre un eje de movimiento. En el cuerpo humano, cada segmento está unido a su adyacente dando forma a las articulaciones, que son puntos fijos sobre los que tienen lugar los cambios de posición (o rotación) de los segmentos. El desplazamiento que recorre un cuerpo durante una rotación se mide en unidades de desplazamiento angular, por ejemplo en revoluciones, en grados o en radianes (según el SI) (Moore, 2007; Hamill, 2017, Aguado, 2001) (ver figura 8).

Figura 8. Ejemplos de movimientos rectilíneos y de movimientos curvilíneos:
a) rectilíneo y b) curvilíneo



Fuente: tomado y modificado de Izquierdo (2007).

De acuerdo con los movimientos que los segmentos corporales pueden realizar, el cuerpo humano puede ser considerado como un sistema formado por segmentos móviles unidos. El esqueleto puede dividirse en tantas partes como huesos que lo conforman (208), incluyendo los huesos del oído medio: (martillo, yunque y estribo). Sin embargo, es frecuente dividir al esqueleto desde una perspectiva mucho más funcional en dos clasificaciones específicas:

Esqueleto axial: el cual está conformado por las vértebras, la caja costal, el esternón, los huesos que conforman el anillo pélvico (ilíon, isquión y pubis), sacro y coxis y, los huesos del cráneo.

Esqueleto apendicular: el cual está conformado por los huesos que conforman las extremidades superiores (escápula, húmero, cúbito, radio, huesos del carpo, metacarpos y falanges de los dedos de la mano) y los huesos de las extremidades inferiores (fémur, tibia, peroné, huesos del tarso, metatarsos y falanges de los dedos del pie).

En conformidad con esta clasificación, es de esperarse que por función sean mucho más móviles las extremidades (tanto las superiores como las inferiores), por lo que los huesos que conforman los miembros superiores (MMSS) y los miembros inferiores (MMII), están unidos a través de articulaciones mucho más móviles que los huesos que conforman el esqueleto axial, el cual tiene una función más tendiente a la estabilidad, protección de órganos

internos de vital importancia y mantenimiento de posturas como la bípeda, la sedente, entre otras. De igual forma, los movimientos que se registren en las articulaciones que unen a los huesos, tanto en el esqueleto apendicular como en el esqueleto axial, son registrados y comentados a partir de los sistemas de referencia anteriormente explicados en este apartado y que serán comentados con mayor detalle más adelante.

Descriptores anatómicos de movimiento

Una correcta descripción del movimiento o localización anatómica está muy relacionada con el uso de una terminología que ya es ampliamente reconocida y válida para tal fin. Esta terminología es la que los profesionales en el movimiento corporal utilizan con el fin de unificar las percepciones que sobre movimiento se hacen, ubicadas todas ellas dentro de los sistemas de referencia ya establecidos para tal fin (planos y ejes corporales).

El término *medial* hace referencia a una posición anatómica relativamente más cercana a la línea media del cuerpo, o a un cambio de posición en dirección a la línea media del cuerpo. Por el contrario, el término *lateral*, describe una posición relativamente más alejada de la línea media del cuerpo o de un objeto que se aleja de esta línea media (ver figura 9).

Los términos proximal y distal se utilizan para describir la posición relativa con respecto a un punto de referencia. El término *proximal* se refiere a la posición más cercana al punto de referencia y el término *distal* se refiere a la más lejana. Por ejemplo, la articulación del codo es proximal al tronco, en tanto que la articulación de la muñeca es distal al mismo (ver figura 9).

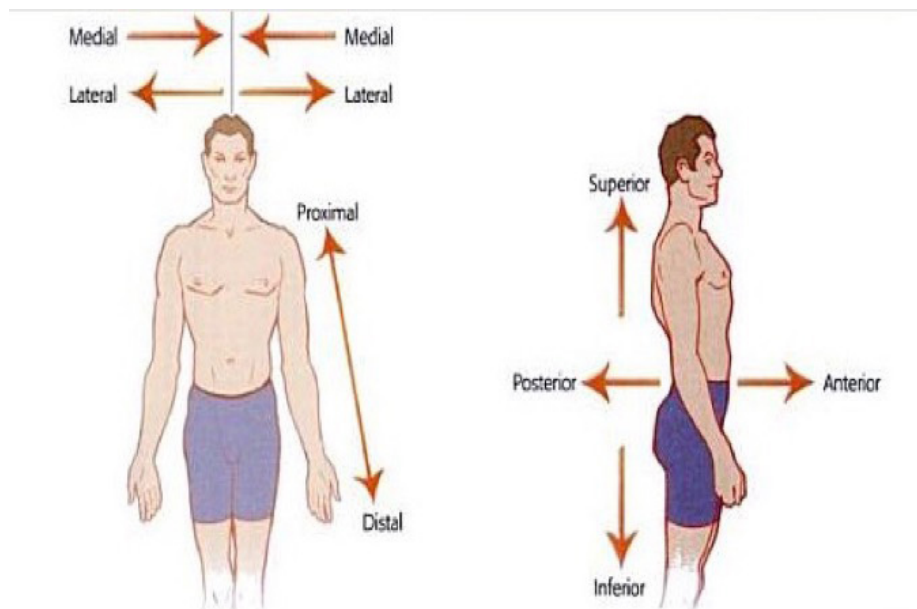
Un segmento o punto anatómico también puede situarse en la parte superior del cuerpo, cercano a la posición de la cabeza, o en la parte inferior, cercano a la posición de los pies. En consecuencia, la cabeza está en una posición superior al tronco y el tronco en una posición superior al muslo. El trocánter mayor del fémur está situado en la parte superior del fémur, mientras que el epicóndilo medial del húmero se sitúa en la parte inferior del húmero (ver figura 9).

La localización de un movimiento relativo al frente o en la espalda se denomina como *anterior* y *posterior* (respectivamente). Así, el bíceps crural se sitúa en la parte anterior del brazo, mientras que el tríceps lo hace en la parte posterior. Cuando se hace una localización en el cuerpo humano, el término

anterior también es sinónimo de *ventral*, mientras que *posterior* se relaciona con la parte *dorsal*.

Para hacer referencia a una actividad motriz o a la posición de un segmento corporal que se sitúa como punto de referencia en la misma parte del cuerpo, se utiliza el término de *ipsolateral*. Los segmentos o movimientos realizados en el lado contrario al punto de referencia, utilizan el término del *contralateral* (Moore, 2007; Aguilar, 2000; Hamill, 2017).

Figura 9. Algunos de los términos de referencia del movimiento generado por los segmentos corporales y las articulaciones



Fuente: tomado de Izquierdo (2007).

Movimientos registrados por cada plano y por cada eje

En este apartado se definirán los movimientos que el cuerpo puede realizar (por segmentos y articulaciones), para posteriormente relacionarlos con su correspondiente plano y eje corporal.

- Flexión: se define como el movimiento de aproximación de dos huesos, gracias a la acción articular y muscular que lo permite.

- Extensión: se define como el movimiento opuesto a la flexión, en donde dos huesos se alejan el uno del otro, debido a la acción muscular y articular que así lo permite.
- Abducción: se define como el movimiento en donde un segmento corporal se aleja de la línea media del mismo.
- Aducción: se define como el movimiento opuesto a la abducción, en donde un segmento del cuerpo se acerca a la línea media.
- Rotación externa: cuando una articulación o segmento gira hacia lateral.
- Rotación interna: cuando una articulación o segmento gira hacia medial.
- Rotación axial: cuando un segmento corporal o una articulación gira sobre su propio eje longitudinal o vertical.
- Pronación: movimiento concreto de rotación del antebrazo, que sitúa la mano con el dorso hacia arriba.
- Supinación: movimiento concreto de rotación del antebrazo que sitúa la mano con la palma de la mano hacia arriba.
- Eversión: movimiento concreto del tobillo con desplazamiento hacia lateral (la punta del pie apunta hacia lateral, con respecto al movimiento del tobillo).
- Inversión: movimiento concreto del tobillo con desplazamiento hacia medial (la punta del pie apunta hacia medial, con respecto al movimiento del tobillo).
- Flexión lateral: movimiento realizado por el tronco o el cuello, en donde, a partir de una posición neutra, se dirige o se inclina hacia un lado (derecho o izquierdo).
- Desviación cubital: movimiento propio de la muñeca, que se desplaza apuntando el quinto dedo de la mano en el sentido ipsilateral de la ubicación del cúbito.
- Desviación radial: movimiento propio de la muñeca, que se desplaza apuntando el primer dedo de la mano en el sentido ipsilateral a la ubicación del radio (Moore, 2007; Hamill, 2017).

En la siguiente tabla se presentan los movimientos registrados por cada plano y eje corporal.

Tabla 4. Movimientos articulares registrados por plano y eje

Movimiento registrado	Plano sistema de referencia del movimiento	Eje sistema de referencia del movimiento
Flexión	Sagital (mediano)	Eje latero-lateral o frontal horizontal
Extensión		
Abducción	Coronal (frontal)	Eje antero-posterior o sagital horizontal
Aducción		
Flexión lateral		
Eversión		
inversión		
Desviación cubital		
Desviación radial		
Rotación externa		
Rotación interna		
Rotación axial		
Pronación		
Supinación		

Fuente: elaboración propia.

Unidades de medida según el (SI), factores de conversión y tabla de múltiplos y submúltiplos de la unidad

Cuando el objetivo fundamental es el de realizar análisis de gestos de movimiento (en este caso, análisis de gestos deportivos variados), parte del análisis se basa en las mediciones que se hacen previamente de muchas de las características que se observan en el desarrollo de las distintas praxias de movimiento, y que son susceptibles de ser medidas, asignándoles un valor cuantitativo acompañado de la correspondiente unidad de medida.

De acuerdo con el diccionario de la Real Academia del Lengua Española (RAE), *medir* se define como “comparar una cantidad con su correspondiente unidad, con el fin de averiguar cuántas veces la segunda está contenida en la primera (...), tener determinada dimensión, ser de determinada altura, longitud, superficie, volumen o estar contenido en cualquier otra magnitud física ya determinada”. Esta definición brinda criterios a la hora de realizar procesos de medición dentro de los análisis de movimiento, lo cual brinda orientaciones para que dichas mediciones sean realizadas y así obtener resultados acogidos a un sistema estándar o de referencia para las mediciones realizadas, basado en las principales magnitudes físicas que pueden ser medidas y que para este caso en particular, harán parte importante de los procesos de análisis de praxias deportivas.

Teniendo en cuenta lo anterior, a continuación se describirá el Sistema Internacional de Medidas que universalmente es reconocido y aceptado como aquél sistema estándar para acoger a las diversas magnitudes físicas con sus correspondientes unidades de medida, al hacer una previa descripción de los términos relacionados de magnitud física (más su clasificación, la cual será tratada en apartados posteriores de este libro) y la definición de unidades de medida, cuya clasificación será desarrollada con el Sistema Internacional de Medidas (SI). Asimismo, se hará un breve recuento histórico acerca del origen

del SI, se mostrarán los principales factores de conversión para unidades de medida entre una misma magnitud física y la tabla de múltiplos y submúltiplos de una unidad de medida.

Términos clave

- **Magnitud física:** se define como una propiedad o cualidad medible de un sistema físico a la que se le pueden asignar distintos valores como resultado de una medición. Las magnitudes físicas se miden usando un patrón que tenga bien definida esa magnitud, y tomando como unidad la cantidad de esa propiedad que posea el objeto patrón. Por ejemplo, se considera que el patrón principal de longitud es el metro en el Sistema Internacional de Unidades. Las primeras magnitudes definidas estaban relacionadas con la medición de longitudes, áreas, volúmenes, masas patrón, y la duración de periodos de tiempo. Existen magnitudes básicas y derivadas, y constituyen ejemplos de magnitudes físicas: la masa, la longitud, el tiempo, la carga eléctrica, la densidad, la temperatura, la velocidad, la aceleración, y la energía. En términos generales, es toda propiedad de los cuerpos que puede ser medida. De lo dicho se desprende la importancia fundamental del instrumento de medición en la definición de la magnitud (Douglas, 2007; Mc Donald, 2005; Cromer, 2007).
- **Unidad de medida:** es una cantidad estandarizada de una determinada magnitud física. En general, una unidad de medida toma su valor a partir de un patrón o de una composición de otras unidades definidas previamente. Las primeras unidades se conocen como unidades básicas o de base (fundamentales), mientras que las segundas se llaman unidades derivadas. Un conjunto de unidades de medida en el que ninguna magnitud tenga más de una unidad asociada es denominado sistema de unidades. Todas las unidades denotan cantidades escalares. En el caso de las magnitudes vectoriales, se interpreta que cada uno de los componentes está expresado en la unidad indicada (Douglas, 2007; Mc Donald, 2005; Cromer, 2007).

El Sistema Métrico Internacional (SI)

El Sistema Internacional de las Unidades (SI), el sistema métrico, ha evolucionado hacia el sistema más preciso de las medidas ideado. En este apartado del libro se describirán las unidades de medida del SI que más se utilizan en el análisis del movimiento corporal, relacionadas con la mecánica (más concretamente con la biomecánica):

Unidades de base

Las unidades del SI pueden clasificarse en tres grupos: a) las unidades de base, b) las unidades suplementarias, c) las unidades compuestas o derivadas (ver figura 10). Las unidades de base son un pequeño grupo de medidas estándar que han sido definidas más bien en forma arbitraria. La unidad base para la longitud es el metro (m), y la unidad base para la masa es el kilogramo (kg). La unidad base para el tiempo es el segundo (s) y para la temperatura es el grado Kelvin (K). Las definiciones de las unidades base se han ido perfeccionando a medida que el SI ha ido enriqueciéndose y complementándose, de acuerdo con las necesidades crecientes y a las capacidades de la comunidad científica que propende por los avances del SI.

Unidades suplementarias

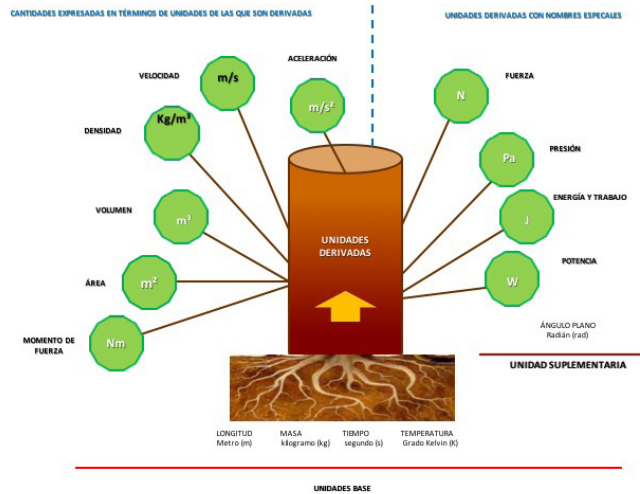
El radián (rad) es una unidad suplementaria para medir ángulos planos. Esta unidad, como las unidades básicas, también ha sido definida en forma arbitraria. Aunque el radian es una unidad SI para el ángulo plano, la unidad del grado ha sido mantenida para el uso más general debido a que está firmemente establecida y se usa ampliamente en todo el mundo. Un grado es equivalente a $\pi/180$ rad.

Unidades derivadas o combinadas

La mayoría de las unidades del sistema SI son unidades derivadas, esto significa que son establecidas a partir de las unidades de base, en relación con los principios físicos fundamentales. Algunas de estas unidades se expresan en términos de unidades base de las que se derivan. Algunos ejemplos concretos de este tipo de unidades son el área de superficie, la velocidad y la aceleración, que se expresan en las unidades SI de metros cuadrados

(m²), metros por segundo (m/s), y metros por segundo al cuadrado (m/s²) respectivamente (Douglas, 2007; Mc Donald, 2005; Cromer, 2007).

Figura 10. Árbol que muestra el orden de las unidades de medida: Básicas, suplementarias y derivadas.



Unidades nombradas especialmente

Otras unidades derivadas se establecen de manera similar, a partir de las unidades de base, aunque se les ha dado nombres especiales (tabla 5). Estas unidades se definen a través del uso de ecuaciones fundamentales de leyes físicas, conjuntamente con las unidades de base SI definidas anteriormente en forma arbitraria. Por ejemplo, la segunda ley de Newton del movimiento, establece que cuando un cuerpo que se mueve libremente es sometido a una fuerza, experimentará una aceleración proporcional a esa fuerza e inversamente proporcional a su propia masa. Matemáticamente, este principio puede ser expresado de la siguiente forma:

$$\text{Fuerza} = \text{masa} \times \text{aceleración}$$

La unidad SI de la Fuerza, el Newton (N), se define por lo tanto en términos de las unidades del SI como:

$$1\text{N} = 1\text{kg} \times 1\text{m/s}^2$$

La unidad SI de la presión, es el Pascal (Pa). La presión se define en hidrostática como la fuerza dividida por el área de aplicación de la fuerza. Matemáticamente esto puede ser expresado como:

$$1Pa = 1N/1m^2$$

Aunque la unidad base en el SI de la temperatura es el grado Kelvin, la unidad derivada, el grado Celsius (°C), es usado mucho más comúnmente. El grado Celsius es equivalente al grado Kelvin en magnitud, pero el valor absoluto de la escala Celsius difiere del de la escala Kelvin, de modo que °C = °K – 273.15.

Cuando se usa el sistema SI en una amplia variedad de medidas, las cantidades expresadas en términos de unidades base, suplementarias y derivadas, pueden ser o muy grandes o muy pequeñas. Por ejemplo, el área de la cabeza de un alfiler es una cantidad extremadamente pequeña, si se expresa en términos de metros cuadrados. Por el contrario, el peso de un auto genera un resultado bastante grande en número si se expresa en términos de Newton. Para poder generar resultados que se acomoden a resultados más convenientes, y que no queden expresados en la forma tan pequeña o tan grande. De esta forma, con el fin de poder representar las mediciones realizadas a diversas magnitudes físicas, se ha creado lo que se conoce como la tabla de múltiplos y submúltiplos de la unidad de medida (tabla 5). Esta tabla está compuesta por varios criterios básicos, como los prefijos que acompañan a la unidad de medida, expresando si es múltiplo o submúltiplo. De igual forma, cada uno de los múltiplos y submúltiplos está expresado tanto en números decimales como números de potencias de 10. Cuando se usa el nombre de la unidad, el prefijo indica que la cantidad descrita está siendo expresada en algún múltiplo de 10 veces la unidad usada. Por ejemplo, el milímetro (mm) se usa para representar una milésima parte (10^{-3}) de un metro y un Gigapascal (Gpa) se usa para expresar un billón (10^9) de pascales (Douglas, 2007; Mc Donald, 2005; Cromer, 2007).

Tabla 5. Definiciones de unidades del SI.

Unidades base del SI	
Metro (m)	El metro es la longitud igual a 1650763.73 longitudes de onda en vacío de la radiación, correspondiente a la transición entre los niveles $2p_{10}$ y $5d_3$ del átomo de criptón – 86.
Kilogramo (kg)	El kilogramo es la unidad de masa y es igual a la masa del prototipo internacional del kilogramo.
Segundo (s)	El segundo es la duración de 9192631.770 periodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado natural del átomo de cesio – 133.
Kelvin (K)	El Kelvin, una unidad de temperatura termodinámica, es la fracción $1/273.16$ de la temperatura termodinámica del punto triple del agua.
Unidad suplementaria del SI	
Radián (rad)	El radián es la medida de un ángulo plano central comprendido entre dos radios que abarcan un arco de longitud igual al radio con el que ha sido trazado.
Unidades derivadas del SI con nombres especiales	
Newton (N)	El Newton es la fuerza que, aplicada a una masa de 1 kilogramo, proporciona a esta una aceleración de 1 metro por segundo al cuadrado. $1\text{N} = 1\text{kg m/s}^2$.
Pascal (Pa)	El pascal es la presión producida por la aplicación de una fuerza de un Newton, con distribución uniforme, sobre un área de un metro cuadrado. $1\text{Pa} = 1\text{ N /m}^2$.
Julio (J)	El julio es la medida del trabajo realizado cuando el punto de aplicación de una fuerza de 1 Newton se desplaza a lo largo de una distancia de un metro en la dirección de una fuerza $1\text{J} = 1\text{ Nm}$.
Vatio (W)	El Vatio es la potencia que en un segundo origina a energía de 1 Julio. $1\text{ W} = 1\text{J/s}$.
Grado Celsius (°C)	El grado Celsius es una de las unidades de temperatura termodinámica equivalente a $^{\circ}\text{K} = 273.15$.

Fuente: tomado y modificado de Douglas (2007).

Unidades estándar nombradas por los científicos

Uno de los aspectos más interesantes del sistema SI es su uso por los nombres de famosos científicos como unidades estándar. En cada caso, la unidad era nombrada como reconocimiento a la contribución de un científico en el campo en el que esta unidad desempeña un papel fundamental. La tabla 6 muestra las unidades SI y el científico por el que han sido nombradas. Por ejemplo, el Newton se nombró en honor del científico inglés Sir Isaac Newton (1624–1727). Fue educado en el Trinity College en Cambridge, y más tarde retornó a su escuela de formación como profesor de matemáticas. Muy temprano este importante científico realizó importantes contribuciones a las matemáticas, que hicieron parte del cálculo diferencial e integral (Douglas, 2007; Mc Donald, 2005; Cromer, 2007).

Tabla 6. Múltiplos y submúltiplos de la unidad de medida, de acuerdo con el SI

Factor de multiplicación	Prefijo del SI	Símbolo del SI
1.000.000.000 (10^9)	Giga	G
1.000.000 (10^6)	Mega	M
1.000 (10^3)	Kilo	K
100 (10^2)	Hecto	H
10 (10^1)	Deca	D
0.1 (10^{-1})	Centi	C
0,001 (10^{-3})	Mili	m
0.000.001 (10^{-6})	Micro	μ
0.000.000.001 (10^{-9})	Nano	N
0.000.000.000.001 (10^{-12})	Pico	P
0.000.000.000.000.001 (10^{-15})	Femto	F
0.000.000.000.000.000.001 (10^{-18})	Atto	A

Fuente: tomado y modificado de Douglas (2007).

El resto de las principales contribuciones fueron hechas en los campos de la óptica, la astronomía, la gravitación y la mecánica. Su trabajo en la gravitación fue significativamente alentador, por ser golpeado en la cabeza por una manzana cayendo de un árbol. Es, quizás, justicia poética, que la unidad s_1 de un Newton sea aproximadamente equivalente al peso de una manzana de tamaño medio. Newton fue nombrado caballero en 1705 por la reina María, gracias a sus monumentales contribuciones a la ciencia.

La unidad de presión y sollicitación, el pascal, fue establecida por el físico, matemático y filósofo francés Blaise Pascal (1623–1662), quien dirigió importantes investigaciones sobre las características de los vacíos y barómetros, también inventó una máquina que haría cálculos matemáticos. Su trabajo en el área de la hidrostática ayudó a trazar las bases para el posterior desarrollo de estos campos científicos. Además de los méritos científicos alcanzados, Pascal, estaba apasionadamente interesado en la religión y la filosofía y escribió sobre una amplia gama de temas.

La unidad base de la temperatura, el kelvin, fue nombrado de esta forma en honor de lord William Thomson Kelvin (1824–1907). Fue educado en la universidad de Glasgow y en la Universidad de Cambridge. Pronto en su carrera, Thomson investigó acerca de las propiedades termales del vapor en un laboratorio científico en París. A la edad de 32 años, volvió a Glasgow y aceptó la cátedra de filosofía natural. Su encuentro con James Joule en 1847 estimuló debates interesantes sobre la naturaleza del calor, que finalmente llevaron al establecimiento de la escala absoluta de la temperatura de Thomson, la escala Kelvin. En reconocimiento a las contribuciones de Thomson al campo de la termodinámica, el rey Eduardo VII le confirió el título de lord Kelvin (Douglas, 2007; Mc Donald, 2005; Cromer, 2007).

Tabla 7. Unidades de medida incluidas en el s_1 , que han sido nombradas por científicos.

Símbolo	Unidad	Cantidad/ magnitud física	Científico	País de nacimiento	Fecha
A	Amperio	Corriente eléctrica	Ampere, André	Francia	1775-1836
C	Culombio	Carga eléctrica	Coulomb, Charles Agustín de	Francia	1736-1806
°C	Grado Celsius	Temperatura	Celsius, Anders	Suecia	1701-1744
F	Faradio	Capacidad eléctrica	Faraday, Michael	Inglaterra	1791-1867
H	Henrio	Resistencia inductiva	Henry, Joseph	Estados Unidos	1797-1878

Hz	Hercio	Frecuencia	Hertz	Alemania	1857-1894
J	Julio	Energía	Joule, James Prescott	Inglaterra	1818-1889
N	Newton	Fuerza	Newton, Sir Isaac	Inglaterra	1643-1727
Ω	Ohm	Resistencia	Ohm, Georg Simon	Inglaterra	1789-1854
Pa	Pascal	Presión/solicitación	Pascal, Blaise	Francia	1623-1662
S	Siemens	Conductancia eléctrica	Siemens, Karl Wilhelm (Sir William)	Alemania e Inglaterra	1823-1883
T	Tesla	Densidad de flujo magnético	Tesla, Nikola	Croacia	1856-1943
V	Voltio	Potencial eléctrico	Volta, Count Alessandro	Italia	1745-1827
W	Vatio	Potencia	Watt, James	Escocia	1736-1819
Wb	Weber	Flujo magnético	Weber, Wilhelm Eduard	Alemania	1804-1891

Fuente: tomado y modificado de Douglas (2007).

La unidad comúnmente usada de temperatura, el grado Celsius, fue nombrado así por el astrónomo e inventor Anders Celsius (1701-1744). Celsius fue designado profesor de astronomía de la Universidad de Uppsala a la edad de 29 años y permaneció en la Universidad hasta su muerte, catorce años después. En 1742 describió el termómetro centígrado en un documento preparado por la Swedish Academy of Sciences. El nombre de la escala centígrada de temperatura fue cambiada oficialmente a Celsius en 1948.

Tabla 8. Algunos de los factores de conversión más utilizados

Conversión de unidades	
<p>LONGITUD</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 1 centímetro (cm) = 0,01 metros (m) ▶ 1 pulgada (p) = 0,0254 m ▶ 1 pie (pie) = 0,3048 m ▶ 1 yarda (A) = 10-10 m 	<p>MOMENTO (Torque)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 1 din-cm = 10⁻² N-m ▶ 1 lb-pie = 1,356 N-m

<p>TIEMPO</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 1 minuto (min)= 60 segundos (s) ▶ 1 hora (h)= 3600 s ▶ 1 día (d)= 86400 s 	<p>TRABAJO Y ENERGÍA</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 1 kg-m²/s² = 1 N-m = 1 Julio (J) ▶ 1 din-cm = 1 ergio = 10⁻² J ▶ 1 lb-pie= 1,356 J
<p>MASA</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 1 libra (1 lb)= 0,4536 kilogramos (kg) ▶ 1 lingote (14,59 kg) 	<p>POTENCIA</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 1 kg-m²/s² = 1J/s = 1 Vatio (W) ▶ 1 caballo de potencia (cv) = 550 lb-pie/s = 746W
<p>FUERZA</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 1 kilogramo fuerza (kgf)= 9.807 Newton (N) ▶ 1 libra fuerza (lbf)= 4,448 N ▶ 1 dina (din)= 10⁻⁵ N 	<p>ÁNGULO PLANO</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 1 grado (°) = $\pi/180$ radianes (rad) ▶ 1 revolución (rev) = 360° ▶ 1 rev= 2π rad= 6,283 rad
<p>PRESIÓN Y SOLICITACIÓN</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 1kg/m-s²= 1 N/m² ▶ 1lb/in² (psi) = 6896 Pa ▶ 1 lb /ft² (psf) = 92966 Pa ▶ 1 din/cm² = 0,1 Pa 	<p>TEMPERATURA</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ °C= °K – 273,16 ▶ °C= 5 (°F- 32)/9

Fuente: tomado y modificado de Douglas (2007).

Conversión de otras unidades de medida al SI

La tabla 8 contiene de los factores de conversión de algunas unidades de medida, para las magnitudes físicas más comunes, la mayor parte de ellas contenidas en el SI. El origen fundamental de la confusión para la conversión de un sistema a otro, es que existen dos tipos básicos de sistemas de medida. En un sistema *físico* (como pasa con el SI), las unidades de longitud, tiempo y masa son arbitrariamente definidas y otras unidades (incluyendo la fuerza), se derivan de estas unidades de base. En los sistemas *técnicos* o *gravitacionales* (como el sistema inglés), las unidades de longitud, tiempo y fuerza se definen arbitrariamente y otras unidades (incluyendo la masa), se derivan de estas unidades base. Debido a que las unidades de fuerza en los sistemas gravitacionales son de hecho los pesos de las masas estándar, la conversión

al si depende de la aceleración de la masa debida a la gravedad de la Tierra (Douglas, 2007; Mc Donald, 2005; Cromer, 2007).

Por convenio internacional, la aceleración debida a la gravedad es igual a $9,806650\text{m/s}^2$. Este valor ha sido utilizado para establecer algunos de los factores de conversión que se han evidenciado en la tabla 8.

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:

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

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:

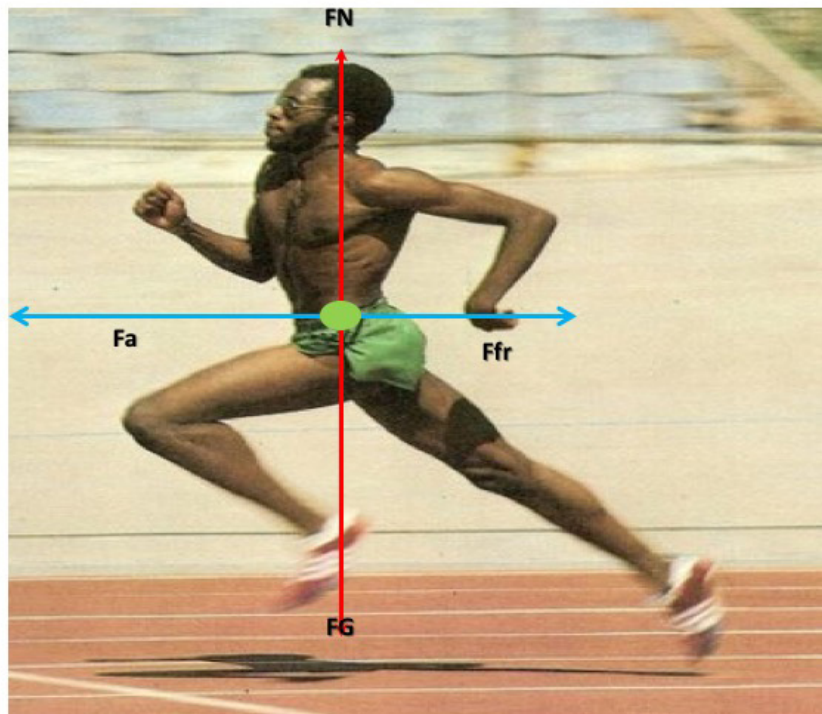
Una fuerza siempre es aplicada por un cuerpo sobre otro, de esta forma, cada vez que se pretenda modificar el estado de reposo o de movimiento sobre un objeto, debe ser otro cuerpo quien ejerza dicha fuerza *modificadora*. Un ejemplo de esta situación se puede observar en la figura 11, en donde el atleta 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 (°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.

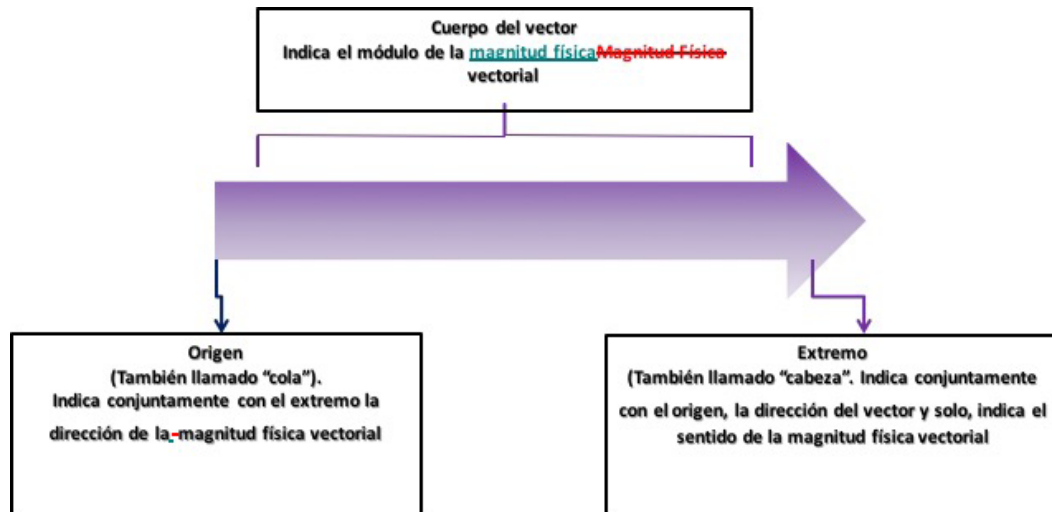
Definición de vector: ¿qué es?, ¿para qué sirve?

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

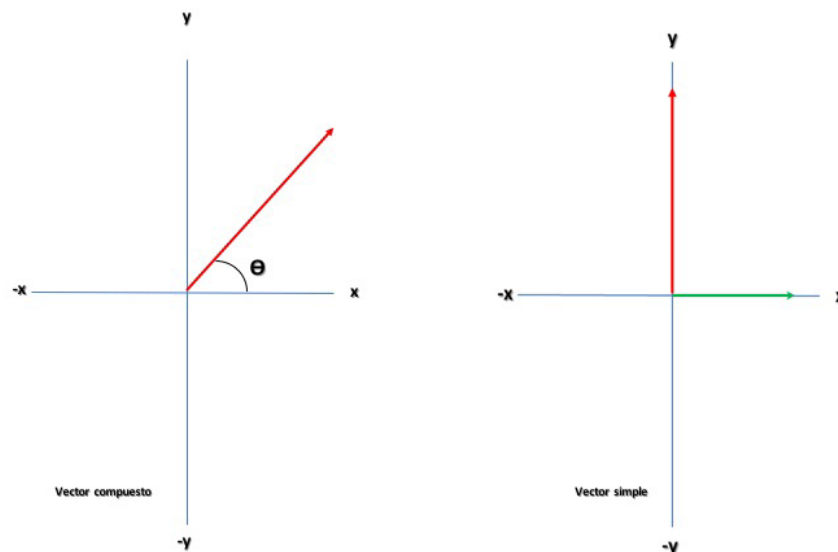


De igual forma, los vectores que son la representación gráfica de una magnitud física vectorial, se pueden clasificar de acuerdo a su ubicación en el sistema de referencia (en este caso, de acuerdo con su ubicación en un plano cartesiano o en un plano corporal). En ese sentido, si el vector se ubica 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:

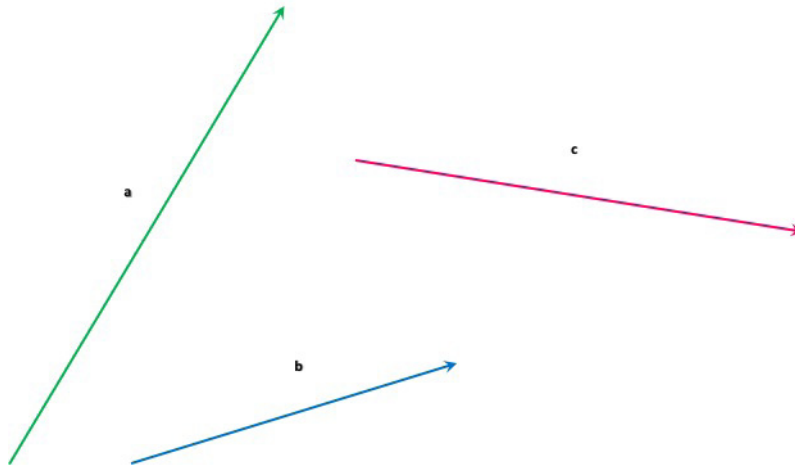
- Los vectores a sumar se deben disponer en parejas, uniendo cada vector con el que se va a sumar en una unión *cola–cola* (origen del primer vector con el origen del segundo vector a sumar).
- Los vectores que se sumarán bajo este método gráfico, generalmente no tendrán un módulo definido (es decir, 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.

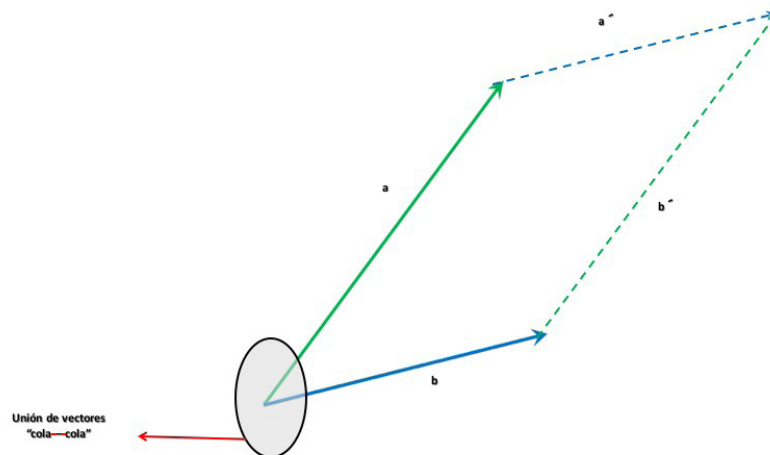
Para realizar una sumatoria mediante el método gráfico de vectores, primero se debe verificar que los vectores cumplan con el criterio básico para que se puedan sumar gráficamente, que es que no tengan un módulo o valor numérico, aunque sí deben tener un sentido y una dirección que a la hora de aplicar 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.

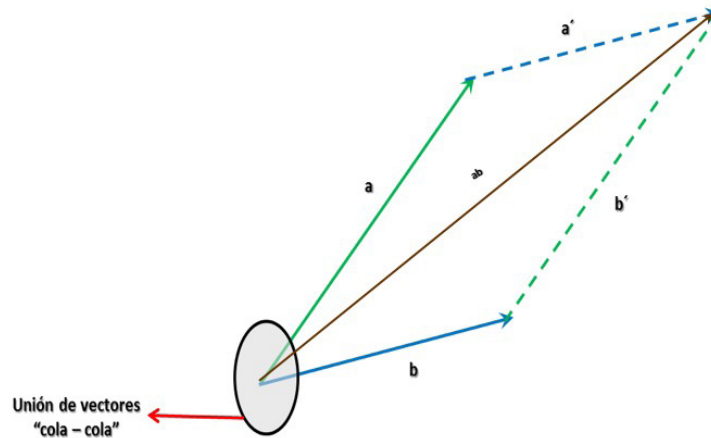
Posterior a la determinación de la pareja de sumatoria y con el paralelogramo establecido (como se observa en la figura 16), se puede obtener la resultante de dicha sumatoria, que quedará representada en el paralelogramo, por aquel vector que atraviesa en forma oblicua la estructura del paralelogramo, 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' .

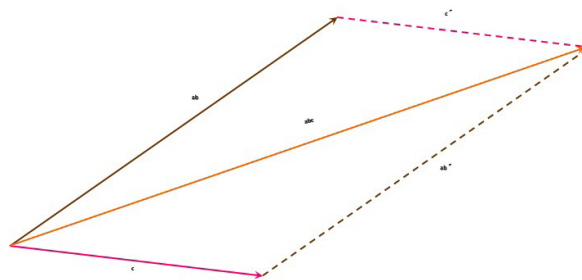
Figura 17. Vector resultante de la sumatoria gráfica de los dos vectores a y b



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:

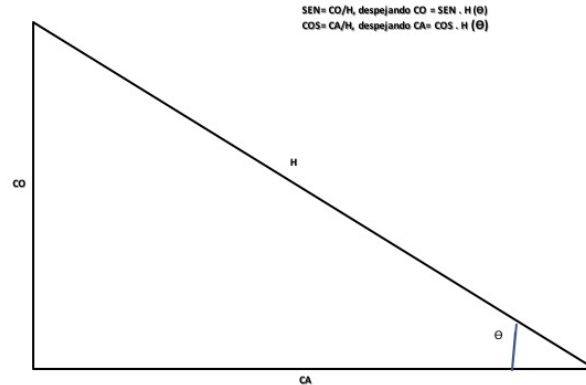
El método matemático de sumatoria de vectores a partir del método de los componentes solo permite tratar desde un punto de vista matemático y gráfico, vectores compuestos (como el que se muestra en la figura 25A. Por definición, el método de los componentes solo realiza operaciones con vectores compuestos, 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 c_1 (componente 1) del vector compuesto, ubicado sobre el eje X, mientras que el cateto opuesto (CO), siempre será el c_2 (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 $c_1 = a$ vector componente sobre X (vector con sentido hacia adelante) y $c_2 = a$ 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): $\text{COS } \theta$. (valor en N del vector compuesto)

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

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

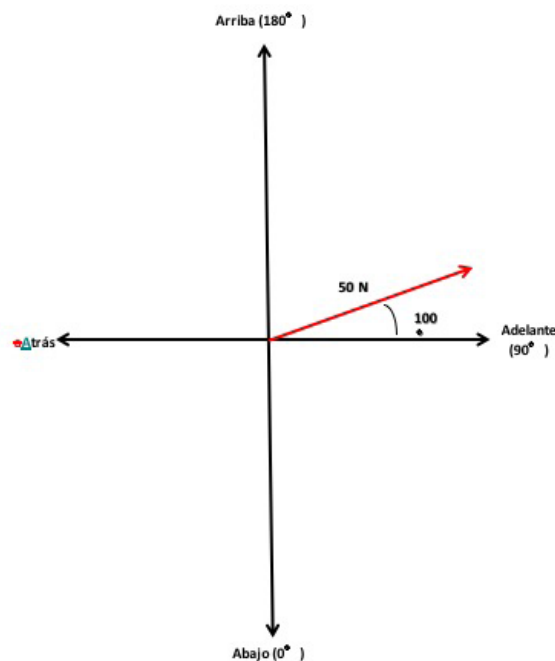
Para c_2 (vector componente en y): $\text{SEN } \theta$. (valor en N del vector compuesto)

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

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

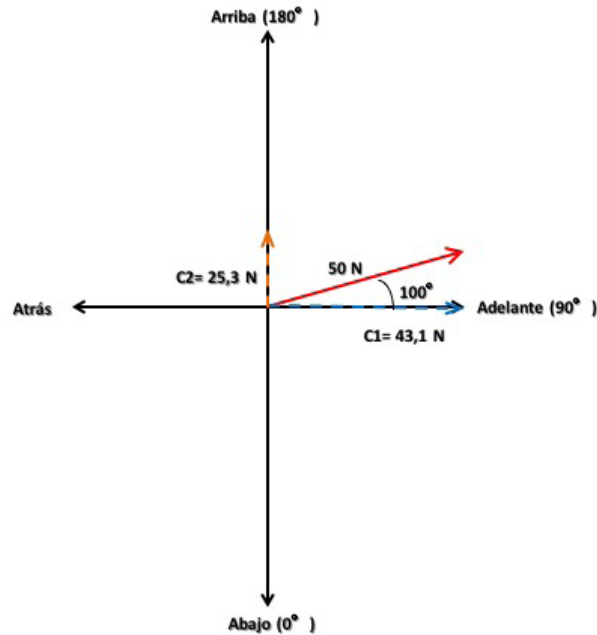
De esta forma, se obtiene el valor para cada uno de los vectores componentes, provenientes del vector compuesto inicial. Los vectores componentes con su valor correspondiente, hacen parte de la figura 20.

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

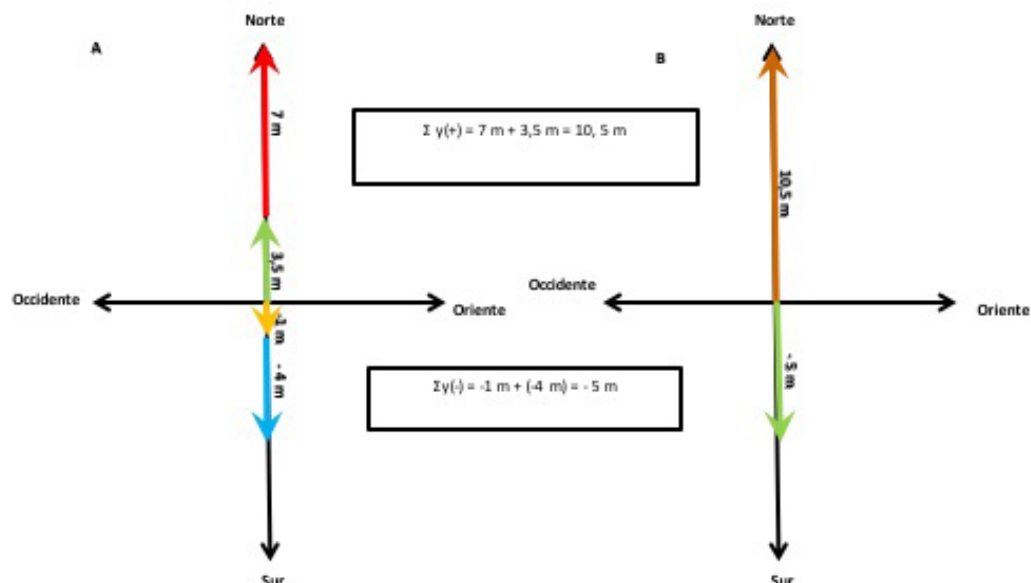
De todos los métodos matemáticos que se contemplan para realizar operaciones con magnitudes físicas vectoriales, el aritmético es tal vez el más simple, pero no por eso, el más fácil de entender. Al igual que los demás métodos matemáticos de operaciones con magnitudes vectoriales, este método permite 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.

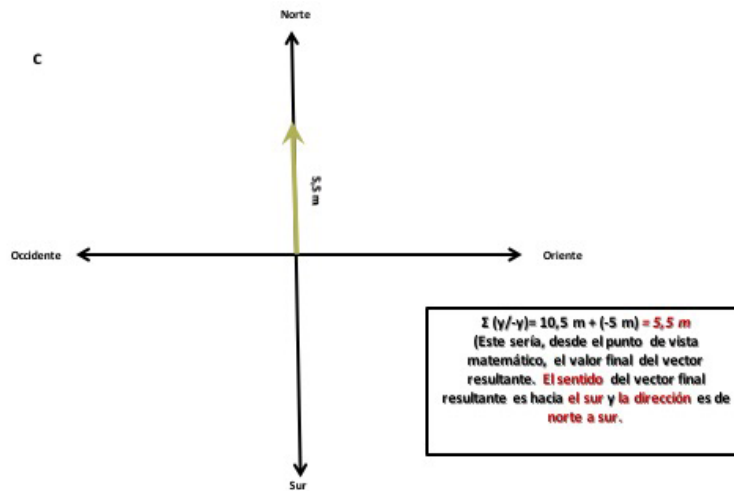
El método aritmético de operaciones con magnitudes vectoriales, tiene en cuenta al igual que los métodos que se han revisado hasta el momento, algunas “reglas” o características básicas, que serán descritas a continuación. La primera característica de este método es que se pueden sumar o restar tantos 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).

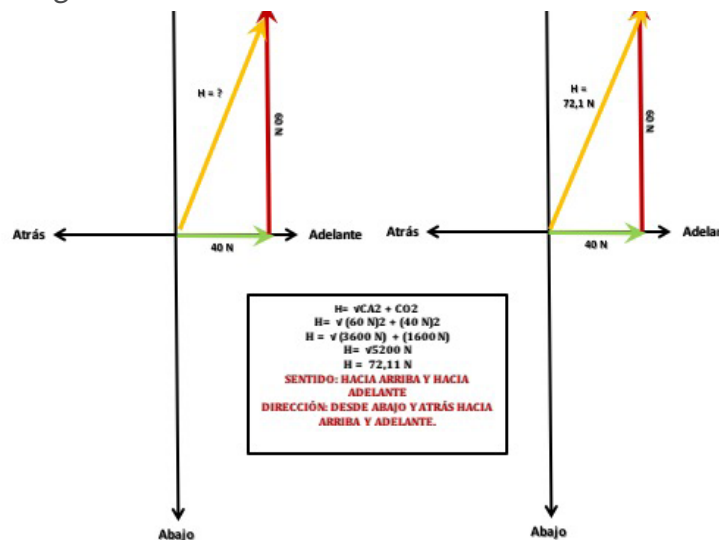
Procedimiento

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.

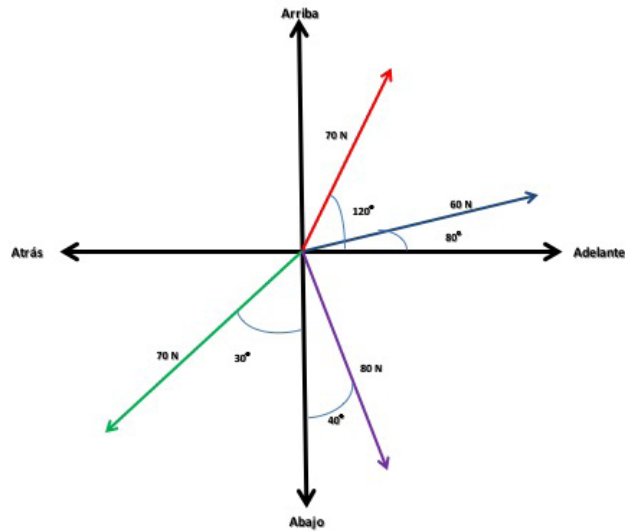
Resolución de sumatoria de vectores: combinación de métodos matemáticos (componentes, aritmético y teorema de Pitágoras)

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).

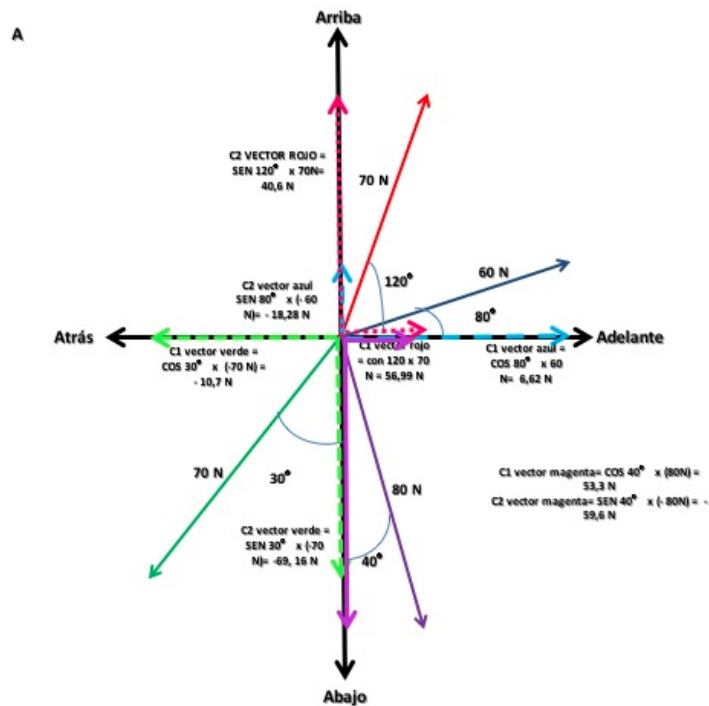
Como se puede observar en la figura 24, existen concretamente 4 vectores compuestos, los cuales se encuentran dispuestos en los cuadrantes I, III y IV del sistema de referencia. Para la sumatoria de estos vectores se debe hacer uso de los tres métodos matemáticos para la sumatoria de vectores, iniciando 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).

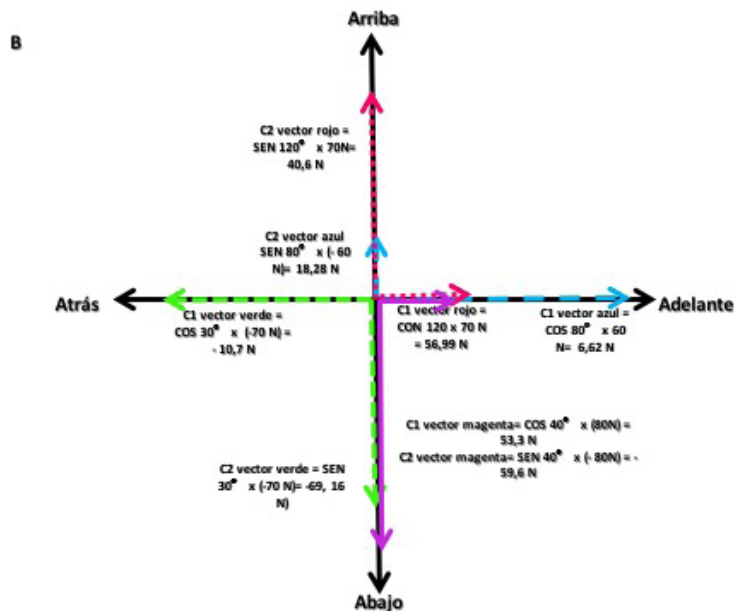
Figura 24. Plano sagital en el cual se ubican algunos vectores de fuerza de acción muscular, cada uno de ellos con su grado de inclinación con respecto al sistema de referencia y con la cantidad de fuerza (en newton) que realiza



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 del 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:

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

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

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

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

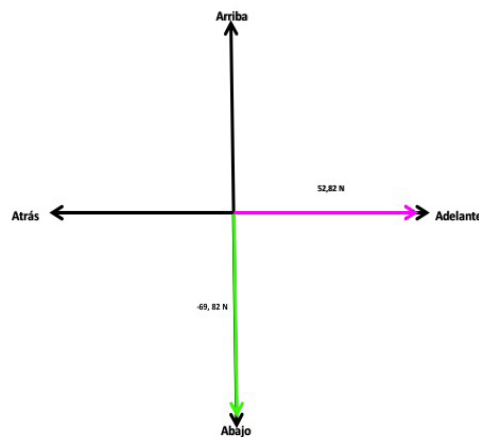
Y por sumatoria de cada eje completo, sería:

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

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

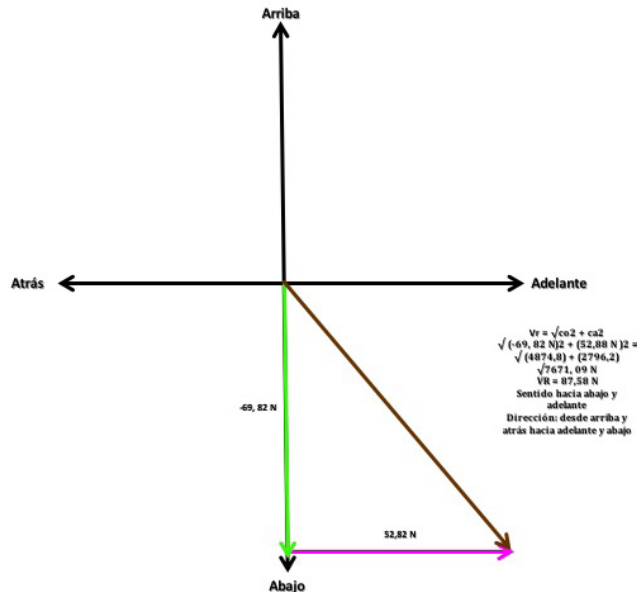
Una vez obtenidos los dos vectores resultantes finales, la figura 26 muestra el resultado gráfico de dichas operaciones matemáticas. Se observan dos vectores simples dispuestos formando un ángulo de 90° . Se cumplen los criterios para la aplicación del método matemático del teorema de Pitágoras. El criterio 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:

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

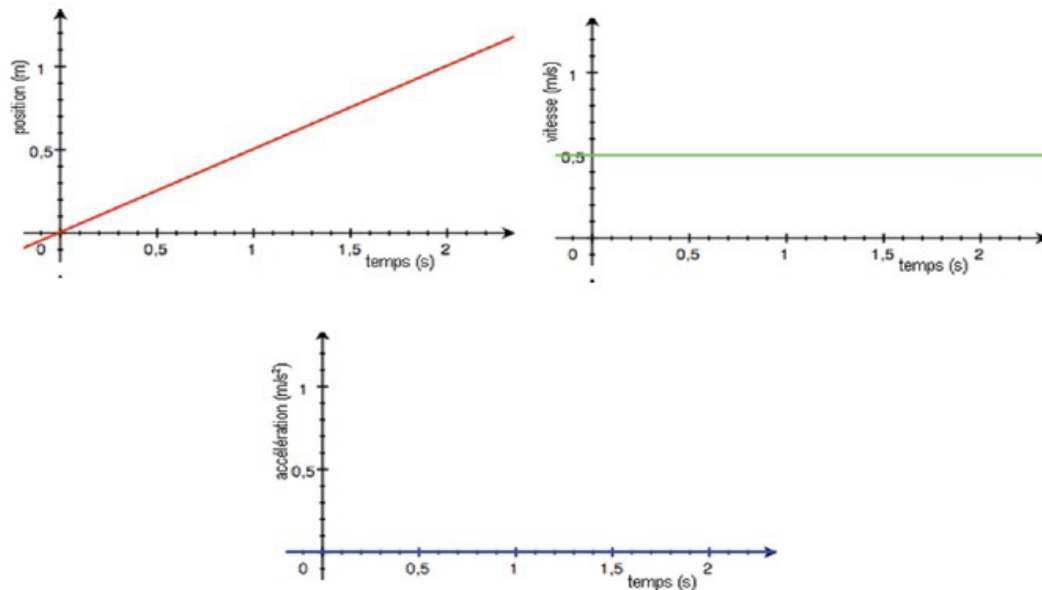
Esta relación también es aplicable si la trayectoria no es rectilínea, con tal que la rapidez o módulo de la velocidad sea constante en el llamado movimiento de un cuerpo. Al representar gráficamente la velocidad en función del tiempo se obtiene una recta paralela al eje de abscisas (tiempo). Además, 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 amplificadora, 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).

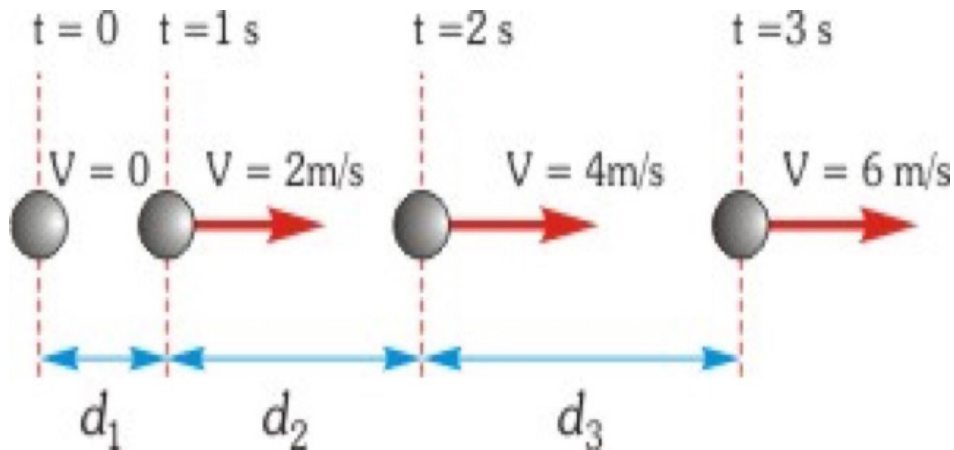
Movimiento rectilíneo uniformemente variado (MRUV)

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:

$$V_f = V_0 + at \quad (9)$$

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:

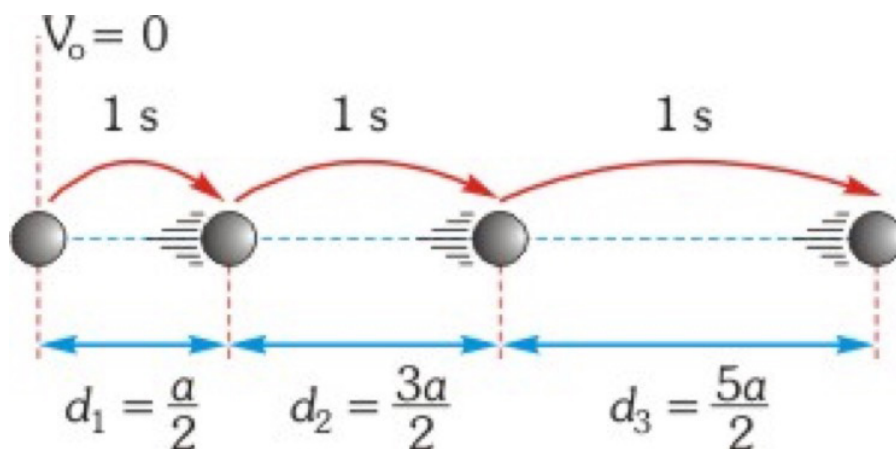
$$V_m = V_0 + V_f/2 \quad (10)$$

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:

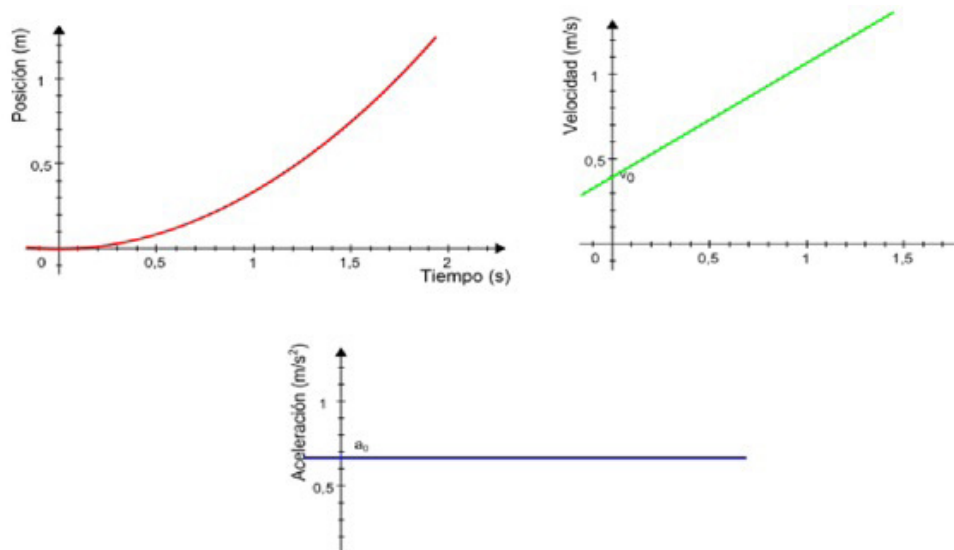
$$V(t) = at + V_0 \quad (13)$$

En donde V_0 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:

$$X(t) = \frac{1}{2} at^2 + V_0 t + x_0 \quad (14)$$

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

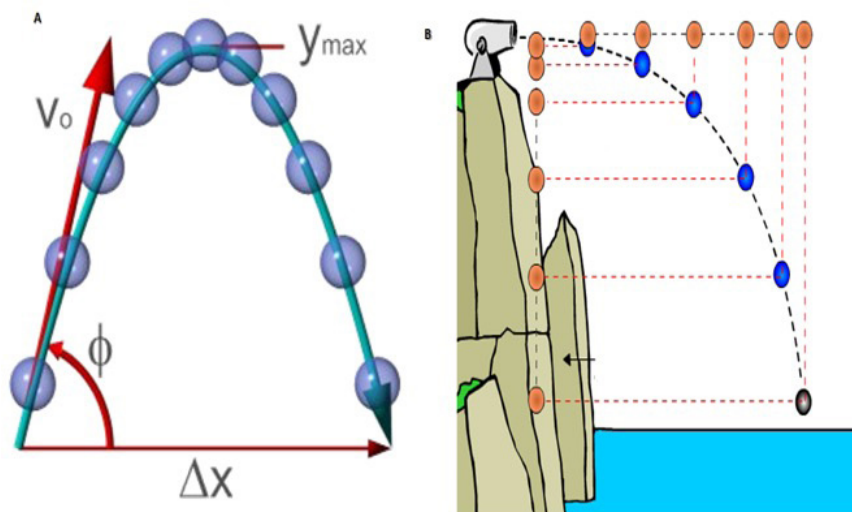
Tanto el movimiento semiparabólico como el movimiento parabólico se pueden clasificar dentro de lo que, desde la física, se denomina como movimiento en proyectil. A su vez, este tipo de movimiento siempre hace referencia al movimiento de un objeto que se arroja al aire o desde una altura específica, con cierto grado de inclinación (o ángulo). Algunos de los ejemplos más comunes del movimiento en proyectil son el lanzamiento de una pelota de béisbol, el cobro de un tiro libre en el fútbol, 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_{ox}) = 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:

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

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 $-1/2 gt^2$. 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

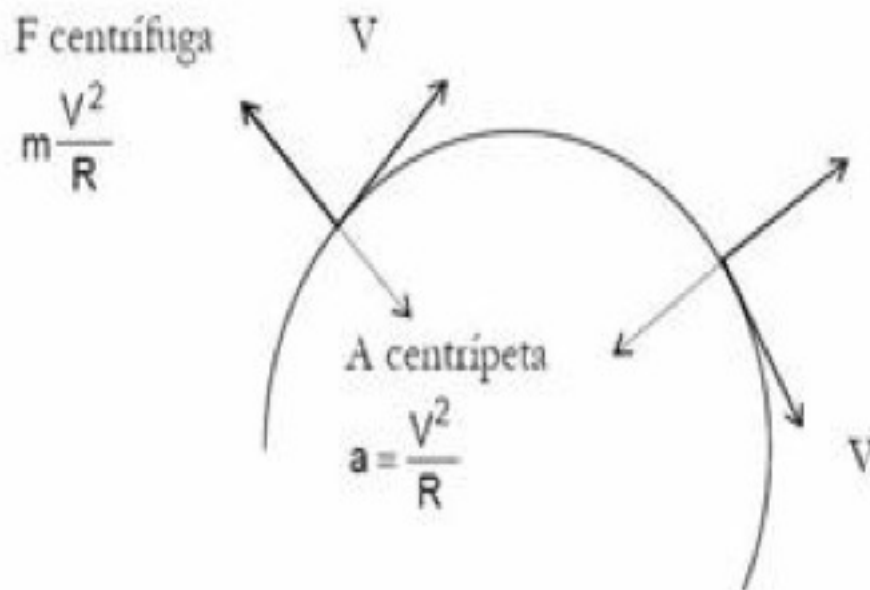
Anteriormente se mencionaba que la cinemática, como una de las ramas de mayor importancia en la mecánica, está a su vez dividida en dos ramas: a) la de la cinemática lineal o traslacional, que trata los movimientos de un cuerpo que describen una trayectoria rectilínea y b) la de la cinemática rotacional, 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).

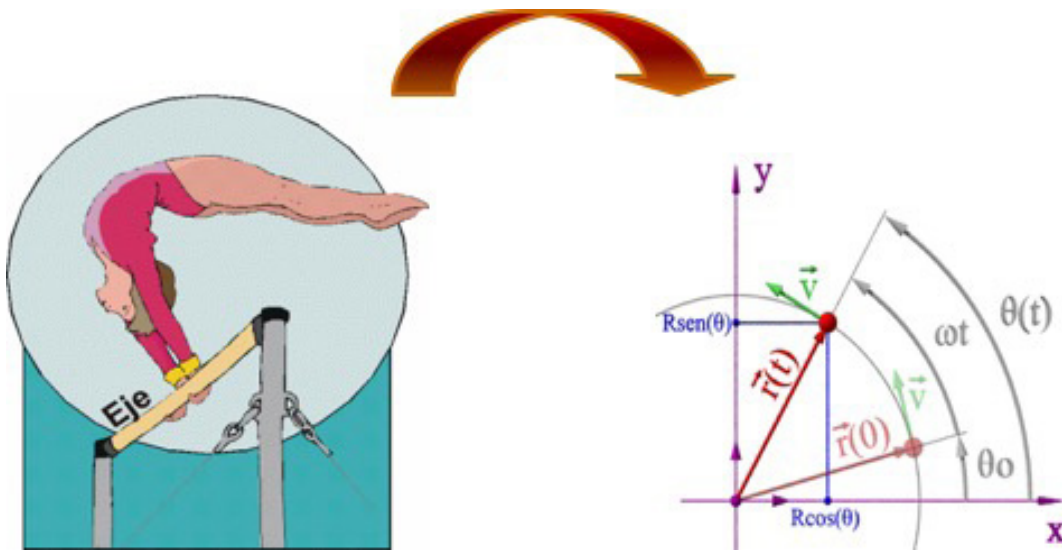
Arco: partiendo de un centro fijo o eje de giro fijo, es el espacio recorrido en la trayectoria circular o arco de radio unitario con el que se mide el desplazamiento angular. Su unidad es el radián (espacio recorrido dividido entre el radio de la trayectoria seguida, división de longitud entre longitud,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

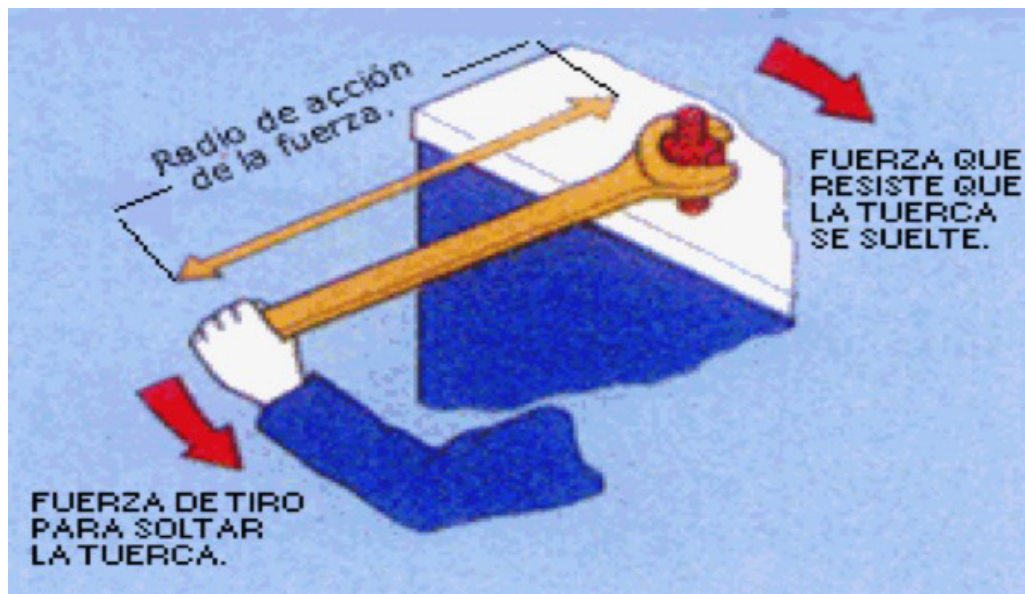
$$T = r \cdot F \quad (27)$$

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 $0,5 \text{ m/s}^2$. Pero si realiza por el contrario, una fuerza de acción muscular de 800 N, logrará una aceleración de su cuerpo de unos $0,7 \text{ m/s}^2$. 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:

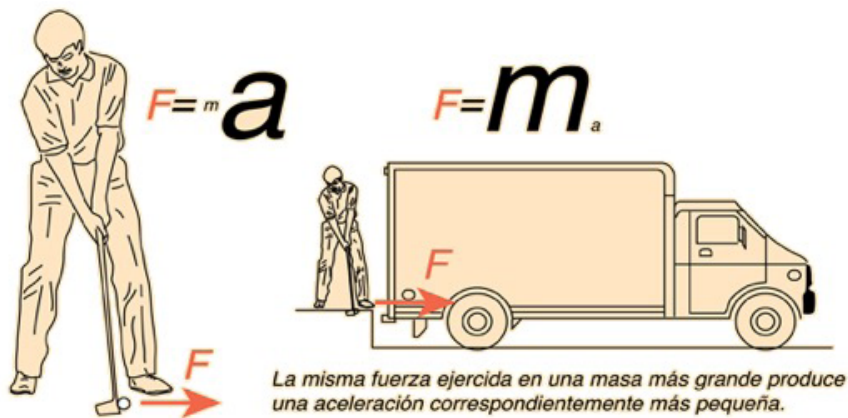
$$F = m \cdot a \quad (28)$$

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

$$a = F/m \quad (29)$$

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).

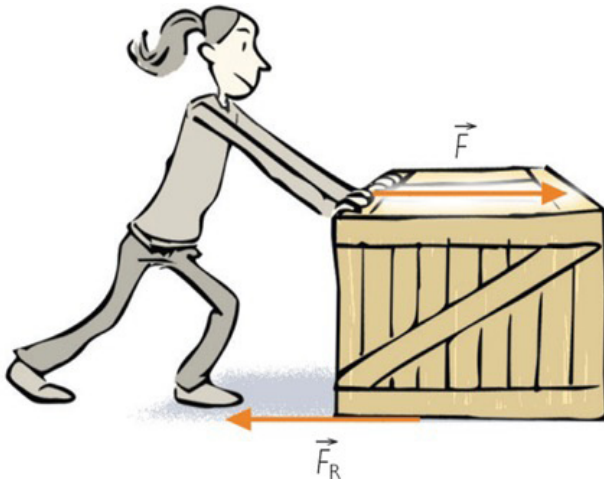
Tercera ley de Newton: ley de la acción y la reacción

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).

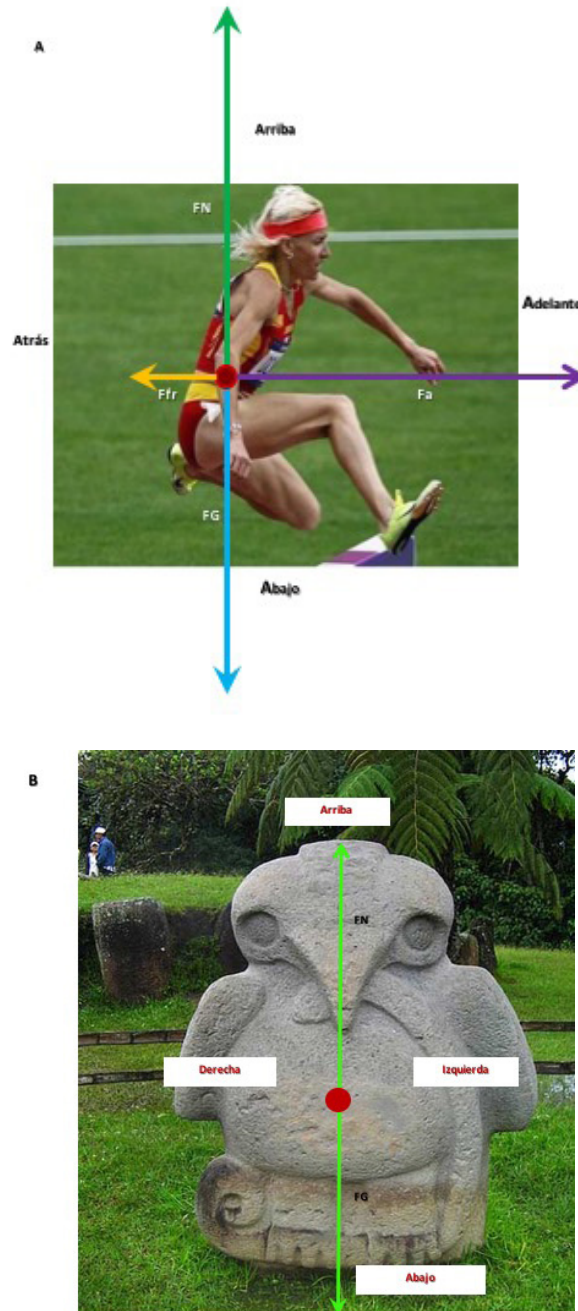
Ubicar únicamente los vectores de fuerza que sea necesario representar en el sistema de referencia, como: fuerza de gravedad (FG), fuerza normal (FN), fuerza neta de acción (Fa) y fuerzas de fricción o de reacción (Ffr).

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 – Fa), y la fuerza de reacción o de fricción (Ffr). El vector de fuerza de acción (Fa) quedará dispuesto generalmente en la zona positiva del eje X, mientras que el vector de la fuerza de fricción o de reacción (Ffr) estará dispuesto en la zona negativa el 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 (Fa) 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 (FG) y un vector de la Fuerza Normal (FN).

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

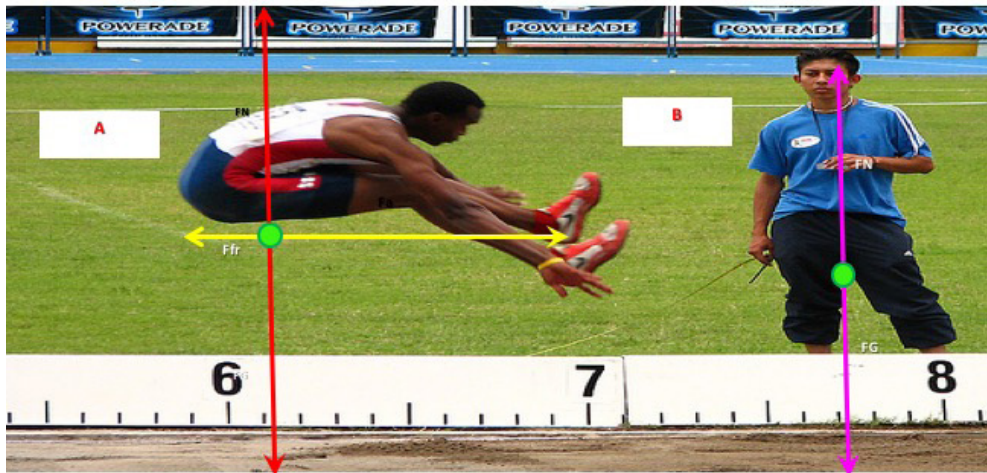
desplazamiento paralelo a esta. En forma de ecuación, el trabajo se puede representar de la siguiente forma:

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

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 N. 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; Belloch 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).

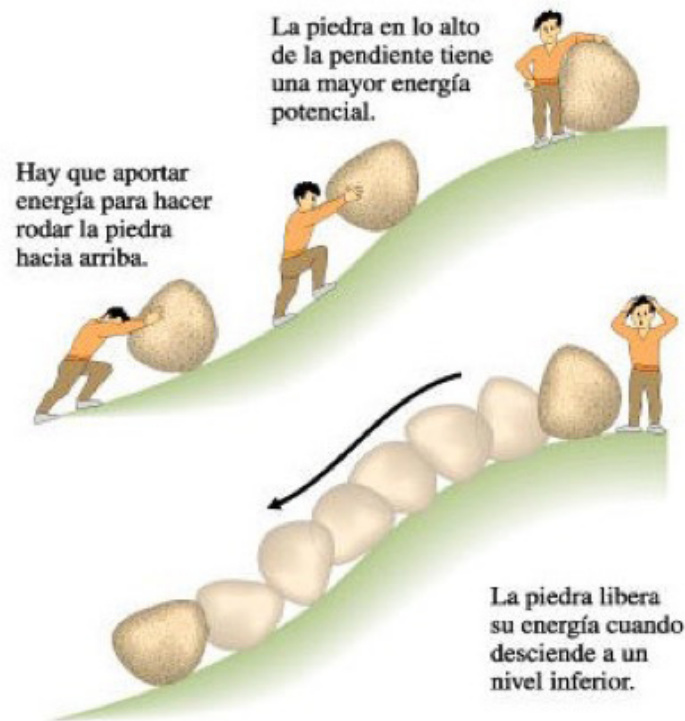
Teorema de trabajo y energía

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 atraviese 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

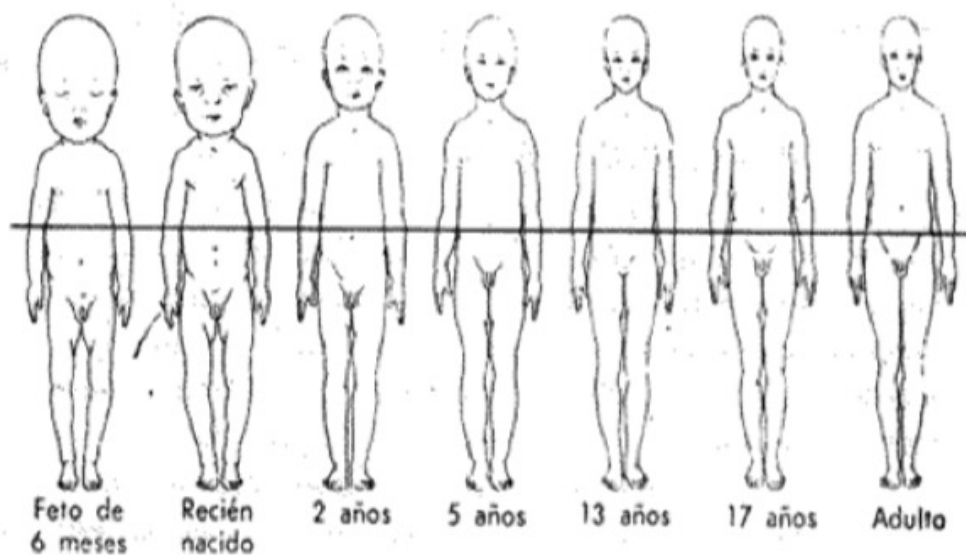
Un cuerpo (y en este caso concreto, el cuerpo humano), se puede considerar como una distribución continua de masa. En cada una de estas partículas que conforman la masa del cuerpo, estará actuando la fuerza de la gravedad. Teniendo en cuenta lo anterior, la posición donde la fuerza de la gravedad actúa 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.

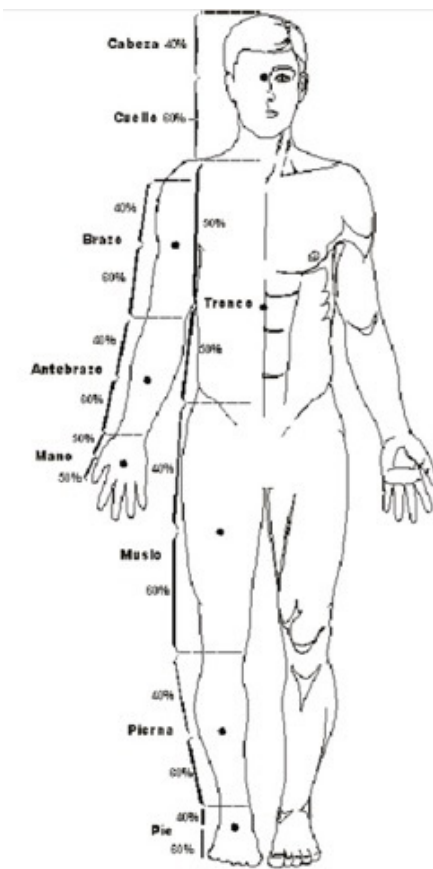
El método segmentario tiene como objetivo fundamental el cálculo del centro de gravedad a partir del marcaje de la posición de una serie de segmentos del cuerpo denominados como “centros de gravedad segmentarios”, que corresponden con los centros de gravedad propios para cada segmento del cuerpo (segmentos 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

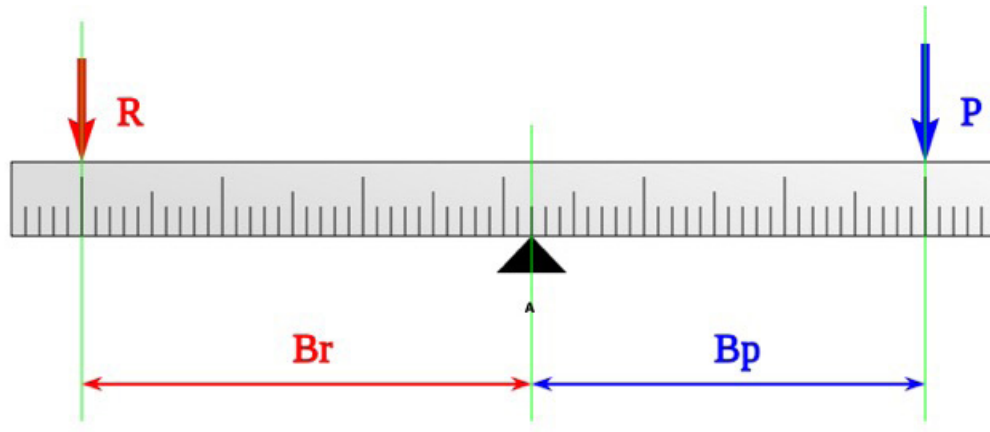
conserva con una mención a la palanca forma parte de la *Sinagoga* o *Colección matemática* de Pappus de Alejandría, una obra en ocho volúmenes que se estima fue escrita alrededor del año 340. Allí aparece la famosa cita de Arquímedes, descrita anteriormente. De esta forma, al heleno Arquímedes se le 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

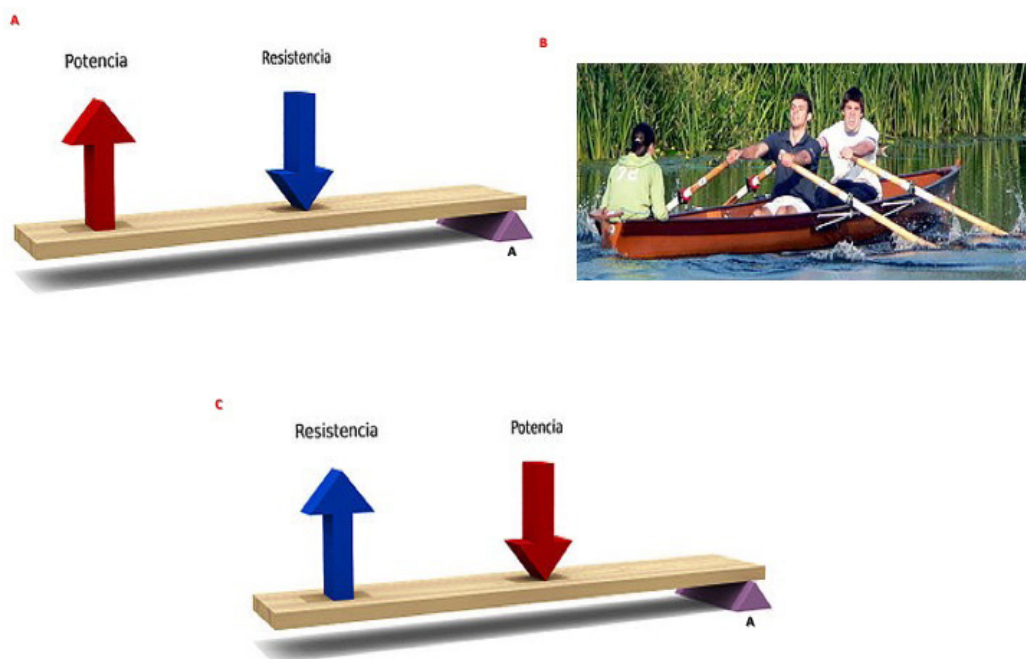
En la palanca de segunda clase, la resistencia se encuentra entre la potencia y el fulcro. Se caracteriza porque la potencia es siempre menor que la resistencia, aunque a costa de disminuir la velocidad transmitida y la distancia recorrida por la resistencia. La figura 46 a muestra un ejemplo gráfico 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

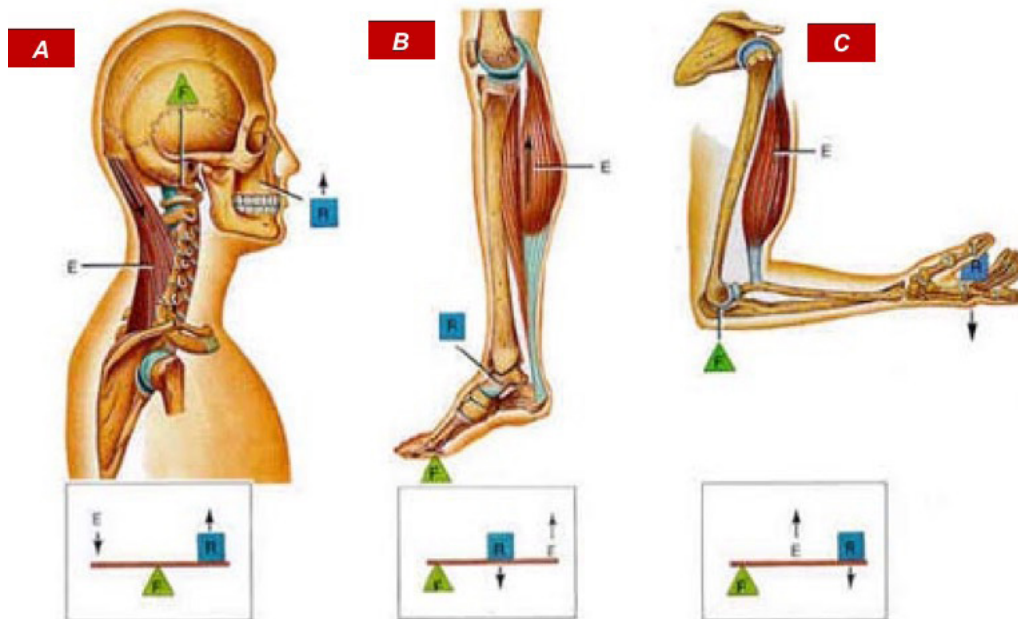
Muchos de los músculos y huesos del cuerpo actúan como palancas. Las de tercera clase son las más frecuentes. Principalmente se hallan en las extremidades, y están destinadas a permitir grandes, amplios y poderosos movimientos. Las de las piernas son más fuertes que las de los brazos, aunque tiene menos 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.

Biomecánica de tejidos conectivos (Biomecánica tisular)

Objetivos

Al finalizar el estudio de esta sección, el estudiante estará en capacidad de:

- Reconocer los diferentes conceptos relacionados con las propiedades físicas de los tejidos conectivos conformantes de una cadena cinética, como: elastancia, capacitancia, viscoelasticidad, anisotropía, contractilidad y bifasicidad entre otros.
- Reconocer los diferentes tipos de respuesta que pueden tener los tejidos conectivos pertenecientes a una cadena cinética ante los distintos tipos de cargas.
- Reconocer los diferentes componentes y organización microestructural de cada uno de los tejidos que conforman una cadena cinética, como el músculo esquelético, el tejido óseo, el tejido tendinoso, el tejido ligamentario y el cartílago articular.

Resumen

Para que se genere movimiento, es necesario que exista o que se conforme un “andamiaje” o estructura básica de sostén, que permita que los tejidos que conforman dicha estructura también se consideren como estructuras de soporte y que puedan cumplir con la función de movimiento. Es por esta

razón que los tejidos que conforman una cadena cinética, llámense en este caso, el tejido muscular esquelético, el tejido óseo, el tejido tendinoso y ligamentario, y el cartílago articular, se pueden agrupar en la clasificación de tejido conectivo, el cual también se denomina como tejido de sostén, y que tiene como función el sostener otros tejidos y órganos.

Cada uno de los tejidos conectivos que se mencionarán en esta sección del libro, están conformados por una variedad de elementos y compuestos que no solo son responsables de su apariencia macroestructural, sino que también son responsables de las respuestas que cada uno de los tejidos en mención presentan ante los diferentes tipos de carga. De igual forma, los elementos y los compuestos de cada uno de los tejidos conectivos (músculo, hueso, tendón, ligamento y cartílago articular) también le confieren todas las propiedades físicas imaginadas, es decir, cada uno de estos elementos le dan la posibilidad al tejido de ser bifásico, de ser viscoelástico, o de ser elástico o plástico. A su vez, estas mismas propiedades físicas de cada tejido también se ven reflejadas en la forma en que cada una de estas agrupaciones de células responde ante una carga.

En esta sección se tendrán en cuenta variados términos o conceptos relativos al tema de biomecánica y biología de tejidos conectivos, agrupados en tres grandes partes: la primera de ellas, relativa a la definición de las propiedades físicas de los tejidos, la segunda, relativa a los diversos tipos de carga aplicables a los tejidos conectivos en mención y la tercera parte de esta sección, relacionada con la microestructura de cada uno de los tejidos conectivos.

Conceptos básicos relacionados con la biomecánica de tejidos

Para entender como nos movemos, es necesario no solo entender los conceptos biofísicos traídos desde la mecánica y aplicados al análisis de movimiento, sino que también es deseable conocer la biología de los tejidos conectivos que conforman los diversos músculos, articulaciones, huesos y cadenas cinéticas responsables del movimiento. La conformación microestructural de cada uno de estos tejidos es responsable de las propiedades físicas de las que se hablará a continuación.

Propiedades biofísicas de los tejidos conectivos

Antes de reconocer la organización y la estructura básica de los tejidos que hacen parte de una cadena cinética, es adecuado definir las propiedades biofísicas que estos tienen y que dependen de los elementos y compuestos que se encuentran íntimamente relacionados con su estructura y organización básicas. Los términos y sus definiciones se describen a continuación:

Elastancia

También denominada como elasticidad, hace referencia concretamente a la capacidad que tiene un material o un tejido biológico de deformarse o modificar su forma básica (tensionarse) bajo una carga impuesta, y de retornar a su forma original, sin dejar cambios permanentes en su estructura o forma básica, una vez la carga que se ha impuesto cede. Uno de los científicos quien primero habló de esta cualidad o propiedad biofísica de los materiales biológicos fue el señor Robert Hooke (1635–1703), quien se encargó de simbolizar y representar a través de una fórmula, la denominada “ley de la elastancia”, que se representa de la siguiente manera:

$$F = k \Delta L \quad (33)$$

En donde F hace referencia a la fuerza o el peso de atracción ejercido sobre el objeto. En otras palabras, F corresponde a la carga (generalmente dada o expresada en Kg o en Newton) aplicada sobre el tejido o material biológico. ΔL hace referencia a la diferencia o cambio en la longitud del tejido o material sobre el cual se aplica una carga determinada y k corresponde con una constante de proporcionalidad. Cabe anotar que si bien es cierto que algunos de los materiales o tejidos biológicos (como los tejidos conectivos) tienen un gran nivel de elasticidad, representativo de una forma gráfica que se tendrá en cuenta más adelante, generando lo que se conoce como la zona elástica de un material en dicha gráfica. La cantidad de alargamiento de un objeto desde la cualidad de la elastancia, depende no solo de la cantidad de fuerza que se aplique sobre ella, sino también de los elementos que conformen al tejido o al material biológico, así como su geometría o forma. (Cromer, 1998; McDonald, 1996; Giancoli, 2008; Nordin, 2005). Todo lo anterior tiene una representación matemática en la siguiente fórmula:

$$\Delta L = 1/E \cdot F/A \cdot L_0 \quad (34)$$

En donde L_0 corresponde a la longitud o dimensiones iniciales del material biológico antes de ser sometido a una carga que generará o activará la cualidad de la elasticidad del material. F corresponde a la cantidad de fuerza aplicada en dicho material, en tanto que A corresponde al área de sección transversal o área del material o tejido biológico, (cualidad dependiente de la geometría del material). E corresponde al módulo elástico para un material, también denominado como 'módulo de Young', el cual está determinado tanto para materiales biológicos como para materiales inorgánicos. La tabla 13 muestra el valor del módulo elástico para algunos materiales inorgánicos y para materiales biológicos como el hueso. (Cromer, 1998; McDonald, 1996; Giancoli, 2008; Nordin, 2005). La cantidad de deformación de un material, representada en el cambio de su longitud (ΔL) y la fuerza por unidad de área F/A aplicada al objeto o al material biológico en cuestión, se determina con la siguiente fórmula:

$$Esfuerzo = F/A \quad (35)$$

Tabla 13. Módulo elástico o de Young para algunos materiales orgánicos o inorgánicos

Material	Módulo de Young – E (N/m ²)
Hierro	100 x 10 ⁹
Acero	200 x 10 ⁹
Latón	100 x 10 ⁹
Aluminio	70 x 10 ⁹
Concreto	20 x 10 ⁹
Ladrillo	14 x 10 ⁹
Mármol	50 x 10 ⁹
Granito	45 x 10 ⁹
Madero de pino	10 x 10 ⁹
Nylon	5 x 10 ⁹
Hueso	15 x 10 ⁹

Fuente: tomado de Giancoli (2008).

Capacitancia

Se puede denominar de variadas formas, también se le conoce como compliance o como distensibilidad de un tejido o material biológico. Hace referencia a la capacidad de un material de deformarse conforme a la cantidad de carga que recibe (es decir, de cambiar su longitud original o la que exhibe antes de la aplicación de una carga determinada). Sin embargo, contrario a lo que sucede con el término de elastancia, el tejido que exhibe la cualidad de la distensibilidad o plasticidad, no tiene un retorno a la normalidad cuando cede la fuerza que se está aplicando sobre él, por lo que solo hace recuento de la deformación que el elemento (material) sufre a causa de la fuerza aplicada (Cromer, 1998; McDonald, 1996; Giancoli, 2008; Nordin, 2005).

La anterior definición va muy de acuerdo con la definición de plasticidad que da la Real Academia Española de la Lengua (RAE), en la que se señala que: “puede decirse que la plasticidad es una propiedad mecánica de algunas sustancias, capaces de sufrir una deformación irreversible y permanente cuando son sometidas a una tensión que supera su rango o límite elástico”.

La representación matemática de la capacitancia (o distensibilidad o plasticidad) queda plasmada en la siguiente fórmula:

$$\text{Deformación} = \Delta L / L_0 \quad (36)$$

Así como algunos de los componentes microestructurales de los tejidos conectivos que conforman huesos, ligamentos, tendones, articulaciones y músculos hacen que estos sean elásticos, o tengan elastancia, también hay algunos otros que son responsables de que los tejidos sean plásticos (o que tengan un comportamiento plástico). (Cromer, 1998; McDonald, 1996; Giancoli, 2008; Nordin, 2005). Los elementos y compuestos que desde la composición básica son los responsables de la elasticidad y de la plasticidad, serán descritos en partes posteriores dentro de este mismo capítulo.

Contractilidad

De acuerdo con García, la contractilidad es definida como aquella propiedad vital de un tejido, (en este caso propiedad del tejido muscular) de reducirse o modificar su estructura para generar un trabajo muscular, acompañado generalmente de gasto de energía. En fisiología, la capacidad contráctil siempre es asumida por el tejido muscular, en todas sus variedades (tanto para el músculo esquelético, como para el músculo cardíaco y para el músculo liso). La contractilidad del tejido muscular depende de varios factores entre los que se pueden contar:

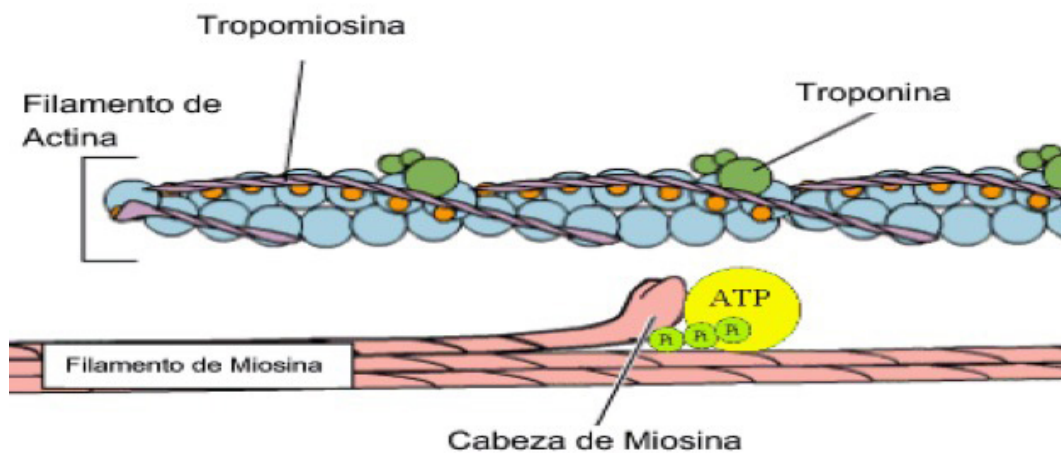
Proteínas contráctiles: que para el caso concreto del tejido muscular esquelético se pueden clasificar en dos grupos: a) los miofilamentos delgados, entre los que se cuentan la actina – F, la troponina (en sus tres subtipos: troponina C, troponina T y troponina I), y la tropomiosina, y b) los miofilamentos gruesos, en donde se tiene en cuenta a los filamentos de miosina, con sus cabezas pesadas (generalmente son 2) y las cabezas ligeras (también 2). Los procesos para que estos dos miofilamentos (gruesos y delgados) se acoplen y faciliten el proceso de la contracción muscular están ampliamente descritos en los textos de fisiología. Pero lo que sí se debe tener en cuenta es que se genera la denominada “formación de puentes cruzados”, factor fundamental que caracteriza la parte mecánica del proceso de contracción.

Metabolismo necesario para los procesos de contracción: facilitados en este caso por dos elementos básicos como lo son: el ATP (Adenosina

Trifosfato), principal moneda energética del organismo, que suma su acción a la de uno de los mensajeros de gran importancia a nivel celular como lo es el Ca^{2+} . Para el proceso de “formación de puentes cruzados” se requieren estos compuestos.

Otros electrolitos facilitadores de los potenciales de acción muscular, generados por el intercambio de agua más electrolitos como el Na^+ , el K^+ , y el Cl^- , que son los más importantes. La figura 48 muestra algunos de los componentes de los que se han mencionado anteriormente, relacionados en el proceso de la contracción del tejido muscular (Cromer, 1998; McDonald, 1996; Nordin, 2005).

Figura 48. Proceso de contracción muscular, enfatizado en el proceso de formación de “puentes cruzados”



Se observa la interacción de una partícula de ATP con las cabezas de miosina, también los miofilamentos delgados de tropomiosina, y de troponina, así como los miofilamentos de actina F.

Fuente: tomado de Nordin (2005).

Viscoelasticidad

La teoría clásica de la elasticidad considera las propiedades mecánicas de los sólidos elásticos de acuerdo con la ley de Hooke, es decir, la deformación conseguida es directamente proporcional al esfuerzo aplicado (como se ha

discutido anteriormente). Por otra parte, la teoría hidrodinámica trata las propiedades de los líquidos viscosos para los que, de acuerdo con la ley de Newton, el esfuerzo aplicado es directamente proporcional a la velocidad de deformación, pero es al mismo tiempo independiente de la deformación misma. Estas dos categorías son idealizaciones, aunque el comportamiento de muchos sólidos (como los tejidos conectivos acá contemplados), se aproxima a la ley de Hooke (comportamiento elástico) en infinitesimales deformaciones y el de muchos líquidos se aproximan a la ley de Newton (comportamiento viscoso) para velocidades de deformación bajas (Cromer, 1998; McDonald, 1996; Nordin, 2005).

De esta forma si se aplica un esfuerzo sobre un sólido elástico este se deforma hasta que la fuerza cesa y la deformación vuelve a su valor inicial. Por otra parte, si un esfuerzo es aplicado sobre un fluido viscoso, este se deforma, pero no recupera nada de lo que se deforma. Un comportamiento intermedio es el comportamiento viscoelástico en el que el cuerpo sobre el que se aplica el esfuerzo recupera parte de la deformación aplicada. Un parámetro utilizado para caracterizar o clasificar las sustancias de acuerdo a su comportamiento elástico/viscoso/viscoelástico es el número de Deborah. Este número se define como:

$$De = t\tau \quad (37)$$

Donde t es un tiempo característico del proceso de deformación al que se ve sometido una determinada sustancia y τ es un tiempo de relajación característico de dicha sustancia; el tiempo de relajación es infinito para un sólido de Hooke y cero para un fluido de Newton (Cromer, 1998; McDonald, 1996; Giancoli, 2008; Nordin, 2005).

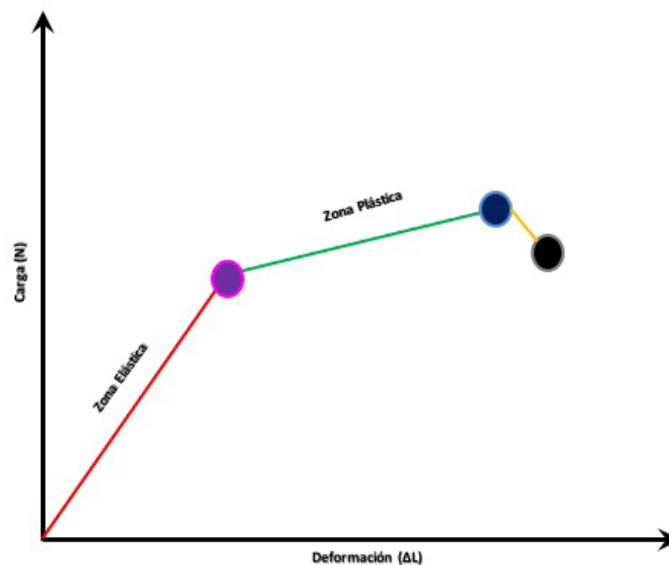
De acuerdo al valor del número de Deborah todas las sustancias pueden ser clasificadas de la siguiente forma:

- a. Número $De < 1$ Comportamiento solo viscoso.
- b. Número $De > 1$ Comportamiento elástico.
- c. Número $De \approx 1$ Comportamiento viscoelástico.

De acuerdo con las proporciones de componentes de cada uno de los tejidos, (los cuales serán descritos más adelante en este mismo capítulo), que son al mismo tiempo, los responsables de que cada tejido conectivo tenga todas estas propiedades biofísicas de las que se están hablando en esta parte, se podrían clasificar como viscoelásticos, tomando la definición como una

combinación entre las propiedades físicas de la elasticidad (elastancia) y la distensibilidad (o capacitancia) descritas anteriormente. Desde la biomecánica de tejidos conectivos, se establece una gráfica de relación a las propiedades físicas de la elasticidad y la distensibilidad que comprenden la viscoelasticidad de un material biológico. Esta gráfica se conoce como el “asa de carga–deformación”, la cual muestra la zona elástica y plástica de un tejido, así como los puntos límite de cada una de estas zonas. También se evidencia el punto límite máximo del mismo tejido, también denominado como punto de fractura. (Cromer, 1998; McDonald, 1996; Giancoli, 2008; Nordin, 2005). La figura 49 muestra los elementos descritos previamente.

Figura 49. Asa carga: deformación para un tejido conectivo



Se observan las siguientes zonas: en rojo la zona elástica, en verde la zona plástica, en color morado el punto límite de la zona elástica, en color azul el punto límite de la zona plástica y en negro el punto de fractura.

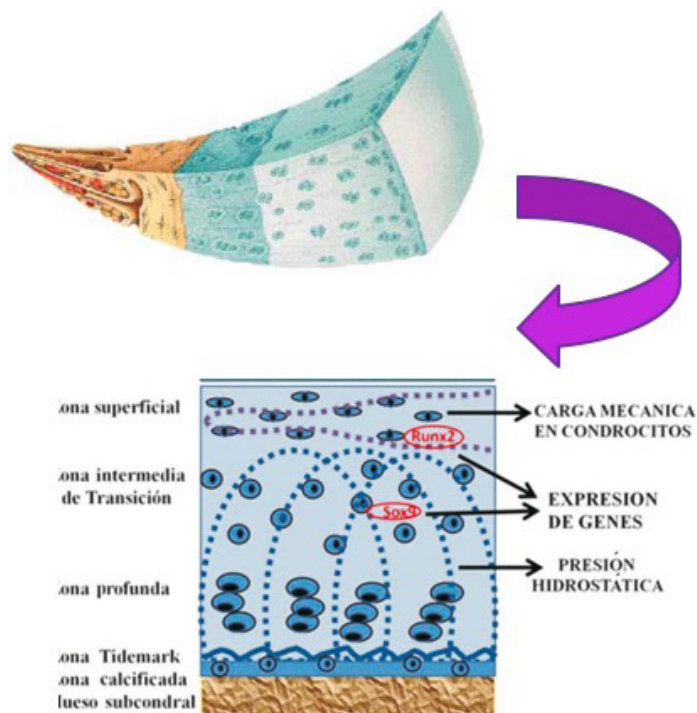
Fuente: elaboración propia.

Anisotropía

La anisotropía es una de las cualidades o propiedades físicas menos estudiadas dentro de la biomecánica de tejidos. Está definida como la propiedad de un material enfocada a la capacidad de responder ante una carga, centrándose única y específicamente en la distribución de sus componentes. En ocasiones, para la mayoría de los tejidos conectivos como el cartílago articular, se observa una distribución específica en zonas, de sus fibras de tejido, así como de sus células y del agua total del tejido. La distribución de estos componentes por zonas hacen que el tejido en términos generales se comporte de una forma específica, en este caso, como una “esponja” (o un tejido poroso–permeable), capaz de responder de una forma específica ante la carga física impuesta (Cromer, 1998; McDonald, 1996; Nordin, 2005).

De acuerdo con esta propiedad física, las demás propiedades como la elastancia, la capacitancia, la contractilidad, entre otras, pueden variar, dado que la distribución de los componentes de un material biológico, y su dirección puede influir en el desempeño del tejido y en la forma en como este responde ante los diferentes tipos de carga que se puedan aplicar sobre él. De esta forma, un tejido de acuerdo a la distribución de sus componentes puede ser o más elástico, o más plástico, o más viscoelástico. Por ejemplo, existen algunas zonas del cartílago que se comportan de forma más elástica ante la carga, en tanto que otras se comportan en forma más viscosa. No todos los tejidos conectivos son igualmente anisotrópicos, dado que la gran mayoría de ellos posee una distribución más bien uniforme de sus componentes. De todos los tejidos conectivos, el cartílago articular es el que posee más anisotropía de acuerdo a como están distribuidos los componentes microestructurales en sus cuatro zonas o en sus cuatro capas. (Cromer, 1998; McDonald, 1996; Giancoli, 2008; Nordin, 2005). La figura 50 muestra la organización en zonas del cartílago articular.

Figura 50. Distribución (por zonas) del cartílago articular



La distribución de los componentes en cada zona es la que determina la anisotropía en el cartílago articular.

Fuente: tomado y modificado de Miralles (2007).

Bifasicidad

De acuerdo con Nordin (2005), la bifasicidad hace referencia a aquella propiedad de un tejido de organizarse o disponer sus componentes en dos fases. Generalmente las dos fases se consideran por las características de cada uno de los componentes (si estos son líquidos o sólidos). Cada una de las fases en las que se organiza cualquiera de los tejidos conectivos adquiere el nombre del estado de los componentes que hacen parte de cada una (es decir, una fase se denominará “fase sólida” y la otra se denominará como “fase líquida”). En resumen la propiedad física de la bifasicidad hace referencia a un tejido conectivo que es bifásico (Cromer, 1998; McDonald, 1996; Nordin, 2005).

Las fases de un tejido conectivo cualquiera se organizan de la siguiente forma:

- a. Fase sólida: en donde se encuentran componentes como las fibras de colágeno, las fibras de elastina, los proteoglicanos y los glucosaminoglicanos, entre otros elementos sólidos.
- b. Fase líquida: en donde se encuentran compuestos como el agua y los electrolitos (Na^+ , K^+ , Cl^- , Ca^{2+}) entre otros (Cromer, 1998; McDonald, 1996; Nordin, 2005).

En la tabla 14 se muestran las proporciones de componentes en cada fase de los tejidos conectivos. Se observa que la proporción de cada fase (sólida y líquida) en cada tejido es diferente (y la diferencia se puede cuantificar en porcentaje).

Tabla 14. Proporción de fases (sólida y líquida) en cada uno de los tejidos conectivos

Tejido conectivo	Proporciones (en porcentaje) de las fases sólida y líquida
Cartílago articular	80% fase líquida y 20% de fase sólida
Músculo esquelético	80% fase sólida y 20% fase líquida
Tendón	50% fase sólida y 50% fase líquida
Ligamento	50% fase sólida y 50% fase líquida
Hueso	80–85% fase sólida y 15–20% fase líquida

Fuente: elaboración propia.

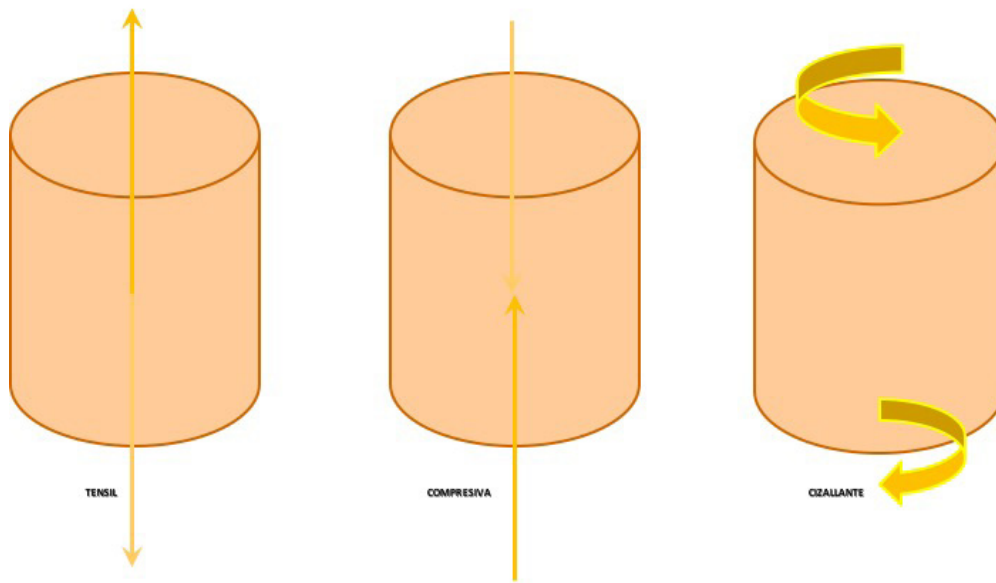
Teniendo en cuenta la descripción de las propiedades físicas que se ha hecho en esta parte del libro, a continuación se hará una descripción de los tipos de carga a los cuales se puede ver sometido un tejido conectivo.

Tipos de carga a los que se somete un tejido conectivo: cargas compresivas, tensiles y cizallantes

Cuando actúan bajo el efecto de fuerzas aplicadas externamente, los objetos pueden trasladarse en la dirección de la fuerza neta y rotar en la dirección del torque neto, actuando sobre ellos. Si un objeto está sometido a fuerzas aplicadas externamente pero está en un equilibrio estático, es más probable que exista algún cambio de forma local dentro del objeto. El cambio local bajo el efecto de las fuerzas aplicadas se conoce como deformación. El grado de deformación que un objeto puede experimentar depende de muchos factores, incluyendo las propiedades del material, el tamaño y la forma del objeto; factores ambientales como el calor y la humedad; y la magnitud, dirección y duración de las fuerzas aplicadas (Cromer, 1998; McDonald, 1996; Nordin, 2005).

Una forma de distinguir las fuerzas es mediante la observación de su tendencia para deformar el objeto sobre el que se están aplicando. Por ejemplo, se dice que el objeto está en tensión si el cuerpo tiende a elongarse y en compresión si tiende a contraerse en la dirección de las fuerzas aplicadas. La carga en cizallamiento difiere de la tensión y la compresión en que está causada por fuerzas que actúan en direcciones tangentes al área, resistiendo las fuerzas que causan cizalla, mientras que, tanto la tensión como la compresión están causadas por fuerzas colineales aplicadas perpendicularmente a las áreas sobre las que actúan. Es común llamar a las fuerzas tensiles y compresivas fuerzas normales o axiales; las fuerzas de cizalla son fuerzas tangenciales. Los objetos también se deforman cuando están sometidos a fuerzas que causan flexión y torsión, las cuales están relacionadas con las acciones del momento y del torque de las fuerzas aplicadas. La figura 51 muestra una representación gráfica de los diferentes tipos de carga aplicados sobre un ejemplo de estructura cilíndrica (que en este caso simulará un hueso largo) (Cromer, 1998; McDonald, 1996; Giancoli, 2008; Nordin, 2005).

Figura 51. Representación gráfica de los diferentes tipos de carga que se pueden realizar sobre un material biológico



Fuente: elaboración propia.

Un material puede responder de manera distinta a las configuraciones de carga. Para un material dado, puede haber diferentes propiedades físicas que deben ser consideradas cuando se analiza la respuesta de ese material a la carga tensil, comparándola con la carga compresiva o de cizalla. Las propiedades mecánicas de los materiales se establecen a través del análisis de la tensión sometiéndolos a varios experimentos como tests de tensión y compresión, torsión, y de flexión (Cromer, 1998; McDonald, 1996; Nordin, 2005).

Solicitación normal y de cizalla

Considérese el hueso completo de la figura 51, sometido a un par de fuerzas tensiles de magnitud X (o una magnitud determinada). El hueso está en un equilibrio estático. Para analizar las fuerzas inducidas dentro del hueso, el método de secciones puede ser aplicado hipotéticamente cortado el hueso en dos piezas a través de un plano perpendicular a un eje longitudinal del hueso. Debido a que el hueso como una unidad está en equilibrio, las dos piezas deben estar individualmente en equilibrio. Esto requiere que en la sección cortada de cada pieza exista una fuerza interna que sea igual en magnitud pero opuesta en dirección a la fuerza aplicada externamente. La intensidad

de las fuerzas que se realizan sobre el hueso (fuerza por unidad de área) se conoce como sollicitación. Para el caso mostrado en la figura 51, debido a que la fuerza resultante en la sección cortada es perpendicular al plano de corte, la sollicitación correspondiente se llama sollicitación normal o axial. Se acostumbra a usar el término σ (sigma) para referirse a las sollicitaciones normales. Asumiendo que la intensidad de la fuerza distribuida en la sección cortada es uniforme sobre el área de corte transversal A del hueso, $\sigma=F/A$. Las sollicitaciones normales causadas por fuerzas que tienden a estirar (elongar) los materiales son conocidas más específicamente como sollicitaciones tensiles; aquellas que tienden a contraerlos se conocen como sollicitaciones compresivas. Según el sistema de unidad internacional estándar (SI), descrito en anteriores secciones de este libro, las sollicitaciones son medidas por metro cuadrado (N/m^2), también conocidos como pascales (Pa) (Cromer, 1998; McDonald, 1996; Nordin, 2005; Paoletti, 2004).

Hay otra forma de sollicitación que se denomina de cizalla, que es una medida de la intensidad de las fuerzas internas que actúan tangentes (paralelas) a un plano de corte. Por ejemplo, considera el hueso completo de la figura 51. El hueso está sujeto a un número de fuerzas paralelas que actúan en planos perpendiculares al eje longitudinal del hueso. Asume que el hueso se corta en dos partes a través de un plano perpendicular su eje longitudinal. Además, si el hueso como una unidad está en equilibrio, sus partes individuales deben estar también en equilibrio. Esto requiere de una fuerza interna en la sección de corte que actúa en una dirección tangente a la superficie de corte. Si las magnitudes de las fuerzas externas se conocen, entonces la magnitud F de la fuerza interna puede calcularse considerando el equilibrio lineal y rotacional de una de las partes que constituyen el hueso. La intensidad de la fuerza interna tangente a la sección de corte se conoce como sollicitación de cizalla. Se acostumbra a usar el símbolo τ (tau) para referirse a las sollicitaciones de cizalla. Asumiendo que la intensidad de la fuerza tangente a la sección del corte es uniforme sobre el área de sección de corte A del hueso, entonces $\tau=F/A$ (Cromer, 1998; McDonald, 1996; Nordin, 2005; Paoletti, 2004).

Deformaciones normal y de cizalla

El alargamiento elástico es una medida del grado de deformación del tejido. Como en el caso de la sollicitación, se pueden distinguir dos tipos de

deformación. Una deformación normal se define como el ratio del cambio (incremento o disminución) de longitud en relación a la longitud original (no deformada), y es comúnmente indicado con el símbolo ε (épsilon). Considérese el hueso completo de la figura 51. La longitud total del hueso es l . Si el hueso está sometido a un par de fuerzas tensiles, la longitud del hueso puede incrementarse a l' o una cantidad $\Delta l = l' - l$. La deformación normal es el ratio de la cantidad de elongación respecto a la longitud original, o $\varepsilon = \Delta l / l$. Si la longitud del hueso incrementa en la dirección en la que se calcula la deformación, entonces la deformación es tensil y positiva. Si la longitud del hueso disminuye en la dirección en la que se calcula la deformación, entonces la deformación es compresiva y negativa.

Las deformaciones se calculan dividiendo dos cantidades medidas en unidades de longitud. Para la mayoría de las aplicaciones, las deformaciones y consecuentemente el alargamiento elástico implicado puede ser muy pequeño (por ejemplo 0.001). Las deformaciones pueden ser dadas también en porcentajes (por ejemplo 0.1%) (Cromer, 1998; McDonald, 1996; Nordin, 2005; Paoletti, 2004).

Deformaciones elásticas y plásticas

La elasticidad se define como la capacidad de un material para recuperar su tamaño y forma original (sin sollicitación) al eliminar las cargas aplicadas. En otras palabras, si se aplica una carga sobre un material de modo que la sollicitación generada en el material es igual o menor que el límite elástico, las deformaciones que tuvieron lugar en el material serán completamente recuperadas una vez que las cargas aplicadas sean eliminadas. Un material elástico cuyo diagrama de sollicitación–deformación forme una línea recta se denomina linealmente elástico. Para tal material, la sollicitación es linealmente proporcional a la deformación. La pendiente del diagrama de sollicitación–deformación en la región elástica se llama módulo elástico o de Young del material, comúnmente denominado como E . Por lo tanto, la relación entre sollicitación y deformación para los materiales linealmente elásticos es $\sigma = E\varepsilon$. Esta ecuación que se relaciona a la sollicitación–deformación normal se llama función material. En un material dado, pueden existir diferentes funciones para diferentes modos de deformación. Por ejemplo, algunos materiales pueden exhibir un comportamiento linealmente elástico bajo la carga de cizalla. Para tales materiales, la sollicitación de cizalla τ es linealmente proporcional a la deformación de cizalla γ , y la constante de

proporcionalidad se llama módulo de cizalla o módulo de rigidez, entonces $\tau=G\gamma$. Las combinaciones de todas las posibles funciones de los materiales para un material dado forman las ecuaciones constituyentes para ese material (Cromer, 1998; McDonald, 1996; Nordin, 2005; Paoletti, 2004).

La plasticidad implica deformaciones permanentes. Los materiales pueden experimentar las deformaciones plásticas tras las deformaciones elásticas cuando son puestos en carga más allá de sus límites elásticos. Considérese el diagrama de sollicitación–deformación de un material bajo cargas tensiles. Considérese que las sollicitaciones en el espécimen se llevan a un mayor nivel que la fuerza de elasticidad del material. Al eliminar la carga aplicada, el material recuperará la deformación elástica que había tenido lugar tras un período de descarga paralelo a la región linealmente elástica inicial. El punto donde el segmento corta el eje de deformación se llama deformación plástica, que significa el punto de cambio de forma permanente (irrecuperable) que ha tenido lugar en el material.

La viscoelasticidad es la característica de un material que tiene propiedades tanto de fluido como de sólido. Un material sólido se deformará hasta cierto punto cuando se le aplica una fuerza externa. Una fuerza aplicada continuamente sobre un cuerpo fluido causará una deformación continua (también conocido como flujo). La viscosidad es una propiedad del fluido que es una medida cuantitativa de la resistencia al flujo. La viscoelasticidad es un ejemplo de cómo las áreas en la mecánica aplicada pueden superponerse, porque utiliza los principios tanto de la mecánica de los fluidos como de los sólidos (Cromer, 1998; McDonald, 1996; Nordin, 2005; Paoletti, 2004).

Composición microestructural de los tejidos conectivos: tejido óseo, tejido tendinoso y ligamentario, tejido muscular y cartílago articular

Gran parte de las propiedades físicas de un tejido, así como la capacidad que pueda tener este mismo ante los diferentes tipos de carga, dependen de la composición microestructural, que para el caso de los tejidos conectivos, están organizados en dos fases: una sólida y una fase líquida (denominada también como fase acuosa).

Desde el punto de vista histológico, el tejido conectivo (tomado como la agrupación de sus diferentes variedades o subtipos, tejido muscular, tejido óseo, tendón, ligamento y cartílago articular), se denomina también como tejido de sostén, dado que representa el “esqueleto” que sostiene a otros tejidos y órganos. Como el tejido conectivo conforma una masa coherente entre el sistema vascular, sanguíneo y todos los epitelios, todo intercambio de sustancias se debe realizar a través del tejido conectivo, de modo que este mismo no solo cumple con importantes funciones locomotoras sino también de intercambio.

Todas las variedades de tejido conectivo especializado que hasta ahora se han mencionado, están compuestas por células altamente especializadas enfocadas en procesos de síntesis de compuestos para la fase sólida y la fase líquida. De igual forma los componentes básicos (que se pueden denominar de esta forma), son lo que son comunes a todas las variedades de tejido conectivo. (Nordin, 2005; Paoletti, 2004; Welsh, 2008; Lowe y Stevens, 2015). Dichos componentes comunes se enumeran en la siguiente lista:

- Para la fase sólida:
- Fibras de colágeno (tipo I, II, III, IV, VI, VIII Y X)
- Fibras de elastina
- Proteoglicanos (más conocidos como PG)
- Glucosaminoglicanos (también denominados como GAGS)

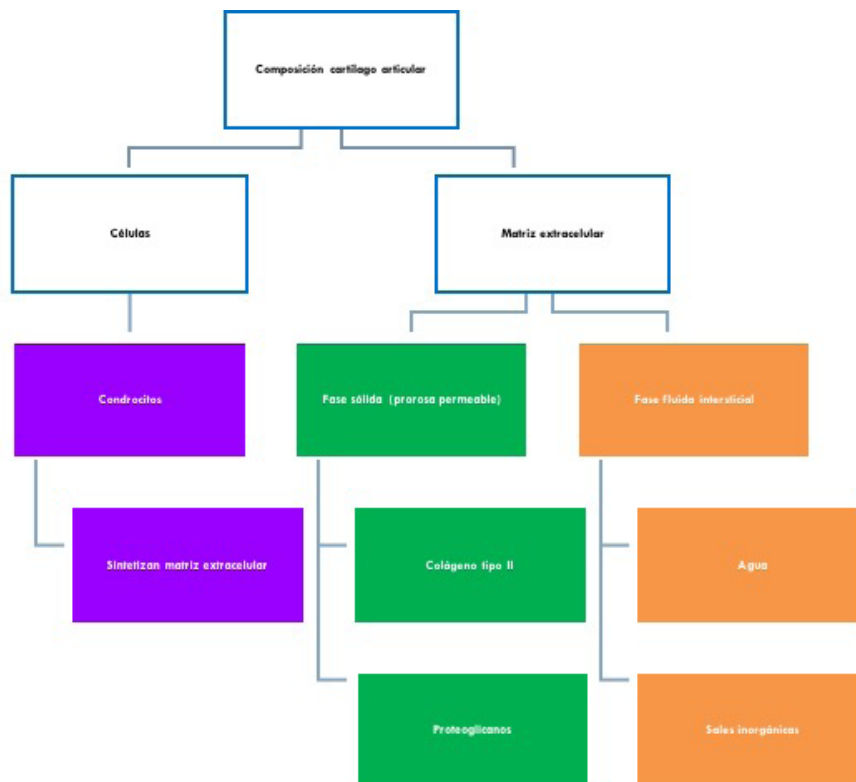
Para la fase líquida:

- Agua
- Electrolitos (Na^+ , K^+ , Cl^- , Ca^{2+} , entre otros)

De igual forma, así como las variedades de tejido conectivo tienen elementos de sus fases sólida y líquida que son comunes entre todos los tipos de tejido, cada uno de ellos también posee componentes que son propios de cada uno, y que permiten precisamente establecer diferencias entre uno y otro. A continuación, se ilustra mediante diagramas de flujo que representan las características comunes y propias de cada tejido conectivo. Al finalizar estos cuadros sinópticos. (Nordin, 2005; Paoletti, 2004; Welsh, 2008; Lowe y Stevens, 2015). En la tabla 15 se describirán diferencias y similitudes entre las variedades de tejidos conectivos en cuanto a tipos de células conformantes, componentes comunes y propios, propiedades físicas, entre otros.

Las células del tejido óseo cumplen con funciones concretas. Es así como a partir de los osteocitos (que se consideran como células primarias bastante indiferenciadas) se pueden obtener en procesos de diferenciación celular, tanto osteoblastos como osteoclastos. Para mantener un equilibrio en el metabolismo óseo, los osteoclastos destruyen hueso (fagocitan y destruyen los componentes de la matriz extracelular orgánica), en tanto que los osteoblastos se encargan de sintetizar o construir los componentes de la matriz extracelular orgánica (Nordin, 2005; Paoletti, 2004; Welsh, 2008; Lowe y Stevens, 2015).

Figura 53. Composición básica del tejido óseo



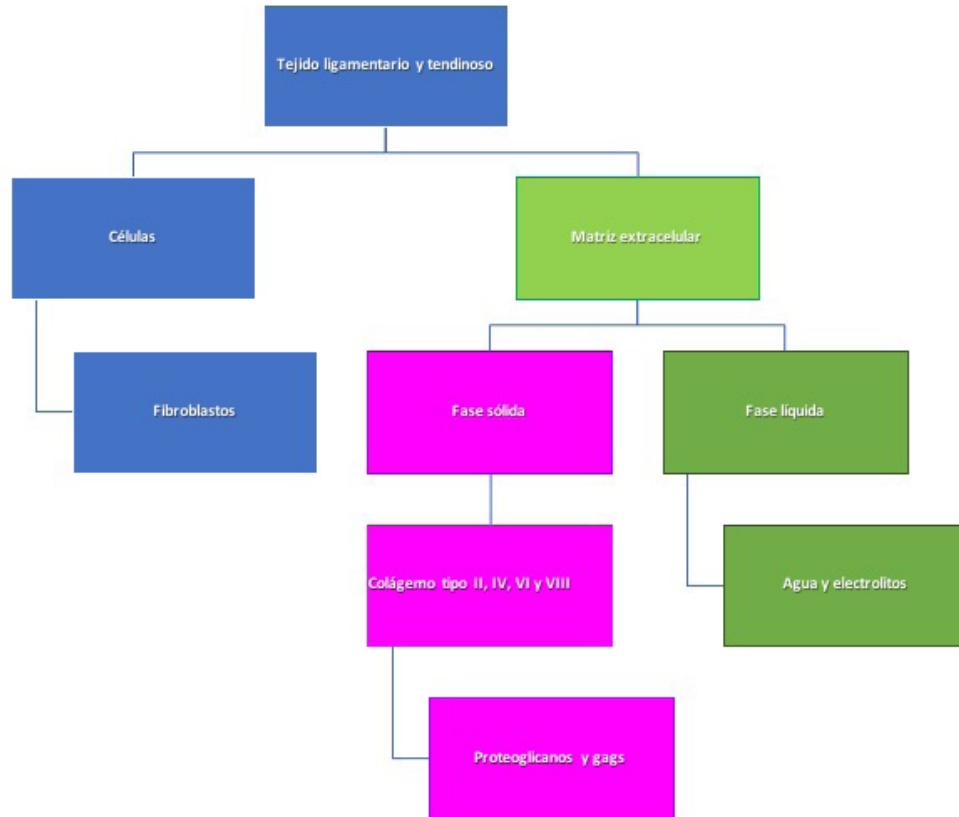
Se observa que en especial esta variedad de tejido conectivo está compuesto por tres tipos de células, cada una de ellas con funciones concretas. Al mismo tiempo, el tejido presenta una división de su matriz extracelular en orgánica e inorgánica, debido a la naturaleza de sus componentes.

Fuente: elaboración propia.

Cabe anotar que para todas las variedades de tejido conectivo que se comentarán en este apartado, son las células (para cada variedad de tejido conectivo) encargadas de la síntesis de los elementos de la matriz extracelular (especialmente los elementos de la fase sólida) de cada uno de estos. Excepciones a este principio con el origen de los elementos de la matriz extracelular inorgánica del hueso, que provienen del metabolismo de cristales de fosfatos, y los elementos de la fase líquida, que se cuentan desde un principio en la estructura del líquido intra y extracelular.

De igual forma, y como se había mencionado antes, el cartílago articular está organizado en 4 zonas, que se cuentan desde la más externa, y que se denomina como zona tangencial superficial, hasta la zona más profunda denominada como zona de barrera, la cual se adhiere al hueso. Este tejido es poco o nada vascularizado y tampoco tiene aporte de raíces nerviosas para su inervación. Es un tejido cuya composición es básicamente de agua (en un 80%) y elementos sólidos como fibras de colágeno tipo II y tipo IV, así como algunas fibras de elastina, y una gran cantidad de proteoglicanos, dispuestos en forma de “malla”. Todos estos elementos favorecen y facilitan las funciones del tejido, en cuanto a la absorción de cargas (Nordin, 2005; Paoletti, 2004; Welsh, 2008; Lowe y Stevens, 2015).

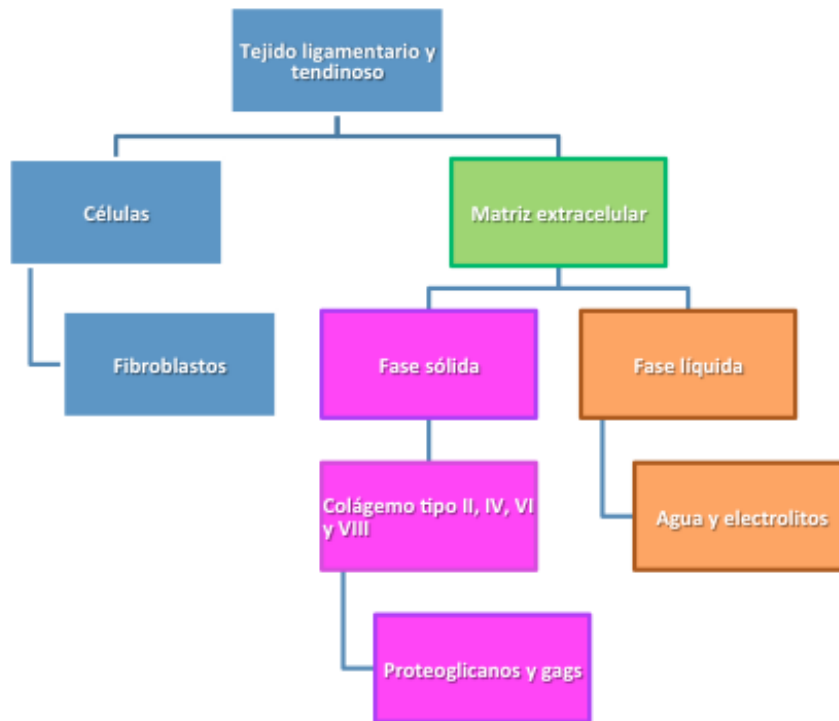
Figura 54. Composición del cartílago articular



Se observa que a diferencia del tejido óseo, el cartílago articular solo tiene un tipo de célula responsable de sintetizar los elementos de la matriz extracelular. Asimismo, los elementos de la matriz extracelular son solo de origen orgánico, y se dividen en fase sólida (de color verde) y en fase líquida (en color naranja).

Fuente: elaboración propia.

Figura 55. Composición estructural del tejido tendinoso y del tejido ligamentario



Se observa que las características de los dos tejidos son muy similares.

Fuente: elaboración propia.

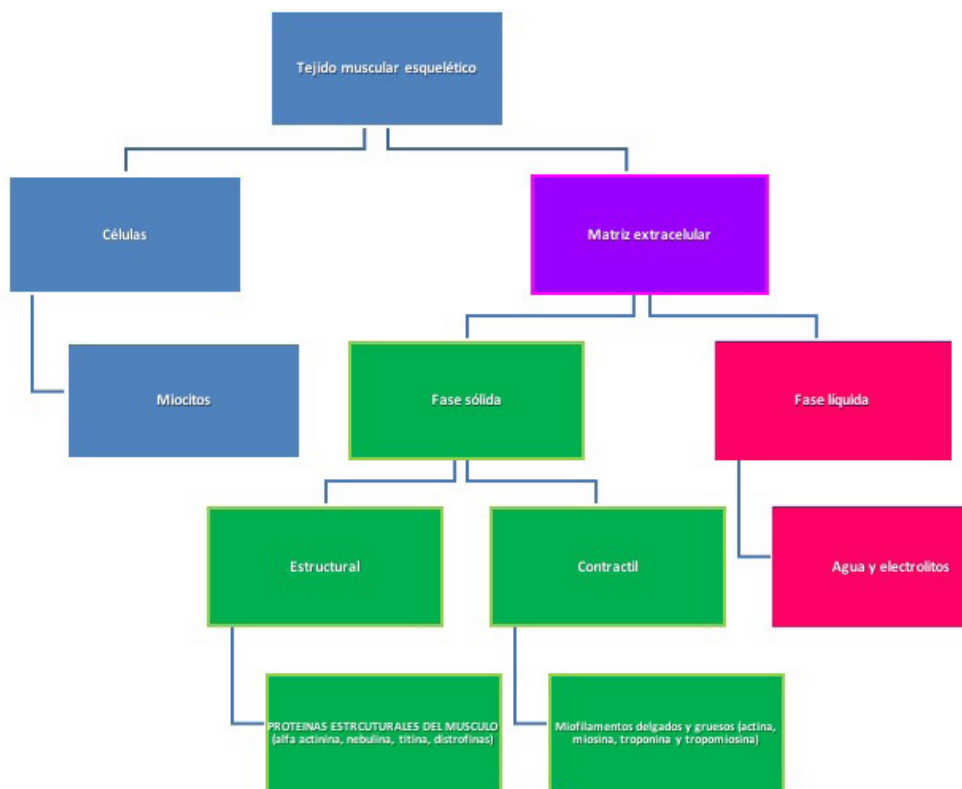
Tanto el tejido ligamentario como el tejido tendinoso reciben gran aporte vascular proveniente de los paquetes vasculares que van a hueso y a músculo, más no tienen aporte propio. Algo similar sucede con la inervación (o el aporte de terminaciones nerviosas) que reciben estos mismos tejidos. En el caso del tejido tendinoso, cabe anotar que existen algunas terminaciones de importancia denominadas como órgano tendinoso de Golgi, que se encarga de determinar la cantidad de carga tensil y compresiva realizada sobre este mismo. La relación de componentes en las fases sólida y líquida es de 50% para cada una. De todas las variedades del tejido conectivo que se describen en este capítulo del libro, tendón y ligamento tienen iguales proporciones de componentes en su fase sólida y en su fase líquida.

De todas las variedades de tejido conectivo, el tejido muscular esquelético es el que más componentes específicos posee en sus fases sólida y líquida.

Como es el único de todos los tejidos conectivos que tiene la posibilidad de contraerse, dentro de su fase sólida alberga una serie de proteínas contráctiles, encargadas de dicho proceso (Nordin, 2005; Paoletti, 2004; Welsh, 2008; Lowe y Stevens, 2015).

A manera de resumen, en la tabla 15 se mostrarán las características de cada uno de los tejidos conectivos de acuerdo a componentes de matriz extracelular, células y propiedades físicas.

Figura 56. Composición microestructural del tejido muscular esquelético



Se observa que los elementos de la fase sólida son bastante únicos para este tejido y que poseen funciones muy concretas y específicas, enfocadas a favorecer la propiedad física de la contractilidad, que no tienen las otras variedades de tejidos conectivos.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 15. Características propias de cada uno de los tejidos conectivos

Tejido/ Características	Célula	Comp. Matriz extracelular	Elastancia	Plasticidad	Viscoelast.	Bifasicidad Contract.	
						Sí	No
Tejido óseo	Osteocitos, osteoblastos y osteoclastos	Colágeno tipo I, sustancia fundamental, cristales de hidroxapatita más agua y electrolitos	Sí (mínima)	Sí (mínima)	Sí (aunque es el menos viscoelástico de todos los tejidos conectivos).	Sí	No
Tejido tendinoso/ ligamentario	Fibroblastos	Colágeno tipo II (predominante), colágeno tipo IV VI, GAGS, y PG más agua y electrolitos	Sí	Sí	Sí	Sí	No
Cartílago articular	Condrocitos	Colágeno de tipo II y IV, GAGS y PG	Sí	Sí	Sí	Sí	No
Tejido muscular esquelético	Miocytes	Proteínas estructurales, contráctiles, agua y electrolitos	Sí (la máxima)	Sí (si máxima)	Sí (es el tejido más viscoelástico)	Sí	Sí

El cartílago articular es el único que tiene la propiedad física de la anisotropía (no contemplada en esta tabla). El tejido muscular esquelético es el único que tiene la propiedad física de la contractilidad.

Fuente: elaboración propia.

Hasta esta parte del libro, se han dado todos los elementos que desde la mecánica y la biología permiten iniciar procesos de análisis de gestos de movimiento, enfocados al análisis de gestos deportivos. En la siguiente sección se darán los criterios, que desde la parte técnica, permiten realizar análisis de gestos deportivos.

Herramientas técnicas para el análisis del movimiento

Objetivos

Al finalizar la revisión de esta sección, el estudiante podrá:

- Reconocer las características de composición de la técnica del videograma como herramienta principal de análisis de movimiento.
- Reconocer las características de composición de la técnica del fotograma como herramienta principal de análisis de movimiento.
- Establecer procesos de análisis de gestos deportivos haciendo uso de cualquiera de las herramientas técnicas que se disponen en esta sección del libro.

Resumen

Se requiere de variadas herramientas para poder realizar procesos de análisis de gestos de movimiento. Hoy en día se cuentan con bastantes avances, que desde un entorno mucho más tecnológico, permiten obtener imágenes de altísima resolución y calidad, para obtener material de primera mano, que permita realizar tomas o recuentos fílmicos/fotográficos que sirvan como base para el análisis del movimiento. Igualmente desde otras áreas

de conocimiento como la ingeniería, y desde el cine (la cinematografía más concretamente), se han generado una serie de programas o de software que permiten hacer cuantificaciones y mediciones más exactas de todos los aspectos biomecánicos que, provenientes de la biofísica (mecánica), de la anatomía y de la biología de tejidos permiten realizar análisis de gestos de movimiento. Cabe anotar que a pesar de que se cuenta en la actualidad con todos los avances tecnológicos que permiten identificar y describir las características del movimiento, la herramienta base con la cual se obtuvieron los primeros análisis de gestos motrices es la mera observación de dichos eventos; y es la observación la pieza clave y fundamental de los nuevos programas, software y demás herramientas que se han generado y que son útiles y aplicables en la biomecánica (Ackland, 2008; Barlett, 2007; Baumler y Schneider, 1989; Blazevich, 2013).

Dentro de las variadas técnicas que hoy en día existen para hacer recuentos fílmicos o fotográficos de los gestos deportivos que se pretenden analizar, se encuentran el videograma y el fotograma, como los elementos de mayor uso a la hora de iniciar procesos de análisis motor. Al igual que los demás métodos y dispositivos con los que hoy en día se cuenta para observar y analizar el movimiento, estas dos herramientas facilitan la observación detallada y cuadro a cuadro de una secuencia completa de movimiento, ubicada en un sistema de referencia, de acuerdo a como se haga uso de estas herramientas. Asimismo, tanto videograma como fotograma permiten obtener resultados gráficos de figuras de movimiento, sobre las cuales se pueden realizar toda clase de análisis, aplicando o relacionando los aspectos teóricos que desde la mecánica y desde la biología provienen. En esta sección del libro, se describirán cada una de las herramientas que ya se han mencionado antes, al respecto del videograma y del fotograma, así como serán descritas algunas recomendaciones para la realización y aplicación de cada una de estas herramientas para la adquisición de imágenes de gestos deportivos (Ackland, 2008; Barlett, 2007; Baumler y Schneider, 1989; Blazevich, 2013).

Fotograma y videograma: definición y técnicas para su realización

Tanto el fotograma como el videograma utilizan dispositivos digitales para su adquisición. A partir de las tomas o registros (fotográficos o videográfico), se pueden realizar procesos de análisis de movimiento, descomponiéndolos o fraccionándolos en lo que se puede denominar como “el cuadro a cuadro” de la secuencia de movimiento registrada. Sobre cada cuadro a cuadro obtenido se pueden realizar una serie de análisis aplicando todas las herramientas que provienen de la mecánica y de la biología. A continuación se harán las definiciones de videograma y de fotograma, y se describirán las técnicas para la realización de cada uno de ellos.

Videograma: ¿qué es?, ¿cómo se hace?

Es una fijación audiovisual que se compone de sonidos e imágenes en movimiento. Se considera como una representación de una idea mediante imágenes o símbolos. Un videograma puede tomarse como pieza independiente, o bien, junto a otros, articular una pieza distinta. También pueden insertarse en diferentes series cambiando el sentido de su idea. El videograma también se puede definir como una cinta magnética grabada que, por medio de una videgrabadora, proyecta o reproduce imagen y sonido. Algunos de los formatos (tamaños) más comunes son el “beta”, “VHS” y “8mm” el disco y la cinta magnética, que son considerados como no profesionales. Estos son muy utilizados en videocámaras llamadas domésticas, por su sencillez en el manejo (Ackland, 2008; Barlett, 2007; Baumler y Schneider, 1989; Blazeovich, 2013).

Algo de historia...

La historia del cine comienza el 28 de diciembre de 1895, fecha en la que los hermanos Lumière proyectaron públicamente la salida de obreros de una fábrica francesa en Lyon (Francia), así como la demolición de un edificio tren, y la filmación de un barco saliendo del puerto. El éxito de este invento fue inmediato, no solo en Francia sino en toda Europa y América del Norte. En un año los hermanos Lumière creaban más de 500 películas, marcadas por los decorados naturales, la brevedad, la ausencia de actores, y de montaje, y la posición fija de la cámara. De igual forma, George Méliès profundizó por primera vez en contar historias ficticias y comenzó a desarrollar las nuevas técnicas cinematográficas aplicando la técnica teatral ante la cámara, creando así los primeros efectos especiales y la ciencia–ficción filmada. Por esta misma época, también surgieron grandes directores como Ernst Lubitsch, Alfred Hitchcock, Fritz Lang y Charles Chaplin como los más destacados. En 1927 se estrena la primera película con sonido que se llamó “El cantante de jazz”, a la vez que se impusieron guiones más complejos con mayor calidad de sonido, más complejidad en las escenas, y filmación de escenas más reales de movimiento, incluyendo el registro fílmico de gestos de movimiento. En ese mismo año, Paramount Pictures crea la técnica cinematográfica conocida como doblaje. Al cabo de los años la técnica permitió la incorporación del color, que llegó en 1935 con el filme “La feria de la vanidad”. El color tardó en ser adoptado por el cine. El público era relativamente indiferente a la fotografía en color, pero al mejorar los procesos de registro se filmaron más películas a color (Ackland, 2008; Barlett, 2007; Baumler y Schneider, 1989; Blazevich, 2013).

¿Y cómo se hace un videograma?

Para la realización de un videograma es necesario conocer los siguientes criterios:

- Los materiales que se necesitan para lograr un adecuado registro fílmico son: una cámara de video con buena resolución y tecnología de lente, que tome un recuento de aproximadamente 200–300 cuadros por cada minuto de filmación.
- Se requiere que la imagen sobre la cual se desee registrar movimiento esté en contraste con el fondo en donde la imagen se esté registrando, es decir, siempre debe existir contraste de la imagen sobre su entorno.

- La imagen de análisis debe quedar en color oscuro sobre un fondo claro o viceversa (es decir, la imagen en color claro sobre un fondo oscuro).
- La imagen o imágenes obtenidas para el análisis deben quedar registradas en plano completo, tomando un registro fílmico de la imagen de cuerpo completo.
- La cámara que se utilice para hacer el registro fílmico debe estar a mínimo 5 metros de distancia de la imagen que se desea registrar. De preferencia debe ubicarse sobre un soporte o un trípode de apoyo que se pueda movilizar para hacer el seguimiento del gesto de movimiento que se desea captar.
- Cuando se realice el registro fílmico para el análisis de gestos deportivos, es preferible que las tomas se hagan por cada plano corporal (una toma en el plano sagital, ubicando la cámara de medio lado – a uno de los lados de la imagen de la que se desea registrar), una toma debe hacerse de frente a la imagen, para lograr un plano coronal, y de ser posible, realizar una toma desde arriba (totalmente “por encima” o “por debajo” de la figura de análisis), para lograr un plano transversal. Sin embargo, es bastante complicado obtener una buena toma de la imagen a analizar en un plano transversal, dados los materiales que se requieren para tal fin, por lo que se prefiere que para hacer videogramas más simples, utilizar materiales de más fácil alcance para los interesados en realizar análisis de movimiento (Ackland, 2008; Barlett, 2007; Baumler y Schneider, 1989; Blazeovich, 2013).

El videograma es uno de los recursos más utilizados para obtener un registro fílmico completo que permita realizar análisis de gestos de movimiento. A partir de estos registros videográficos, se pueden realizar análisis completos, que permiten ser montados directamente sobre la secuencia de movimiento completa, o también se pueden obtener las partes (denominados como “cuadro a cuadro” de una secuencia de movimiento. Es de esta forma como se pueden obtener las fotografías o “fotogramas” que componen la secuencia del movimiento. Esta técnica será descrita a continuación.

Fotograma: ¿qué es?, ¿cómo se hace?

Existen muchas definiciones de lo que es un fotograma, por ejemplo, una de las definiciones más utilizada es la de concebir a esta herramienta como el compendio de las imágenes que se suceden en una película cinematográfica

y que están consideradas de manera aislada. Un fotograma representa el contenido de la película en un instante de tiempo. Por tanto, una animación no es más que una sucesión de fotogramas. También se puede definir como cada una de las imágenes impresionadas químicamente en la tira del celuloide del cinematógrafo o en la película fotográfica. De igual manera se puede entender como aquella imagen fotográfica obtenida sin cámara ni objetivo, colocando una serie de objetos sobre una emulsión sensible y exponiéndolos a la luz, para registrar sus sombras y contornos (Ackland, 2008; Barlett, 2007; Baumler y Schneider, 1989; Blazeovich, 2013).

Algo de historia...

Algunos de los precursores de esta técnica de registro fotográfico fueron Thomas Wedgwood y William Fox Talbot, quienes hicieron las primeras tomas fotográficas, obteniendo negativos de objetos naturales puestos en contacto directo con una base fotográfica. Entre los logros más destacados de Thomas se cuentan la impresión de un perfil del objeto mediante el contacto directo con los tratados de papel, creando así una imagen de la forma sobre el papel y, gracias a un método similar, la copia transparente en cristal lacado a través del contacto directo y la exposición a la luz solar. De igual forma, William Fox Talbot Patentó creó en 1841 el “calotipo” (o negativo–positivo de una fotografía), a partir de la sensibilización de un papel en sustancias químicas, que se someten a la luz y como primera medida dan una imagen negativa que posteriormente pasa a ser positiva. Otro de los fotógrafos que tuvo mucha importancia en la generación de los primeros fotogramas fue Edward James Muybridge, quien realizó lo que hoy en día se considera como el “primer videograma” denominado “el caballo en movimiento”, en donde realizó fotografías a un caballo en pleno trote, en las diferentes etapas de su galope y que proporcionaría una vista completa de todo el trayecto recorrido. Muybridge fotografió a un caballo de carreras llamado Occident trotando a unos 35 km/h en el hipódromo de Sacramento. La idea era tratar de captar con su cámara el movimiento del caballo. Pidió a los vecinos de la zona que le prestaran muchas sábanas de color blanco y las colgó en torno a la pista a manera de fondo, sobre el que destacara la figura del caballo (Ackland, 2008; Barlett, 2007; Baumler y Schneider, 1989; Blazeovich, 2013).

¿Cómo se hace un fotograma?

Para la realización de un fotograma se necesita saber y seguir las siguientes recomendaciones:

- Contar con una cámara que tome o haga registros fotográficos de óptima calidad. La idea de los fotogramas es que inicien con la realización de lo que se conoce como una “ráfaga de fotos”, que es capaz de tomar entre 60 a 100 fotografías por cada minuto de gesto deportivo realizado.
- Se deben hacer registros fotográficos por cada plano corporal, (un registro en plano sagital, otro por plano coronal y uno por plano transversal). Las fotografías que se hagan del gesto de movimiento deben realizarse en planos abiertos o de cuerpo completo.
- Al igual que como pasa con el videograma, con el fotograma también se debe generar contraste. De esta forma, la imagen que se desee registrar debe quedar en color oscuro sobre un fondo claro, o la imagen debe quedar registrada en color claro sobre un fondo oscuro.
- La cámara con la que se realice el registro debe estar ubicada sobre una base de sustentación o trípode de apoyo, de tal forma que el registro fotográfico obtenido no se altere con movimientos de la mano que puedan alterar y dañar la calidad del fotograma obtenido.

Los fotogramas son mucho más fáciles de obtener que los videogramas, y los requisitos para su realización son mucho más fáciles de obtener si se compara con los que se requieren para hacer un videograma de óptima calidad. De esta forma, los fotogramas son tal vez la herramienta más usada para seguir procesos de análisis de movimiento. En este libro, en la sección que sigue, se mostrará un ejemplo de análisis de gesto deportivo que se basa en la realización de un fotograma (Ackland, 2008; Barlett, 2007; Baumler y Schneider, 1989; Blazevich, 2013).

Ejemplos de videograma y fotograma

Como se mencionaba en el apartado anterior, es mucho más común y más fácil en su realización, un fotograma que un videograma. El ejemplo más común de lo que es un fotograma es el del “caballo en movimiento”. En 1872, una polémica enfrentaba a los aficionados a los caballos de California.

Leland Stanford, ex gobernador del Estado y poderoso presidente de la Central Pacific Railway, y un grupo de amigos suyos que sostenían que había un instante, durante el trote largo o el galope, en que el caballo no apoyaba ningún casco en el suelo, frente a otro grupo, del que formaba parte James Keene, presidente de la Bolsa de Valores de San Francisco, que afirmaba lo contrario.

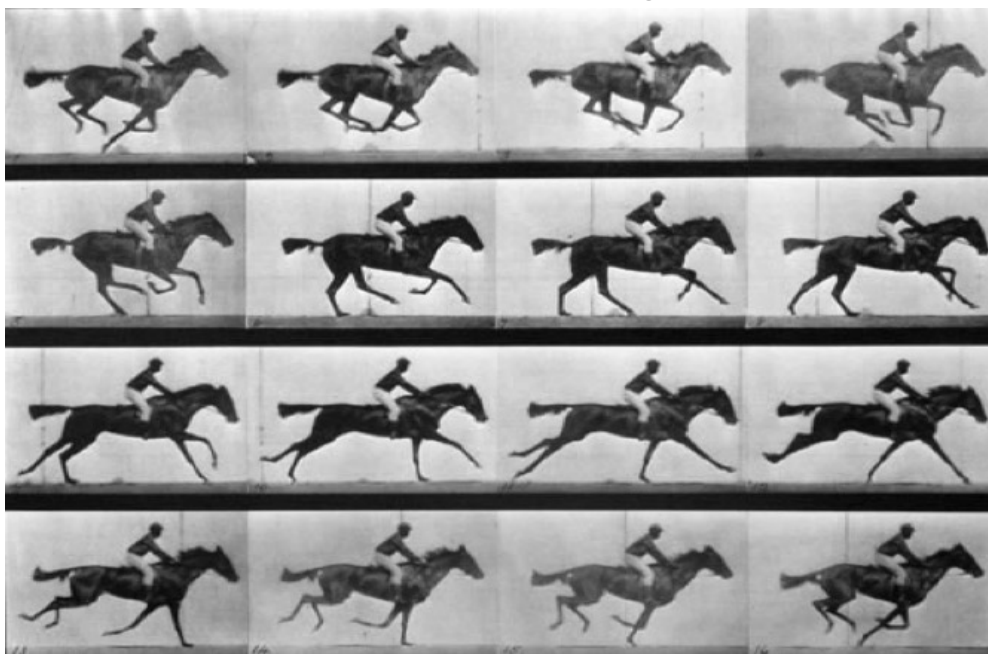
En esa época no se conocía una manera de demostrar quién tenía razón, hasta que Leland Stanford ideó un sencillo experimento que consistía en un método que fotografiaba al caballo en las diferentes etapas de su galope y que proporcionaría una vista completa de todo el trayecto recorrido, para lo cual Stanford encargó a Eadweard Muybridge que tratara de captar con su cámara el movimiento de su caballo de carreras Occident. Sin mucha confianza en el resultado, Muybridge se prestó a fotografiar a Occident trotando a unos 35 km/h en el hipódromo de Sacramento. Pidió a los vecinos de la zona que le prestaran muchas sábanas de color blanco y las colgó en torno a la pista a manera de fondo, sobre el que destacara la figura del caballo. En mayo de 1872, Muybridge fotografió al caballo Occident, pero sin lograr un resultado, porque el proceso del colodión húmedo exigía varios segundos para obtener un buen resultado.

Muybridge desistió durante un tiempo de estos experimentos, más adelante realizó un extenso viaje por América Central y América del Sur, donde fotografió las construcciones de las líneas ferroviarias. Al volver, reemprendió su trabajo sobre la fotografía de acción, y en abril de 1873 logró producir mejores negativos, en los que fue posible reconocer la silueta de un caballo. Esta serie de fotografías aclaraba el misterio (le daba la razón a Stanford), pues mostraba las cuatro patas del caballo por encima del suelo, todas en el mismo instante de tiempo. No trató de tomar las fotografías con una exposición correcta, pues sabía que la silueta era suficiente para poder definir la cuestión. Sus primeros intentos habían fallado porque el obturador manual era demasiado lento como para lograr un tiempo de exposición tan breve como precisaba. Así pues, inventó un obturador mecánico, consistente en dos pares de hojas de madera que se deslizaban verticalmente por las ranuras de un marco y dejaban al descubierto una abertura de 20 centímetros, por la que pasaba la luz. Con este sistema se lograba un tiempo de exposición récord de 1/500 de segundo.

Stanford, impresionado con el resultado del experimento, que se conocería más tarde con el título *El caballo en movimiento*, encargó la búsqueda de un estudio fotográfico para poder captar todas las fases sucesivas del

movimiento de un caballo. Los experimentos se reanudaron en el reformado rancho de Stanford durante el verano de 1878. Aunque con una exposición ligeramente insuficiente (debido a las ya mencionadas dificultades técnicas de la época), la serie resultante de fotografías mostraba claramente todos los movimientos de una yegua de carreras de Kentucky llamada Sally Gardner. Muybridge pintó los negativos para que solo se viera la silueta de la yegua, cuyas patas adoptaban posiciones inconcebibles. El resultado fue una secuencia de 12 fotografías que se realizó aproximadamente en medio segundo (Ackland, 2008; Barlett, 2007; Baumler y Schneider, 1989; Blazevich, 2013). (ver figura 57: resultados del fotograma del caballo en movimiento).

Figura 57. El caballo en movimiento de Muybridge



Se observan 12 imágenes tomadas, que al ponerlas en secuencia, muestran el movimiento del caballo, logrando comprobar que sí hay fases del movimiento en donde las patas del caballo están totalmente en el aire.

Fuente: tomado de Muybridge (1887).

Gracias a este experimento, Muybridge ideó una nueva técnica en la que la pista para el motivo en movimiento tenía una longitud de unos 40 metros. En paralelo a ella había una batería fija con 24 cámaras fotográficas, y en ambos extremos de la pista, colocadas en ángulos de 90° y de 60° , había otras dos baterías de cámaras. En cada instante se disparaban sincrónicamente tres

cámaras, una de cada batería. Se impresionaban placas secas a una velocidad de obturación graduable que podía regularse desde varios segundos hasta la altísima velocidad de $1/6000$ de segundo, según la velocidad del motivo a fotografiar. En las primeras series los obturadores de las cámaras se disparaban por la rotura de unos hilos atravesados al paso del caballo u otro animal que se rompían al paso de este, cerrando contactos eléctricos que iban activando cada uno de los obturadores. Pero después Muybridge inventó un temporizador a base de un tambor rotatorio que giraba de acuerdo con la velocidad del motivo y que, en los instantes adecuados, enviaba impulsos eléctricos a las cámaras.

Hasta esta parte del libro se han mostrado en su totalidad todos los elementos que se requieren para hacer análisis observacionales del movimiento corporal, específicamente en el desarrollo de gestos deportivos. En la siguiente sección se mostrará un ejemplo concreto de análisis observacional de movimiento, aplicando lo que hasta ahora se ha desarrollado del tema, bajo ocho criterios de análisis (Ackland, 2008; Barlett, 2007; Baumler y Schneider, 1989; Blazevich, 2013).

Análisis biomecánico de gestos deportivos. Abordaje práctico

Objetivos

Después de que el estudiante haya realizado una lectura de esta sección, estará en capacidad de:

- Obtener secuencias o momentos de movimiento (registros fotográficos o videográficos) de un gesto de movimiento en plano sagital y en plano coronal con las características requeridas para poder realizar un análisis con los ocho criterios de análisis biomecánico.
- Ubicar cada una de las fotografías obtenidas en los sistemas de referencia que se ajusten a tal fin.
- Realizar las mediciones correspondientes con los rangos de movilidad articular observados en cada una de las fotografías del gesto deportivo que se quiere analizar.
- Determinar los vectores de acción muscular que se relacionan con el movimiento o el gesto deportivo que se quiere analizar.
- Realizar la correspondiente sumatoria de vectores de acción muscular por cada una de las fotografías escogidas para el análisis de movimiento/gesto deportivo.
- Realizar el diagrama de cuerpo libre correspondiente con las fuerzas que intervienen en un cuerpo en movimiento.

- Hacer el cálculo de la ubicación del centro de gravedad haciendo uso del método segmentario o de clúster.
- Realizar relaciones entre las características del gesto deportivo con respecto a los términos de trabajo, energía, leyes de Newton, y con las características de comportamiento de cada uno de los tejidos conectivos que se han visto hasta el momento.

Resumen

Entre las diferentes clasificaciones de los deportes en función de los diversos requerimientos técnicos, se observan que estas mismas técnicas para cada deporte, requieren de la realización de esfuerzos físicos, así como a la realización de movimientos concretos que a su vez promueven la activación de diversas cadenas cinéticas. Estos mismos movimientos realizados, también requieren de la activación de los tejidos conectivos que conforman las cadenas cinéticas, estableciendo de esta manera relaciones entre las diversas formas en que cada uno de estos tejidos puede responder ante los diferentes tipos de carga que se aplican en huesos, articulaciones, músculos, ligamentos y tendones en la realización de un gesto deportivo. Todos estos criterios se han venido explicando en este libro, y es en esta sección de la obra en donde se muestran ejemplos concretos y criterios específicos para realizar las aplicaciones de todos los aspectos antes desarrollados (provenientes de la mecánica y de la biología, y complementados con la anatomía), en la observación y descripción de un gesto deportivo. De igual forma, se pueden establecer variados criterios para el análisis biomecánico de gestos deportivos, pero teniendo en cuenta lo que en este libro se han revisado, se establecen ocho criterios para dicho análisis.

Criterios biomecánicos aplicados al análisis de gestos deportivos

Como se ha señalado en el resumen de esta sección, son muchos los criterios que desde la biomecánica se pueden determinar para realizar análisis observacionales de gestos deportivos. Sin embargo, teniendo en cuenta lo que hasta ahora se ha revisado en esta obra (con respecto a los principios de la mecánica, de la biología, más lo que ya el estudiante se espera tenga de anatomía y fisiología), se han establecido ocho criterios de análisis biomecánico que se nombran a continuación:

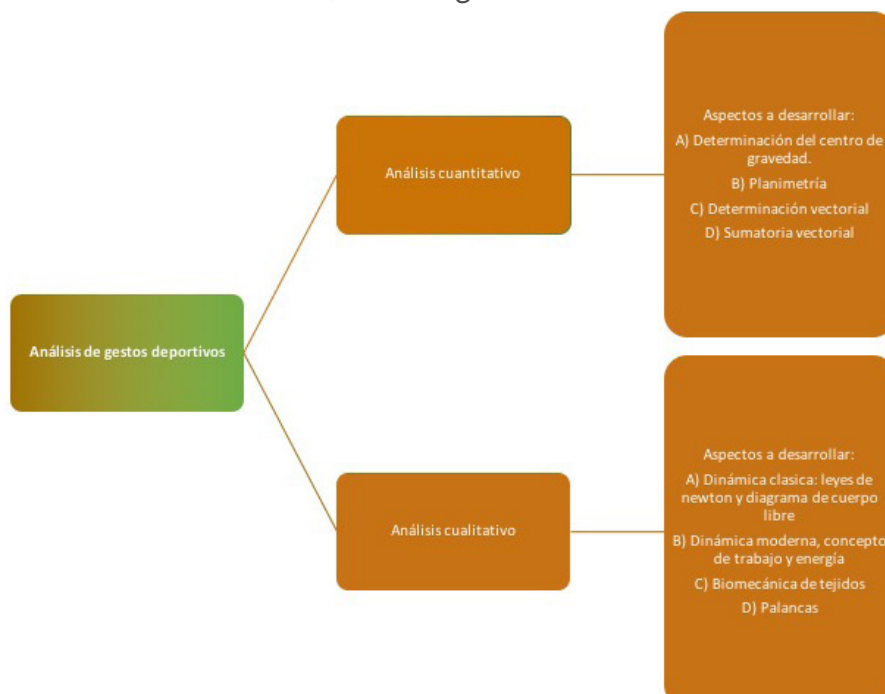
- Ubicación de las fotografías del gesto deportivo en sistemas de referencia (planos corporales), con los puntos de referencia determinados para cada plano.
- Medición de los rangos de movilidad articular observados en cada una de las fotografías del gesto deportivo que se quiere analizar.
- Determinación de los vectores de fuerza de acción muscular, siguiendo cinco criterios que serán descritos en la correspondiente sección.
- Sumatoria de los vectores de acción muscular antes determinados.
- Determinación del centro de gravedad a través del método segmentario o clúster.
- Realización del diagrama de cuerpo libre de la figura de análisis a partir de los vectores de fuerza que participan en dicho movimiento.
- Establecimiento de la relación entre las leyes de Newton y el gesto deportivo analizado.
- Establecimiento de la relación entre conceptos de: trabajo, energía y biomecánica de tejidos conectivos con el gesto deportivo escogido para analizar.

Los cuáles serán aplicados en un ejemplo concreto de análisis que se mostrará en esta sección, y se explican en la figura 58, que ejemplifica de forma más dinámica, el abordaje realizado en clase sobre el análisis de gestos deportivos:

Ubicación de las fotografías del gesto deportivo a analizar y medición de rangos de movilidad articular

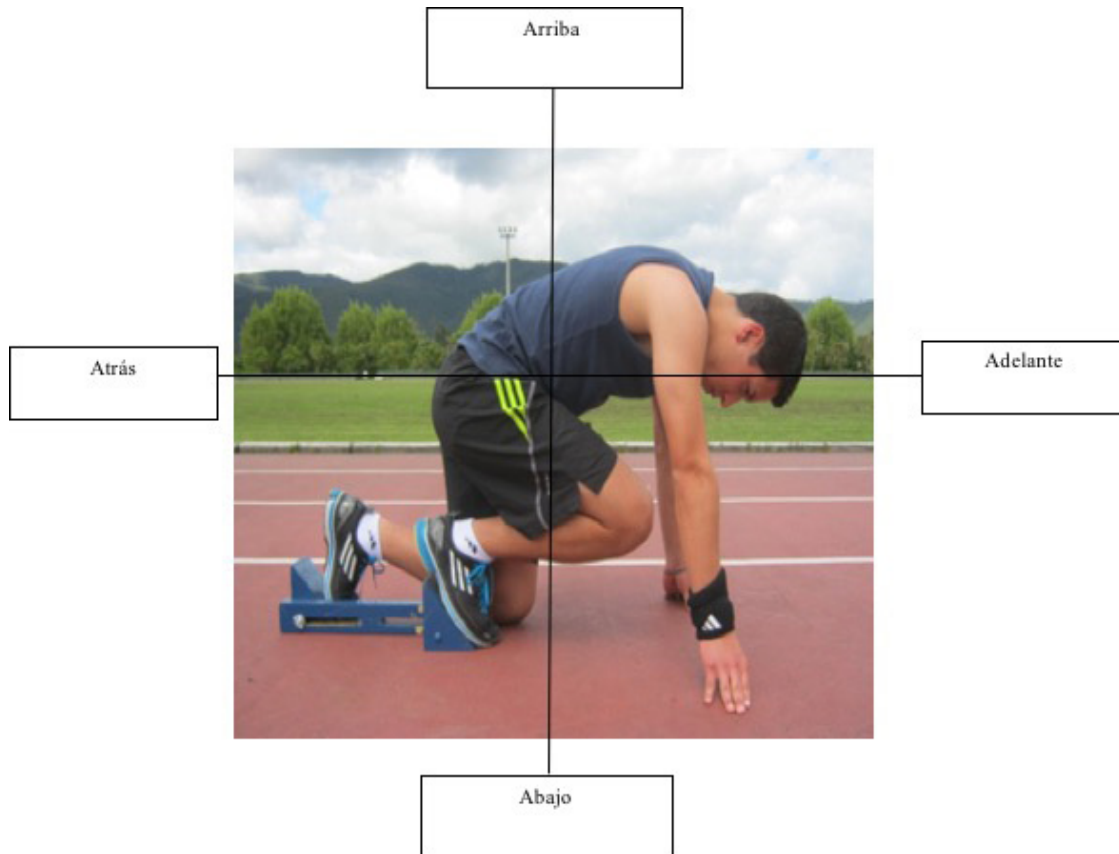
Para el ejemplo que se mostrará en esta sección, se ha escogido una posición o una figura bastante importante de movimiento en la realización del gesto técnico de la carrera. El momento de movimiento que se ha escogido para analizar se ha denominado como posición de “en sus marcas”, en donde el deportista se encuentra asumiendo una postura clasificada como “cuerpo en estado inercial de reposo”. La fotografía que se ha escogido para el análisis se ha obtenido mediante una ráfaga de fotos, tomada con una cámara digital de alta resolución, dispuesta sobre un trípode. De la secuencia de fotos, que se ha tomado siguiendo las recomendaciones dadas en la anterior sección, se ha escogido la fotografía mostrada como la figura 58, en la cual se ubican de igual forma, tanto el sistema de referencia, como los puntos de referencia de este mismo.

Figura 58. Mapa básico de abordaje para el desarrollo del análisis de gestos deportivos realizado en la Facultad de Cultura Física, Deporte y Recreación, Universidad Santo Tomás, sede Bogotá



Fuente: elaboración propia.

Figura 59. Fotograma de la posición de “en sus marcas” de la carrera de velocidad, ubicada en su correspondiente sistema de referencia (plano sagital) con sus puntos de referencia (adelante, atrás, arriba y abajo).



Fuente: elaboración propia.

Una vez se ha ubicado la foto en el sistema de referencia correspondiente, se procede a la medición de los rangos de movilidad articular. Para la medición de los rangos de movilidad se dispone de un transportador con el cual se miden sobre el fotograma, los rangos de movilidad (en grados) para cada articulación, teniendo en cuenta los rangos de movilidad articular activa de cada articulación, así como los movimientos que cada articulación registra en el sistema de referencia en el cual se ha ubicado el fotograma escogido (que en este caso, al ser un plano sagital, se registrarán movimientos de flexión, extensión, planti y dorsiflexión). Los resultados obtenidos se registran en la tabla 16.

Tabla 16. Rangos de movilidad registrados en la figura del fotograma, de acuerdo al sistema de referencia

PLANO Y EJE	MOVIMIENTO	RANGO DE MOVILIDAD
Plano sagital y eje transversal	Extensión de cuello	22°
	Flexión de hombro	95°
	Flexión de Tronco	141°
	Flexión de cadera	38°
	Flexión de rodilla	Der: 34° - izq: 56°
	Plantiflexión tobillo	Der: 50° - izq: 58°

Fuente: elaboración propia.

Determinación y sumatoria de vectores de acción muscular en el gesto deportivo analizado

Una vez que se han registrado los rangos de movilidad articular que se observan en la figura de análisis, en el afán de determinar el comportamiento de las cadenas cinéticas activas en la realización de un gesto deportivo, se debe determinar uno o varios responsables musculares de todas las acciones articulares registradas anteriormente, por lo que es necesario realizar las determinaciones de los músculos que actúan en el desarrollo del gesto deportivo escogido, concretamente relacionados con las acciones articulares medidas.

Para la determinación de vectores de acción muscular es necesario tener los siguientes criterios:

El rango de movilidad articular, el cual es necesario para saber qué movimiento realiza cada articulación y en qué rango o grado lo hace. Este factor determina el grado de inclinación que tendrá el vector representativo de la acción muscular en el sistema de referencia en donde este se represente gráficamente. De igual forma, al saber la acción articular realizada, es muy fácil determinar el músculo que realiza dicha acción.

El origen y la inserción del músculo encargado de realizar la acción articular: para hacerse una idea de cuál es el brazo de palanca que tendrá el músculo sobre la articulación, para generar una acción completa de toda la cadena.

Si el músculo actúa de origen a inserción o de inserción a origen: este criterio determina el sentido del vector dentro del sistema de referencia en el cual se hará su representación gráfica. Cuando el músculo actúa de origen a inserción, el vector apunta su sentido hacia el punto (0,0) del sistema de referencia, en tanto que si actúa de inserción a origen, el sentido del vector estará dirigido hacia la parte externa del sistema de referencia, en donde se represente gráficamente el vector de acción.

Distribución de fibras del músculo analizado: existen varias formas en las cuales las fibras de un músculo están dispuestas. De igual manera hay músculos con distribución de fibras fusiformes, con fibras diagonales o triangulares, con distribución de fibras bipenadas o unipenadas. De esta forma, los músculos con distribución de fibras fusiformes o triangulares generan vectores de acción musculares de gran magnitud, mientras que los músculos con distribución de fibras bipenadas o unipenadas generan vectores de acción muscular de poca magnitud.

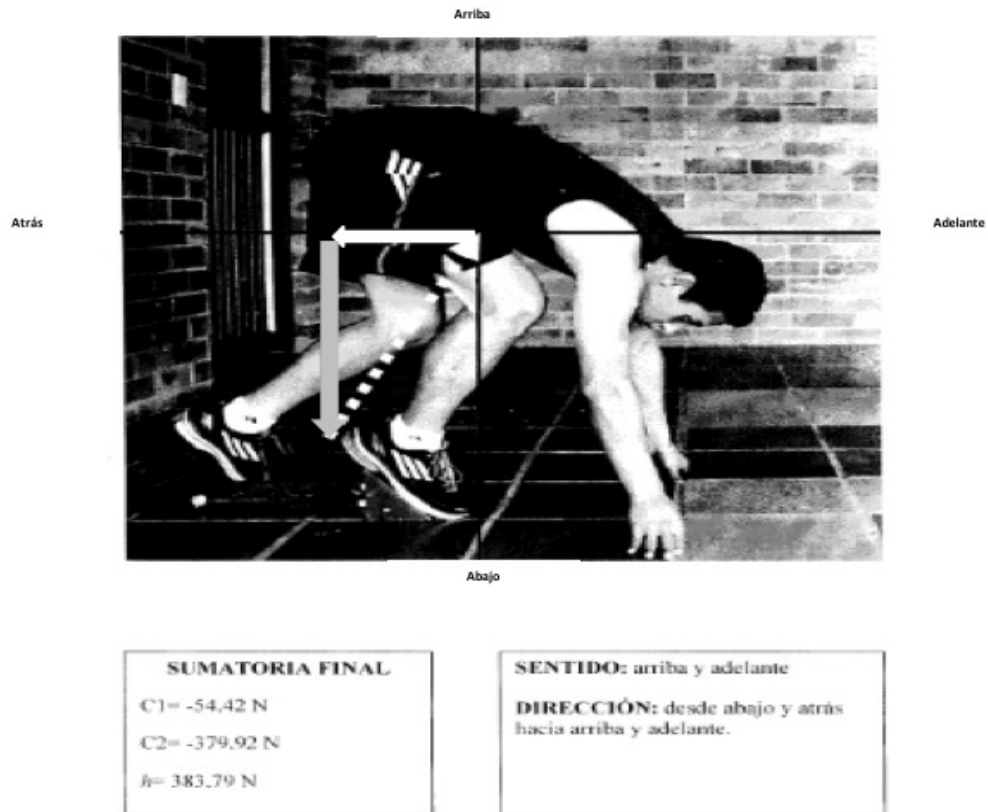
Valor (en Newton) de fuerza de acción que realiza el músculo analizado: en este caso siguiendo un parámetro descrito por Siff y Mel en 2000, que dice que en la acción muscular realizada en las actividades o ejercicios, los músculos de miembros superiores pueden generar fuerzas de entre 40–60 N, mientras que los músculos de miembros inferiores pueden generar fuerzas de entre 60–90 N, y los músculos de tronco generarán fuerzas de 60 N promedio (Ruiz, 2011; Ferro, 2012).

Con todos estos criterios, se procede a realizar una gráfica vectorial de cada acción muscular, determinando así cada uno de los vectores de acción muscular para el gesto deportivo analizado. La figura 60 muestra esta determinación para la posición de “en sus marcas” de la carrera de velocidad.

Una vez se han determinado todos los vectores de acción muscular, estos se deben disponer en el mismo sistema de referencia que se ha dispuesto desde el principio, y a partir de la aplicación de los tres métodos matemáticos de sumatoria vectorial (componentes, aritmético y Pitágoras) se determina el vector final resultante de la acción muscular y se ubica en el fotograma del gesto deportivo analizado, indicando no solo el módulo (o valor numérico obtenido), sino el sentido y la dirección del vector resultante, que debe corresponder con la acción motriz observada a simple vista, dispuesta en

el fotograma a analizar. La figura 60 muestra la resultante de las acciones musculares que se han determinado previamente para la posición de “en sus marcas” de la carrera de velocidad.

Figura 60. Resultante de fuerzas de acción muscular para la posición de “en sus marcas” de la carrera de velocidad



Fuente: elaboración propia.

Determinación del centro de gravedad en el fotograma escogido para el análisis

Por la aplicación del método segmentario o de clúster para el cálculo del centro de gravedad, se obtienen los siguientes datos, registrados en la tabla 17.

Tabla 17. Datos de ubicación de los centros de gravedad segmentarios y del porcentaje de peso relativo de los segmentos para el cálculo del centro de gravedad en la figura de análisis

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	94	7,42	54	4,26
Tronco	.511	63	32,19	65	33,21
Brazo superior derecho	.027	81	2,18	55	1,48
Brazo inferior derecho	.016	85	1,36	32,5	0,58
Mano derecha	.006	88	0,52	15	0,09
Brazo superior izquierdo	.027	79	2,13	52,5	1,41
Brazo inferior izquierdo	.016	79	1,26	38	0,6
Mano izquierda	.006	80	0,48	25	0,15
Muslo derecho	.097	55	5,33	45	4,36

Pierna inferior derecha	.045	55	2,47	32,5	1,46
Pie derecho	.014	38	0,53	26	0,36
Muslo izquierdo	.097	48,5	4,7	38	3,68
Pierna inferior izquierda	.045	34,5	1,55	28	1,26
Pie izquierdo	.014	17,5	0,24	29	0,4
Total de los productos			62,36		53,24

Fuente: elaboración propia.

De igual forma, la figura 61 muestra el resultado gráfico de dicho cálculo:

Figura 61. Ubicación del centro de gravedad en la figura de análisis



Fuente: elaboración propia.

Relación de las leyes de Newton con el gesto deportivo analizado

Se pueden relacionar los enunciados de las tres leyes de Newton en la posición de “en sus marcas”, de la siguiente forma:

- a. Primera ley de Newton: ley de la inercia. El atleta adopta una postura de equilibrio estático que le permite predisponer su cuerpo a la ejecución posterior de la carrera, siempre y cuando una fuerza no haga que el estado de equilibrio estático cambie. Este equilibrio estático (o estado inercial de reposo) se rompe en el instante en que el atleta escucha la señal de partida y comienza la puesta en acción, en donde el cuerpo entrará entonces en estado de equilibrio dinámico (o en movimiento). Dicho estado inercial de reposo se mantendrá en el transcurso de la carrera siempre y cuando una fuerza no cambie dicho estado.
- b. Segunda ley de Newton: esta se ve reflejada claramente en la puesta en acción que el atleta realiza luego de la señal de partida (instante inmediatamente posterior al mostrado en el fotograma). Al iniciar la carrera, el atleta busca aumentar progresivamente su velocidad hasta llegar a la máxima velocidad alcanzada. El proceso de aceleración del cuerpo del atleta tarda entre 30 a 50 metros y cuando ya alcanza su velocidad máxima, la aceleración generada es directamente proporcional a la fuerza muscular realizada (representada por los vectores de acción muscular determinados antes en esta sección) y es inversamente proporcional a la masa del cuerpo del atleta.
- c. Tercera ley de Newton – ley de acción/reacción: durante la puesta en acción se puede ver reflejada esta ley, debido a que gracias a la fuerza de acción muscular antes reportada, el deportista genera un vector de fuerza hacia el suelo, y el suelo a su vez genera una fuerza opuesta hacia el cuerpo del deportista. En este caso ambas fuerzas son de la misma magnitud pero en sentidos opuestos, por lo que el deportista en la posición de “en sus marcas” permanece en estado inercial de reposo (Ruiz, 2011; Ferro, 2012).

Relación de los conceptos de trabajo y energía con el gesto deportivo analizado

El trabajo hace referencia a la asociación de fuerza y el desplazamiento y se define como el producto de la fuerza por la distancia recorrida. A nivel muscular, la contracción isométrica constituye en este caso una ventaja al permitir mantener una posición concreta en la fase de “en sus marcas” de la carrera de velocidad. En este caso no se asume que se esté realizando un trabajo, pero sí existen fuerzas presentes que son las encargadas de que el atleta mantenga la forma básica del gesto deportivo. Aquí se aplica la premisa básica de “no toda fuerza produce movimiento o trabajo”. Por otra parte, durante la puesta en acción, el cuerpo del atleta sí realiza un trabajo. Debido a que la fuerza muscular generalizada por el deportista permite que este mismo recorra una distancia, entendiendo esta última como el inicio del periodo de aceleración de la carrera (Ruiz, 2011; Ferro, 2012).

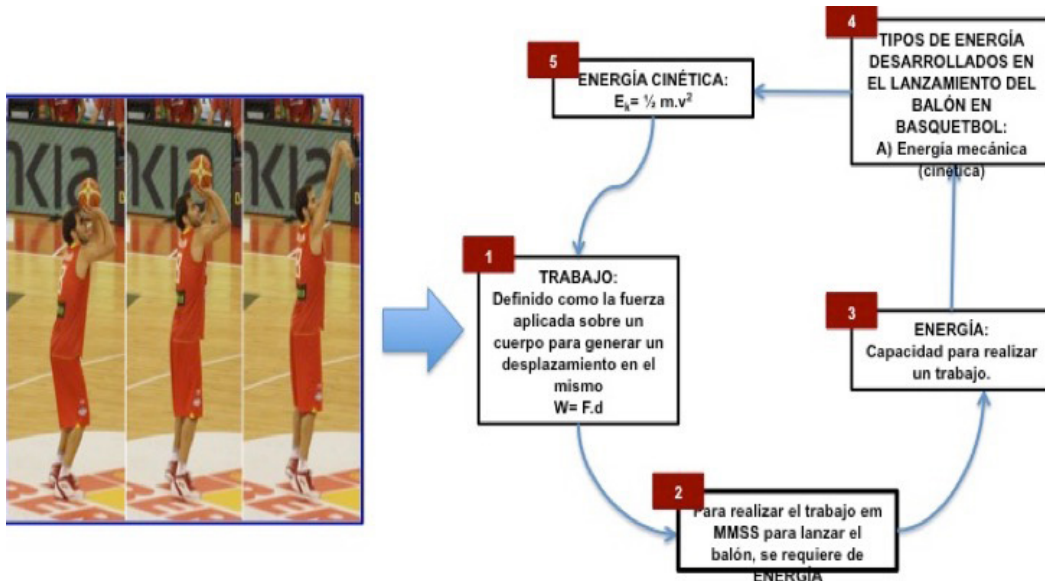
En cuanto al concepto de energía, para la fase concreta de “en sus marcas” se pensaría que no se gastaría energía ya que no hay trabajo realizado por el cuerpo del atleta. Sin embargo el simple hecho de que varios de los grupos musculares que se encuentran en contracción isométrica (especialmente los músculos de tronco), para mantener dicha postura, requieren de energía. De acuerdo con esto, en el contexto de este tipo de contracción, el músculo requiere de ATP, que a su vez lo obtiene de la glucosa, que se obtiene a partir de la digestión de los alimentos que permiten obtener los principales sustratos energéticos. Estos sustratos energéticos que el músculo utiliza para su contracción muscular, se denominan como energía química.

Asimismo, la energía química, siguiendo uno de los principios básicos nombrados en las leyes de la termodinámica que dice: “la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma”, se puede transformar y convertir en otro tipo de energía. Para el caso concreto de la posición de “en sus marcas” de la carrera de velocidad, la energía química obtenida de los alimentos, y convertida en ATP, se transforma en energía potencial que se puede acumular más específicamente en los tejidos elásticos no contráctiles, como tendones, ligamentos, fascias y aponeurosis, ayudando de esta forma a mantener la posición de “en sus marcas”. Esta energía química es la que igualmente facilita la contracción isométrica de los varios grupos musculares que específicamente en tronco y en miembros inferiores también se encargan de mantener la postura.

Entre tanto si se evalúa el instante inmediatamente posterior a esta posición de “en sus marcas” se observará que el atleta pasa de estar en una posición inercial de reposo a un estado inercial de movimiento, por lo que la energía química que se traduce en ATP para el músculo, lo hace en energía cinética, evidenciada por la contracción isotónica de los diferentes grupos musculares que se activan durante el movimiento del cuerpo del atleta en la realización del gesto deportivo de la carrera (Ruiz, 2011; Ferro, 2012).

Todo el análisis que se ha realizado hasta este momento, se puede resumir de forma más dinámica y práctica mediante un diagrama de flujo o cuadro sinóptico, en el cual se evidenciaría el establecimiento de una relación entre los conceptos de trabajo y energía. La figura 62 muestra un ejemplo de lo que podría ser un análisis de trabajo y energía para el gesto deportivo del lanzamiento del balón en el basketbol (fase de impulso) mediante un diagrama de flujo.

Figura 62. Ejemplo de diagrama de flujo de relación trabajo–energía en el lanzamiento del balón de basketbol



Fuente: elaboración propia.

Relación de los tejidos conectivos con el gesto deportivo analizado

Anteriormente se han descrito las cualidades de conformación de cada uno de los tejidos conectivos que conforman una cadena cinética, (entre ellos músculo esquelético, cartílago articular, ligamento, tendón y hueso). Cada uno de ellos tiene un comportamiento específico en la realización de gestos de movimiento. La idea para la realización de un análisis de gesto deportivo con respecto a la respuesta de los tejidos ante la carga, es escoger uno de los tejidos que tenga mayor papel en la realización del gesto deportivo. Para este caso concreto se escogerá el cartílago articular y su comportamiento en la realización de la posición de “en sus marcas” de la carrera de velocidad.

El cartílago articular es un tejido que se denomina como “poroso permeable” en la medida en que su estructura está dispuesta para absorber las cargas impuestas. De ahí que el cartílago se comporte mejor como tejido ante las cargas compresivas y cizallantes. Para este caso concreto, se escoge el cartílago articular que se encuentra dispuesto en las superficies articulares que conforman la articulación de los tobillos en el atleta de la figura 59. Se parte del hecho que los tobillos están sometidos, por la misma posición en la que se encuentran en la figura de “en sus marcas” en carga compresiva y cizallante. A partir de este tipo de carga, el cartílago articular bajo su conformación de “esponja” tiende a liberar agua hacia el espacio articular. La liberación de agua por parte del cartílago articular se presenta como consecuencia de dos factores básicos que se pueden explicar a continuación:

La disposición de los componentes de la matriz extracelular: la cual está en su gran mayoría constituida por agua y electrolitos (aniones —con carga negativa, ejemplo el cloro y cationes—con carga positiva, ejemplo el sodio y el potasio) y los elementos de su fase sólida como los glucosaminoglicanos, que forman una malla que permite que el cartílago sea o se vea estructuralmente como un tejido poroso, que facilita el intercambio de agua y de electrolitos con el medio ambiente externo.

La interacción del agua y de los electrolitos con carga negativa y positiva que se sucede al interior del tejido cartilaginosa, explicado mediante el efecto fisiológico de Gibbs y Donnan, que señala que “una partícula de gran tamaño molecular atrae partículas de carga opuesta y repele partículas de carga similar. En este caso, las proteínas de los proteoglicanos que conforman

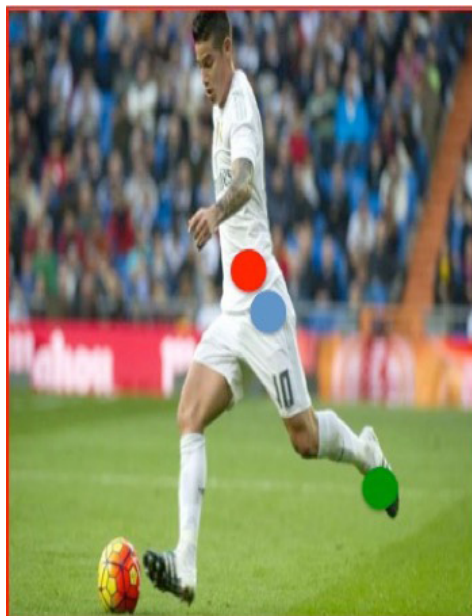
los GAGs tienen cargas negativas en sus grupos amino, y no pueden pasar la membrana celular, por lo que terminan atrayendo partículas de sodio y de potasio, que a su vez son atraídas con partículas de agua que entran al tejido, y repele cargas negativas de cloro, que a su vez arrastran partículas de agua al exterior. Es en este momento en donde el cartílago expulsa agua, amortiguando así la carga compresiva y cizallante existente en los tobillos.

Análisis de palancas en un gesto deportivo de movimiento

Dentro de los criterios que conforman el análisis cualitativo, está el análisis por palancas. Para realizar este tipo de análisis, es necesario tener en cuenta la definición de palanca, los tipos de palanca y las partes de una palanca. Se sabe que existen de esta forma, tres tipos de palanca, (de primer grado, de segundo grado y de tercer grado), con la ubicación de sus componentes en diferente orden (apoyo o fulcro – A, potencia – P, y resistencia – R).

En la figura que se muestra a continuación (ver figura 63) se muestra un ejemplo de lo que podría ser un análisis por palancas en el pateo en el fútbol.

Figura 63. Análisis por palancas en el pateo en el fútbol soccer



P= Potencia de la palanca – músculo psoas iliaco porción iliaca (origen: fosa iliaca, inserción: trocánter mayor del fémur.

A= Apoyo o Fulcro. Articulación coxofemoral. El músculo que sirve como potencia (psoas iliaco, actúa sobre la articulación coxofemoral.

R= Resistencia. El peso del pie y del balón, que es lo que se desea mover, en este caso con la mayor potencia posible.

LA PALANCA DESARROLLADA EN ESTA FASE DEL PATEO (IMPULSO) ES UNA PALANCA DE PRIMER GRADO, DADO QUE EL APOYO (A) SE ENCUENTRA ENTRE LA POTENCIA (P) Y LA RESISTENCIA (R).

Fuente: elaboración propia.

Referencias

- Ackland, T. (2008). *Applied Anatomy and Biomechanics in sports* (2nd edition). EUA: Human Kinetics.
- Aguado, J.X. (1993). *Eficacia y técnica deportiva. Análisis del movimiento humano*. Madrid: Editorial Inde.
- Aguilar, M. (2000). *Biomecánica: la física y la fisiología*. Madrid: Editorial Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Baumler, G., Schneider, K. (1989). *Biomecánica deportiva*. Barcelona: Editorial Martínez Roca.
- Belloch, S. y Pérez, P. (2016). *Biomecánica básica aplicada a la actividad física y el deporte*. Buenos Aires: Editorial Paidotribo.
- Bisquerra, R. (2004). *Metodología de la investigación educativa*. Madrid: Editorial La Muralla.
- Blazevich, A. (2013). *Sports biomechanics: the basic—optimising human performance*. London: Bloomsbury.
- Campos, A. (2013). *Ajuste curricular. Programa de Cultura Física, Deporte y Recreación*. Bogotá: Universidad Santo Tomás.
- Cromer, A.H. (2007). *Física para las ciencias de la vida*. Barcelona: Editorial Reverte S.A.
- Documento institucional. (2008). *Proyecto Educativo del Programa de Cultura Física, Deporte y Recreación—PEP*. Bogotá: Universidad Santo Tomás
- Documento institucional. (2008). *Proyecto Educativo Institucional—PEI*. Bogotá: Universidad Santo Tomás
- Ferro, A (2012). *La carrera de velocidad: metodología de análisis biomecánico*. Madrid: Editorial y librería deportiva Esteban Sanz.
- Giancoli, D. (2008). *Física*. Madrid: Editorial Prentice Hall.
- Gutiérrez, G (2005). *Principios de anatomía, fisiología e higiene: educación para la salud*. USA: Editorial Limusa.
- Gutiérrez—Dávila, M. (2015). *Fundamentos de biomecánica deportiva*. Madrid: Editorial Síntesis.
- Halton, G. (1993). *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas*. Barcelona: Editorial Reverte.
- Hamill, J. (2017). *Biomecánica, bases del movimiento humano*. EUA: Editorial Lippincott William and Wilkins.
- Hewitt, P. (2004). *Física conceptual*. México: Pearson.

- Izquierdo, M. (2008). *Biomecánica y bases neuromusculares de la actividad física y el deporte*. Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- López, S. (2014). *Historia de la biomecánica*. Nuevo León: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Lowe, J. y Stevens, A. (2015). *Histología humana*. Barcelona: Editorial Mosby – Elsevier.
- McDonald, S. (2005). *Física para las ciencias de la vida y de la salud*. Editorial Addison – Wesley Iberoamericana. Madrid, España.
- Miralles, R. (2007). *Biomecánica clínica de las patologías del aparato locomotor*. Barcelona: Editorial Masson.
- Moore, K. (2007). *Anatomía con orientación clínica*. Barcelona: Editorial médica panamericana.
- Muñoz, D. (2007). *Conceptos de biomecánica, con aplicaciones para ciencias de la salud y el deporte*. Buenos Aires: Editorial impresiones.
- Muybridge, E. (1887). *Human and animal locomotion*. Philadelphia: Taschen.
- Namakforoosh, M. (2005). *Metodología de la investigación* (2ª edición). México: Editorial Limusa, Noriega editores.
- Nigg, B. (1994). *Biomechanics of the musculo-skeletal system*. EUA: Editorial Wiley.
- Nordin, M. (2005). *Biomecánica básica del sistema musculoesquelético*. Madrid: Editorial McGraw-Hill.
- Palmer, A.R. (1994). *Development*.
- Ruiz, J. (2011). *Análisis del movimiento en el deporte*. Palmas Gran Canaria: Editorial Wanceulen Médica.
- Saunders (2004). *Scientific bases of human movement*. Philadelphia: Editorial Lippincott and Wilkins.
- Serway, R. (2010). *Física*. Bogotá: Editorial McGraw-Hill.
- Suárez, G.R. (2009). *Biomecánica deportiva y control del entrenamiento*. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia y Funámbulos editores.
- Viel, E. (2002). *La marcha humana, la carrera y el salto: biomecánica, exploraciones, normas y alteraciones*. Barcelona: Editorial Masson.
- Viladot, A., (2001). *Lecciones de biomecánica del aparato locomotor*. Madrid: Editorial Springer.
- Welsh, U. (2008). *Sobotta atlas de histología*. Madrid: Editorial Médica Panamericana.

LIBRO DE TRABAJO

BIOMECÁNICA

Contenido

Introducción	221
Sección I. Principios básicos aplicados a la biomecánica del movimiento corporal humano	223
Guía 1. Planos y ejes corporales	225
Guía 2. Unidades de medida, factores de conversión y tabla de múltiplos y submúltiplos de la unidad	227
Guía 3. Concepto de fuerza y magnitudes físicas vectoriales y escalares	229
Guía 4. Aplicación de los diversos métodos de sumatoria de vectores (método gráfico y métodos matemáticos) a situaciones concretas	231
Guía 5. Cinemática: movimientos desde la física – movimiento rectilíneo, movimiento rectilíneo uniformemente variado, movimiento semiparabólico/parabólico	233
Guía 6. Leyes de Newton y diagramas de cuerpo libre	237
Guía 7. Determinación del centro de gravedad a través del método clúster o segmentario	239
Guía 8. Palanca y máquinas motrices	243
Sección II. Biomecánica de tejidos conectivos (biomecánica tisular)	245

Guía 9: Laboratorio de biomecánica de tejidos. Disección de modelo animal de articulación sinovial (articulación de rodilla)	247
Guía 10. Biomecánica de tejidos conectivos. Propiedades físicas de los tejidos conectivos y composición macro y microestructural de los tejidos conectivos	251
Guía 11. Biomecánica de tejidos conectivos. Tipos de carga aplicados a los tejidos conectivos	253
Sección III. Análisis de gestos deportivos	255
Guía 12. Análisis de gesto deportivo I	257
Guía 13. Análisis de gestos de movimiento. Cadenas cinéticas II	261
Referencias	263

Introducción

“Biomecánica: desde la física mecánica al análisis de gestos deportivos”, es una obra que se puede considerar como un texto guía básico, donde se presentan los elementos que un estudiante del programa de Cultura Física, Deporte y Recreación debe manejar y aplicar en la construcción de procesos de análisis de gestos de movimiento (concretamente, gestos o praxias deportivas).

Este libro de trabajo, que es a su vez el complemento del libro texto guía del mismo nombre, tiene como objetivo fundamental constituirse como herramienta de trabajo autónomo de los estudiantes que están desarrollando las temáticas de la asignatura de biomecánica (es decir, estudiantes del Programa de Cultura Física, Deporte y Recreación que se encuentren cursando la asignatura de Biomecánica), o estudiantes de otras profesiones afines o pertenecientes al área de conocimiento del estudio del movimiento corporal humano, que deseen poner en práctica (autónoma) los conocimientos acerca de la Biomecánica.

El desarrollo de las guías que se exponen en este libro de trabajo corresponden a las temáticas desarrolladas en el libro texto guía de base, y se generan como la posibilidad pedagógica para que el estudiante aplique los conocimientos que adquirió en un espacio concreto de trabajo. Las guías o talleres que se encontrarán en este libro de trabajo estarán divididas por secciones y capítulos, tal como se encuentra organizado el libro texto guía. La gran mayoría de guías o talleres deberán ser resueltos con materiales que se encuentran fuera del espacio que ofrece este libro. Se espera que sea aprovechado en su totalidad y que incentive en los estudiantes el desarrollo de las estrategias autónomas de aprendizaje.

SECCIÓN I

Principios básicos aplicados a la biomecánica del movimiento corporal humano



Universidad Santo Tomás – Sede Bogotá, D.C.
Facultad de Cultura Física, Deporte y Recreación

Guía 1

Planos y ejes corporales

Objetivo de la guía

- Que el estudiante aplique el conocimiento adquirido sobre sistemas de referencia para el movimiento corporal humano, y así pueda resolver las preguntas y actividades planteadas en la presente guía.

Actividades a realizar: construcción de modelo artificial de movimiento

Materiales

Para el desarrollo de la actividad, se requieren los siguientes materiales:

- Plastilina de colores.
- Palitos de pincho.
- Palillos.
- Láminas de radiografía que ya no se usen.
- Láminas de cartulina o de cartón paja.

Procedimiento

1. Construir un modelo humano con cubos de plastilina (cabeza, tronco y extremidades).
2. Recortar las láminas de radiografía (o en su defecto recortar las láminas de cartulina o de cartón paja) en cuadrados que tengan el mismo tamaño del modelo humano hecho en plastilina. Estas láminas harán las veces de planos corporales. Se deben construir tres láminas: sagital, coronal y transversal.
3. Con los palos de pincho, construir tres ejes: latero–lateral, antero–anterior y longitudinal.

Actividades (pos realización del modelo)

1. De acuerdo con la información obtenida a partir del modelo humano, los estudiantes organizados por grupos deben diligenciar la siguiente tabla:

Plano	Movimientos
Sagital	
Coronal (Frontal)	
Transverso	
Eje	Movimientos
Latero-lateral	
Antero–posterior	
Longitudinal	

2. De acuerdo con lo anterior y la información registrada por cada grupo, buscar en el texto guía, en otros textos consultados, o en diagramas o dibujos, los planos y los ejes corporales. Comentar qué movimientos se asocian con cada eje y con cada plano, y señalar algunos ejemplos (en movimientos de la vida cotidiana como caminar o correr, o en la realización de movimientos deportivos, como lanzar o patear una pelota, patinar, saltar, etc.).



Universidad Santo Tomás – Sede Bogotá, D.C.
Facultad de Cultura Física, Deporte y Recreación

Guía 2

Unidades de medida, factores de conversión y tabla de múltiplos y submúltiplos de la unidad

Objetivos de la guía

- Que el estudiante reconozca las principales unidades de medida: básica, derivadas o compuestas, con las correspondientes magnitudes físicas a las que pertenezca dicha unidad de medida.
- Que el estudiante aplique los diferentes factores de conversión en ejercicios simples.
- Que el estudiante conozca los múltiplos y submúltiplos de la unidad y los aplique en el contexto de la conversión de unidades de medida dentro de una misma magnitud física.

Actividades a realizar

1. En grupos de no más de 5 personas, resolver los siguientes ejercicios:
 - a. Expresar las siguientes cantidades usando los prefijos de la tabla de múltiplos y submúltiplos de la unidad:

- 10^6 volts.
 - 10^{-6} metros.
 - 4×10^7 días.
 - 2×10^3 dólares.
 - 2×10^{-9} piezas.
- b. Determinar la estatura de cada uno de los integrantes del grupo en metros, en centímetros y en milímetros.
 - c. Determinar el factor de conversión entre kilómetro y millas, y entre km/h y mi/h.
 - d. Si la luna se encuentra a 24.000 millas de la tierra, ¿a cuántos metros equivale esta distancia? Se debe expresar utilizando: a) potencias de 10, b) prefijo métrico en la tabla de múltiplos y submúltiplos.
 - e. ¿Cuál es la distancia que puede recorrer un ciclista en 4 horas si su velocidad promedio es de 11,5 km/h?
2. Realizar una tabla que tenga en cuenta los siguientes elementos:
 - a. Unidades de medida básicas.
 - b. Unidades de medida derivadas.
 - c. Símbolos de las unidades de medida y su correspondiente abreviatura.
 3. Encontrar ejemplos de eventos que en la vida cotidiana se puedan medir y ser expresados con las unidades de medida que han revisado para la realización de esta guía. A partir de estos, realizar una tabla en donde se recopilen todos los ejemplos que se comentaron.



Universidad Santo Tomás – Sede Bogotá, D.C.
Facultad de Cultura Física, Deporte y Recreación

Guía 3

Concepto de fuerza y magnitudes físicas vectoriales y escalares

Objetivos de la guía

- Que el estudiante adquiera y aplique en el análisis de movimiento el concepto sobre fuerza (*fuerza motriz*).
- Que el estudiante sea capaz de definir el concepto de *magnitud física* y pueda reconocer sus diferentes clasificaciones (magnitudes físicas, vectoriales y escalares).

Actividad a realizar

A partir de la lectura del tema *Concepto de fuerza y magnitudes físicas vectoriales y escalares* del libro texto guía *Biomecánica: desde la física mecánica al análisis de gestos deportivos*, y complementando la lectura del tema con otros textos sugeridos en el programa del curso de Biomecánica, responder y resolver los siguientes puntos:

1. ¿Cómo se define *fuerza*?
2. ¿Existen varios tipos de fuerza? Si la pregunta es afirmativa, nombre los diferentes tipos de fuerza que se hayan encontrado.
3. ¿Qué se entiende por *fuerza motriz*?
4. Nombrar algunas situaciones de movimiento en donde se aplique y se explique el concepto de *fuerza/fuerza motriz*.
5. ¿Qué se entiende por *magnitud física*?
6. Describir la clasificación de las magnitudes físicas (de acuerdo a, si son simples, compuestas o de otro tipo).
7. ¿Qué se entiende por *magnitud física escalar*?
8. Nombrar algunos ejemplos de magnitudes físicas escalares que se encuentren en la vida cotidiana, o relacionados con el desarrollo de algún gesto deportivo. Argumentar muy bien la respuesta.
9. ¿Qué se entiende por *magnitud física vectorial*?
10. Nombrar algunos ejemplos de magnitudes físicas vectoriales que se encuentren en la vida cotidiana, o relacionados con el desarrollo de algún gesto deportivo. Argumentar muy bien la respuesta.



Universidad Santo Tomás – Sede Bogotá, D.C.
Facultad de Cultura Física, Deporte y Recreación

Guía 4

Aplicación de los diversos métodos de sumatoria de vectores (método gráfico y métodos matemáticos) a situaciones concretas

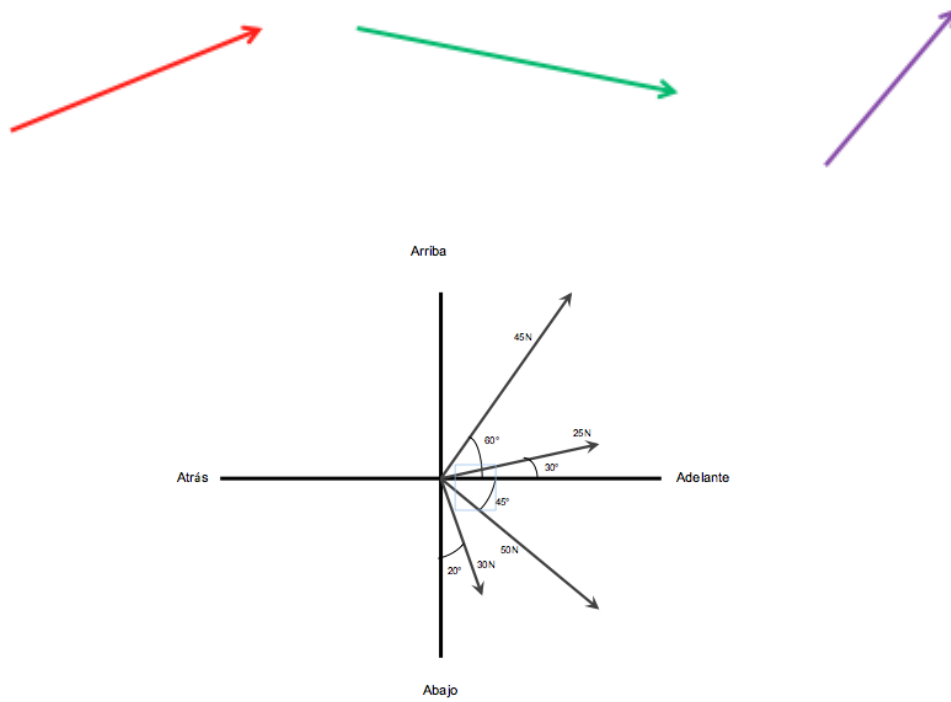
Objetivos de esta guía

- Que el estudiante reconozca los criterios básicos que hacen parte del método gráfico (o del paralelogramo) de sumatoria de vectores.
- Que el estudiante reconozca los criterios básicos que hacen parte de los métodos matemáticos de sumatoria de vectores (método aritmético, método de componentes y método de Pitágoras).
- Que el estudiante esté en capacidad de aplicar los criterios básicos de cada uno de los métodos de sumatoria de vectores (método gráfico y métodos matemáticos) en la resolución de ejercicios concretos relacionados con estos temas.

Actividades a realizar

1. En grupos no mayores de 5 estudiantes, resolver el ejercicio de sumatoria de vectores de la figura 1 ubicado en un plano sagital, teniendo en cuenta que para ello se debe hacer uso de los tres métodos matemáticos para la sumatoria de vectores en el siguiente orden: a) método de componentes, b) método aritmético, c) método de Pitágoras.
2. En los mismos grupos conformados, resolver los siguientes ejercicios:
 - a. Un explorador camina 22 km hacia el sur, y posteriormente camina 47 km hacia el noreste con un ángulo de inclinación de 45° , ¿cuál es el desplazamiento resultante desde el origen?
 - b. Un avión cuya velocidad en el aire es de 200 km/h se dirige hacia el norte, pero de pronto un viento del noreste comienza a soplar a 100 km/h, ¿cuál es la velocidad resultante del avión con respecto al suelo?
3. A partir del uso del método de sumatoria gráfica de vectores (método de Pitágoras), sumar los siguientes vectores:

Figura 1. Para la realización del punto 1



Fuente: elaboración propia.



Universidad Santo Tomás – Sede Bogotá, D.C.
Facultad de Cultura Física, Deporte y Recreación

Guía 5

Cinemática: movimientos desde la física – movimiento rectilíneo, movimiento rectilíneo uniformemente variado, movimiento semiparabólico/ parabólico

Objetivos de la guía

- Que el estudiante entienda el movimiento, teniendo en cuenta las posibles formas en las que se puede generar (en forma lineal o en forma rotacional), a partir de las herramientas que le brinda la cinemática, rama de la física que estudia el movimiento de un cuerpo en el espacio, sin tener en cuenta las causas que lo producen.
- Que el estudiante reconozca y apropie las características de cada uno de los movimientos, que desde la cinemática explican el movimiento de un cuerpo en el espacio.

Actividades a realizar

1. En grupos de máximo 4 personas, y a partir de las lecturas realizadas sobre la temática *Movimientos desde la física* descrita en el texto guía *Biomecánica: de la física mecánica al análisis de tejidos conectivos*, y lecturas complementarias, responder las siguientes preguntas:
 - a. ¿Qué se entiende por velocidad?
 - b. ¿Qué se entiende por aceleración?
 - c. ¿Qué se entiende por cinemática?
 - d. ¿Qué se entiende por cinética?
 - e. ¿Qué se entiende por dinámica?
 - f. ¿Cuáles son las características que hacen parte y que determinan el movimiento rectilíneo?
 - g. Describir cada una de las fórmulas que presentan las características del movimiento rectilíneo uniforme.
 - h. ¿Cuáles son las características que hacen parte y determinan el movimiento rectilíneo uniformemente variado?
 - i. Describir cada una de las fórmulas que presentan las características del movimiento rectilíneo uniformemente variado.
 - j. ¿Cuáles son las características que hacen parte y determinan el movimiento semiparabólico?
 - k. Describir cada una de las fórmulas que presentan las características del movimiento semiparabólico.
 - l. ¿Cuáles son las características que hacen parte y determinan el movimiento parabólico?
 - m. Describir cada una de las fórmulas que presentan las características del movimiento parabólico.
2. Resolver los siguientes problemas:
 - a. ¿Cuál es la distancia que puede recorrer un ciclista en 4 horas si su velocidad promedio es de 11,5 km/h?
 - b. Una partícula se mueve a través del eje x, su posición en función del tiempo está dada por la ecuación $x = At^2 + B$ en donde $A = 2,10 \text{ m/s}^2$ y $B = 2,80 \text{ m}$. Determinar; a) el desplazamiento de la partícula durante el intervalo de tiempo desde $t_1 = 3 \text{ s}$ hasta $t_2 = 5 \text{ s}$, b) la velocidad promedio durante este intervalo de tiempo, y c) la magnitud de la velocidad instantánea en $t = 5 \text{ s}$.

- c. Supóngase que una partícula se mueve en línea recta de modo que su posición está dada por la ecuación $x = (2,10 \text{ m/s}^2)t^2 + (2,80 \text{ m})$. Calcular: a) la aceleración promedio durante el intervalo de tiempo desde $t_1 = 3 \text{ s}$ hasta $t_2 = 5 \text{ s}$, y b) su aceleración instantánea como función del tiempo.
- d. Se suelta una pelota desde una torre de 70 m de altura. ¿Qué distancia habrá recorrido después de 1, 2 y 3 segundos? Considérese y positiva hacia abajo para este problema.
- e. Una persona arroja una pelota hacia arriba con una velocidad inicial de 15 m/s. Calcular: a) ¿cuánto subirá?, y b) ¿cuánto tiempo estará en el aire antes de regresar a su mano?
- f. Un objeto parte desde el reposo ($v_1 = 0$) en $t_1 = 0$ y se acelera a una razón dada por $a(t) = (7 \text{ m/s}^2)t$. ¿Cuál es a) su velocidad, y b) su desplazamiento 2 segundos después?
- g. Se lanza una piedra horizontalmente desde una cumbre de 115 m de altura y cae al suelo a una distancia de 92,5 m de la base de la cumbre. ¿Con qué velocidad se lanzó?
- h. Se patear un balón de fútbol formando un ángulo de 37° con una velocidad de 20 m/s. Calcular: a) la altura máxima, b) el tiempo que tarda antes de golpear al suelo, y c) la distancia a la que cae al suelo.



Universidad Santo Tomás – Sede Bogotá, D.C.
Facultad de Cultura Física, Deporte y Recreación

Guía 6

Leyes de Newton y diagramas de cuerpo libre

Objetivos de la guía

- Que el estudiante reconozca las características básicas de la dinámica Newtoniana, con base en la adquisición de los preceptos de cada una de las leyes de Newton.
- Que a partir del entendimiento de las leyes de Newton, pueda hacer una representación gráfica de las fuerzas que intervienen en el desarrollo de un gesto de movimiento, a partir de la realización de un diagrama de cuerpo libre.

Actividades a realizar

1. ¿Cómo se constituye un diagrama de cuerpo libre y qué objetivo tiene?
2. Enunciar cada una de las leyes de Newton y por cada ley enunciada describir un ejemplo de movimiento corporal en donde se relacione el enunciado de cada ley.
3. Escoger una foto (de revistas o de Internet) de un gesto deportivo (que sea de cuerpo completo y que se encuentre en plano sagital o coronal) y en ella dibujar un diagrama de cuerpo libre, ubicando:
 - a. Vector de fuerza de acción.
 - b. Vector de fuerza de reacción.

- c. Vector de fuerza de gravedad.
- d. Vector de fuerza normal.



Universidad Santo Tomás – Sede Bogotá, D.C.
Facultad de Cultura Física, Deporte y Recreación

Guía 7

Determinación del centro de gravedad a través del método clúster o segmentario

Objetivos de la guía

- Que el estudiante pueda hacer el cálculo y ubicación precisa del centro de gravedad en una fotografía de un gesto deportivo, mediante la aplicación del método para el cálculo del centro de gravedad.
- Que el estudiante entienda los conceptos de centro de gravedad y de centro de masa en un cuerpo en equilibrio y en movimiento.

Actividades a realizar: cálculo del centro de gravedad a través del método segmentario

Materiales

Para el desarrollo de la actividad, se requieren los siguientes materiales:

- Papel milimetrado y lápiz.
- Fotografía de la figura a analizar.
- Lápiz y colores.
- Tablas de valores constantes – método clúster o segmentario.
- Regla o escuadra.

Procedimiento

1. En cada grupo, escoger a uno de los compañeros, quien servirá de modelo para tomar la fotografía del gesto de movimiento en el cual calcularán el centro de gravedad. La fotografía que se debe tomar es de cuerpo completo en cualquiera de los dos planos sugeridos (sagital – “de medio lado”, o coronal – “de frente o de espaldas”).
2. Ubicar la foto obtenida sobre un papel cuadriculado o milimetrado.
3. Hacia el lado izquierdo de la foto, trazar el sistema de referencia a utilizar (ejes Y y X) con escala de medición para cada uno (que puede ser de 5 en 5, o como prefieran).
4. Sobre la figura, con un color que se pueda distinguir, marcar los centros de gravedad segmentarios, de acuerdo al mapa que ofrece para tal fin el método segmentario (o método clúster).
5. Determinar la ubicación de cada uno de los centros de gravedad segmentarios (CGS) tanto en el eje X como en el eje Y, y a su vez, multiplicar el valor obtenido de esta ubicación por el valor que se registra para el porcentaje de peso relativo de cada segmento).
6. Sumar todos los resultados obtenidos en X y en Y.

7. Ubicar sobre la fotografía analizada, el valor del cruce entre el punto sumatoria de Y y el de sumatoria del eje X. Este corresponderá con el centro de gravedad.

Actividad 2: centro de masa

En grupos, responder las siguientes preguntas:

1. ¿A qué hace referencia el término de centro de masa? (La respuesta debe ser referenciada).
2. Nombrar la fórmula o fórmulas que se utilizan para el cálculo del centro de masa. (Explicar cada componente de la fórmula).
3. En la figura en la que calculó el centro de gravedad, calcular y ubicar el centro de masa.



Universidad Santo Tomás – Sede Bogotá, D.C.
Facultad de Cultura Física, Deporte y Recreación

Guía 8

Palancas y máquinas motrices

Objetivos de la guía

- Que el estudiante adquiera conocimientos acerca del tema de palancas: concepto, clases o tipos de palancas, y aplicaciones al movimiento corporal.
- Que el estudiante pueda aplicar el concepto de palanca a situaciones concretas de movimiento.

Actividades a realizar

A partir de la lectura del tema: *Palancas en el cuerpo humano* del libro texto guía: *Biomecánica: de la física mecánica al análisis de gestos deportivos*, responder las siguientes preguntas:

1. ¿Qué se define como máquina motriz?
2. ¿Qué se define o se entiende por palanca?
3. ¿Cuáles son las partes de una palanca? Hacer un gráfico de la situación e identificar las partes.
4. En las siguientes situaciones de movimiento que se plantean, identificar los tipos de palanca existentes y clasificarlas según su clase (primera clase, segunda clase y tercera clase). Argumentar la clasificación dada:

- a. Un niño pateando un balón de fútbol. (Explicar palancas generadas en miembros inferiores).
- b. Un joven haciendo una cesta en basquetbol. (Explicar palancas generadas en miembros superiores).
- c. Una señora que se agacha a recoger algo del piso. (Explicar palancas generadas en tronco).

SECCIÓN II

BIOMECÁNICA DE TEJIDOS (BIOMECÁNICA TISULAR)



Universidad Santo Tomás – Sede Bogotá, D.C.
Facultad de Cultura Física, Deporte y Recreación

Guía 9

Laboratorio de biomecánica de tejidos. Disección de modelo animal de articulación sinovial (articulación de rodilla)

Objetivos de la guía

Que el estudiante reconozca en el modelo animal de la articulación sinovial, los principales tejidos conectivos implicados en la locomoción: hueso, ligamento, tendón, músculo esquelético y cartílago articular.

Que el estudiante describa las características macroscópicas de cada uno de los tejidos conectivos, anteriormente nombrados.

Actividades a realizar

Materiales

Para el desarrollo de la actividad, se requieren los siguientes materiales:

- Bata de laboratorio.
- Guantes de manejo.
- Tapabocas (opcional).
- Equipo de disección o bisturí.
- Rodilla de cerdo, res o gallina.
- Hojas de examen y esfero.
- Colores.

Metodología

1. Ubicar las estructuras biológicas sobre la mesa de trabajo.
2. Simultáneamente observar cuidadosamente y con detenimiento cada una de las partes que componen cada segmento (macro anatomía). Realizar el dibujo correspondiente con lo que se ha observado.
3. Dividir el trabajo en el grupo y realizar cuidadosamente el corte del tejido de los tres segmentos, separando inicialmente la piel (corte longitudinal), el tejido graso y el tejido conectivo circundante (fascias y aponeurosis), cuidando de no dañar la cápsula articular, ligamento o tendón. Identificar de externo hacia interno cada uno de los tejidos biológicos encontrados.
4. Describir cada uno de los tejidos observados teniendo en cuenta las características de color, forma, textura, lugar de inserción, nivel de vascularidad y funciones.
5. De manera minuciosa, continuar con la disección hasta dejar más evidentes cada uno de los tejidos, sin alterar la estabilidad articular y describir cada uno de los tejidos encontrados con mayor detalle.
6. Observar las características del líquido de la rodilla observada.
7. Aplicar carga a la estructura, incluyendo la piel, y explicar las respuestas que se han observado de cada tejido.
8. Sacar las conclusiones desde lo personal y lo aprendido en la asignatura.

9. Elaborar un cuadro sinóptico en el cual represente la clasificación articular de acuerdo con las categorías, estructura y función. Determinar las características de cada tejido, el componente biológico y los movimientos de la articulación por planos y ejes.



Universidad Santo Tomás – Sede Bogotá, D.C.
Facultad de Cultura Física, Deporte y Recreación

Guía 10

Biomecánica de tejidos conectivos. Propiedades físicas de los tejidos conectivos y composición macro y microestructural de los tejidos conectivos

Objetivos de la guía

- Que el estudiante aprenda cómo están conformados los tejidos conectivos (macro y microscópicamente).
- Que el estudiante aprenda cada una de las propiedades físicas de los tejidos conectivos.
- Que el estudiante entienda el comportamiento de cada tejido desde su conformación macro y microestructural.

Actividades a realizar

- En grupos no mayores a 4 personas, responder las siguientes preguntas:
 - ¿A qué hace referencia el término de elastancia?
 - ¿A qué hace referencia el término de plasticidad?
 - ¿A qué hace referencia el término de anisotropía?
 - ¿A qué hace referencia el término viscoelasticidad?
 - ¿Qué entiende cuando lee o le dicen que un material es bifásico?
 - ¿Qué entiende por el término de porosidad?
 - ¿Qué entiende por rigidez absoluta y por rigidez relativa?
- En los mismos grupos ya conformados, realizar cuatro cuadros sinópticos en los que se explique la conformación microestructural (células y matriz extracelular) de los siguientes tejidos conectivos: a) óseo, b) ligamentario y tendinoso, c) cartilaginoso, d) muscular.
- Relacionar los enunciados o conceptos descritos en la columna A con los descritos en la columna B.

Columna A	Columna B
A. Elastancia/Elasticidad	_____ Propiedad física que depende de la orientación de los elementos que componen la matriz extracelular de los tejidos conectivos.
B. Plasticidad	_____ Propiedad física que tienen todos los tejidos conectivos.
C. Viscoelasticidad	_____ Propiedad física del hueso que depende del colágeno tipo I que tiene en su matriz extracelular.
D. Rigidez absoluta	_____ Propiedad física de los tejidos conectivos que depende de los proteoglicanos.
E. Rigidez relativa	_____ Propiedad física que depende de la elastina.
F. Bifasicidad	_____ Propiedad física dada por los cristales de hidroxiapatita del tejido óseo
G. Anisotropía	_____ Propiedad física que es dada por la presencia del colágeno en la matriz extracelular de los tejidos



Universidad Santo Tomás – Sede Bogotá, D.C.
Facultad de Cultura Física, Deporte y Recreación

Guía 11

Biomecánica de tejidos conectivos. Tipos de carga aplicados a los tejidos conectivos

Objetivos de esta guía

- Que el estudiante comprenda qué tipos de carga pueden ser soportados en los tejidos conectivos y cómo estos se comportan ante las diferentes cargas, de acuerdo no solo a su conformación estructural sino a la geometría del tejido.

Actividades a realizar

1. Consultar y definir los siguientes conceptos:
 - a. Carga tensil.
 - b. Carga compresiva.
 - c. Carga cizallante.
 - d. Carga angular.
 - e. Carga en torsión.

2. Describir por medio de un cuadro (o de un mapa conceptual o de un cuadro sinóptico) cómo se comporta cada uno de los tejidos antes mencionados (óseo, muscular, ligamentario, tendinoso y cartilaginoso) ante los tipos de carga antes definidos.

SECCIÓN III

ANÁLISIS DE GESTOS DEPORTIVOS



Universidad Santo Tomás – Sede Bogotá, D.C.
Facultad de Cultura Física, Deporte y Recreación

Guía 12

Análisis de gesto deportivo I

Objetivo de la guía

- Que el estudiante aplique los conocimientos que sobre planos, ejes, rangos de movilidad articular, vectores, y centro de gravedad tenga, en el análisis de gestos deportivos.

Actividades a realizar

Materiales

Para el desarrollo de la actividad, se requieren los siguientes materiales:

- Fotografía de cuerpo completo en plano sagital o coronal del gesto deportivo que se quiere analizar.
- Hojas milimetradas (tamaño carta y oficio).
- Regla o escuadra.
- Transportador.
- Lápices de colores.
- Calculadora científica.
- Hojas cuadriculadas.

Puntos a realizar

Por grupos no mayores a 6 personas, tomar la fotografía del gesto deportivo que se quiere analizar, y realizar lo siguiente:

1. Ubicar la fotografía seleccionada sobre el papel milimetrado. A partir de su ubicación, trazar el plano que corresponda y determinar los puntos de referencia para el plano que se ha trazado (por ejemplo, si lo que se determinó fue un plano sagital, deben determinarse los puntos de referencia: arriba, abajo, adelante y atrás).
2. Una vez se ha situado la fotografía en el sistema de referencia y se han determinado los puntos de referencia, con ayuda del transportador medir los ángulos de movimiento articular registrados en las articulaciones observadas en la fotografía escogida para el análisis. La medición de los ángulos en cada articulación solo corresponderá con el plano que se haya determinado en el punto inmediatamente anterior, (por ejemplo, si el plano determinado para la fotografía es un plano sagital, los únicos movimientos que se registrarían a nivel articular, medidos con el transportador, serían los movimientos de flexo – extensión, en cada una de las articulaciones que se observen en dicha fotografía que sean capaces de realizar estos movimientos). Con estos datos registrados se debe realizar un tabla de informe que indique los grados de movilidad articular medidos, y a qué movimiento corresponde dicho rango de movilidad articular registrado.
3. Una vez se hayan medido los rangos de movilidad articular en cada articulación, utilizando el transportador, hacer una determinación de los vectores de acción muscular, al respecto de los rangos de movilidad articular. Para esta determinación se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:
 - a. Observar muy bien la fotografía a analizar y los movimientos realizados en cada articulación (por ejemplo, si se determina flexión de hombro de 90° a partir de esta determinación saber qué músculo se encarga de esta flexión de hombro).
 - b. Si este músculo es lo principal para el movimiento determinado o si es solo de ayuda (agonista o sinergista).
 - c. Si es de potencia o de fuerza resistencia. Generalmente los músculos de los miembros superiores e inferiores son de potencia y los de tronco de fuerza resistencia. Asimismo, el grado de angulación que tendrá

el vector sobre el plano será el del rango de movilidad articular. El valor de cada vector será asignado de la siguiente forma:

- Músculos de miembros superiores: entre 40 y 50 N.
 - Músculos de miembros inferiores: entre 60 y 80 N.
 - Músculos de tronco y cuello: 60 N.
- d. Origen e inserción del músculo analizado: y determinar si el músculo actúa de origen a inserción o de inserción a origen.
4. Una vez se hayan determinado los vectores en este punto, se deben graficar uno por uno teniendo en cuenta estas características y utilizando un sistema de referencia de ubicación (plano sagital o coronal). De igual manera, se deben ubicar en un sistema de referencia general (el mismo que hayan escogido en un inicio para ubicar la fotografía a analizar), y luego sí sumarlos teniendo en cuenta el rango de movilidad articular (que corresponderá con el rango de movilidad articular dependiente del músculo a graficar), y el valor en fuerza (Newton) de cada músculo, basándose en los valores que se han nombrado anteriormente. En este punto se debe presentar el resultado matemático y gráfico de la sumatoria de todos los vectores de acción muscular.



Universidad Santo Tomás – Sede Bogotá, D.C.
Facultad de Cultura Física, Deporte y Recreación

Guía 13

Análisis de gestos de movimiento - cadenas cinéticas II

Objetivos de la guía

- Que el estudiante esté en capacidad de aplicar los conocimientos adquiridos acerca de las leyes de Newton, diagramas de cuerpo libre, trabajo y energía, y biomecánica de tejidos en el análisis de gestos deportivos de movimiento.

Actividades a realizar

Puntos a realizar

1. Sobre la fotografía a analizar, calcular a través del método segmentario, el centro de gravedad. En esta misma fotografía se debe realizar el diagrama de cuerpo libre de la figura analizada, ubicando las fuerzas

que estarían actuando sobre ella en el desarrollo del gesto deportivo analizado.

2. A partir del análisis realizado desde el diagrama de cuerpo libre, realizar un escrito de no más de una página en donde se relacione cada una de las leyes de Newton con el gesto deportivo analizado.
3. A partir de la fotografía escogida para el análisis, realizar un escrito que muestre la relación entre el gesto deportivo analizado y los conceptos de trabajo y energía (no mayor a una página).
4. A partir de la fotografía escogida para el análisis, realizar un escrito en donde se relacionen las características de un tejido conectivo (de los vistos en clase) para relacionarlo con el gesto deportivo escogido.

Referencias

- Ackland, T., et al (2008). *Applied anatomy and biomechanics in sports* (2nd edition). EUA: Human Kinetics.
- Aguilar, M. (2004). *Biomecánica: la física y la fisiología*. Madrid: Editorial Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Aguado, X. (1993). *Eficiencia y técnica deportiva. Análisis del movimiento humano*. Madrid: Editorial Inde.
- Baumler, G., Schneider, K. (1989). *Biomecánica deportiva*. Barcelona: Editorial Martínez Roca.
- Belloch et al (2016). *Biomecánica básica aplicada a la actividad física y el deporte*. Buenos Aires: Editorial paidotribo.
- Bisquerra, R. (2009). *Metodología de la investigación educativa*. Madrid: Editorial La Muralla.
- Bruel, A., et al (2015). *Gennesar Histología*. Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- Campos, A. (2013). *Ajuste curricular. Programa de Cultura Física, Deporte y Recreación*. Bogotá: Universidad Santo Tomás.
- Cromer, H. (2004). *Física para las ciencias de la vida*. Barcelona: Editorial Reverte S.A.
- Documento institucional. (2008). *Proyecto Educativo Institucional—PEI*. Bogotá: Universidad Santo Tomás.
- Documento institucional. (2008). *Proyecto Educativo del Programa de Cultura Física, Deporte y Recreación—PEP*. Bogotá: Universidad Santo Tomás.
- Dofour, M., Pillu, M. (2006). *Biomecánica funcional: bases anatómicas*. Madrid: Editorial Elsevier—Masson.
- Donskoi, D. (1988). *Biomecánica de los ejercicios físicos*. La Habana: Editorial pueblo y educación.
- Franklin, K., et al. (2010). *Introduction to biological physics for the health and life sciences*. London: Wiley.
- Ferro – Sánchez, A (2012). *La carrera de velocidad: metodología de análisis biomecánico*. Madrid: Editorial y librería deportiva Esteban Sanz.
- Fucci, S. Benigni, M. (1988). *Biomecánica del aparato locomotor aplicado al acondicionamiento muscular*. Barcelona: Editorial Doyma.
- Gartner, L., et al. (2011). *Histología básica*. Madrid: Editorial Elsevier España.
- Giancoli, D. (2002). *Física, tomo I*. Madrid: Editorial Prentice Hall—Interamericana.

- Gómez, M. (2006). *Introducción a la metodología de la investigación científica*. Córdoba, Argentina: Editorial Brujas.
- Gowitzke, B., Milner, M. (2000). *El cuerpo y sus movimientos: bases científicas*. Barcelona: Editorial Paidotrobo.
- Gutiérrez-Dávila, M. (2015). *Fundamentos de biomecánica deportiva*. Madrid: Editorial Síntesis.
- Gutiérrez, G (2005). *Principios de anatomía, fisiología e higiene: educación para la salud*. USA: Editorial Limusa.
- Hamill, J. (2017). *Biomecánica, bases del movimiento humano*. EUA: Editorial Lippincott William and Wilkins.
- Halton, G. (1993). *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas*. Barcelona: Editorial Reverté.
- Izquierdo, M. (2005). *Las bases neuromusculares de la actividad física y el deporte*. Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- Izquierdo, M. (2008). *Biomecánica y bases neuromusculares de la actividad física y el deporte*. Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- Kapandji, L.A., (2005). *Cuaderno de fisiología articular*. Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- Larson, R., Hostetler, R. (2009). *Cálculo y geometría analítica*. EUA: Editorial McGraw-Hill.
- Litwin, J. (2008). *Evaluación y estadísticas aplicadas a la educación física y el deporte*. EUA: Editorial Stadium.
- López-Román, A. (2003). *Biofísica aplicada a la biomecánica del cuerpo humano*. Madrid: Editorial Bellisco.
- López, S. (2004). *Historia de la biomecánica*. Nuevo León: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Lowe et al (2015). *Histología humana*. Barcelona: Editorial Mosby-Elsevier.
- Luttgens, K.D., (2002). *Kinesiología, bases científicas del movimiento humano*. EUA: Editorial Lea & Febinger.
- Llanos, L. (1999). *Introducción a la biomecánica*. Medellín: Editorial Funanbulos.
- Marín, B et al (1997). *Introducción a la medicina y ciencias del deporte, III: La actividad Física y el deporte en la sociedad actual*. Oviedo: Editorial Universidad de Oviedo.
- Miralles, R. (2007). *Biomecánica clínica de las patologías del aparato locomotor*. Barcelona: Editorial Masson.
- McDonald, S. (2000). *Física para las ciencias de la vida y de la salud*. Madrid: Editorial Addison-Wesley Iberoamericana.
- Mc Ginnins. (2013). *Biomechanics of sports and exercise* (3th edition). New York: Human Kinetics.

- Meinel, K. (1977). *Didáctica del movimiento*. México: Editorial Manual Moderno.
- Miralles, R., et al. (2000). *Biomecánica clínica del aparato locomotor*. Barcelona: Editorial Masson.
- Moore, K. (2007). *Anatomía con orientación clínica*. Barcelona: Editorial médica Panamericana.
- Muñoz–Andisco, D. (2007). *Conceptos de biomecánica, con aplicaciones para ciencias de la salud y el deporte*. Buenos Aires: Editorial impresiones.
- Muybridge, E. (1887). *Philadelphia: Human and animal locomotion*. Philadelphia: Editorial Lippincott and Wilkins.
- Namakforoosh, M. (2005). *Metodología de la investigación* (2ª edición). México: Editorial Limusa - Noriega editores.
- Nigg et al (1994). *Biomechanics of the musculo-skeletal system*. EUA: Editorial Wiley.
- Nordin, M. (2007). *Biomecánica básica del sistema musculoesquelético*. Madrid: Editorial Mc Graw Hill.
- Pila, A. (1988). *Educación física deportiva*. Medellín: Editorial Didáctica.
- Ross et al (2007). *Histología: texto y atlas color con biología celular y molecular*. Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- Ruiz–Caballero, J. et al (2011). *Análisis del movimiento en el deporte*. Palmas Gran Canaria: Editorial Wanceulen Médica.
- Saunders (2004). *Scientific bases of human movement*. Philadelphia: Editorial Lippincott and Wilkins.
- Serway, R. (2010). *Física*. Madrid: Editorial McGraw-Hill.
- Usaqui, L. (2011). *Apuntes de fisiología*. Madrid: Elsevier.
- Viel et al (2002). *La marcha humana, la carrera y el salto: Biomecánica, exploraciones, normas y alteraciones*. Barcelona: Editorial Masson.
- Viladot, A., et al. (2001). *Lecciones de biomecánica del aparato locomotor*. EUA: Editorial Springer.
- Watkins, J. (2007). *An introduction to biomechanics of sports and exercise*. EUA: Churchill livingstone elsevier.
- Welsh et al (2008). *Sobotta atlas de histología*. Madrid: Editorial Médica Panamericana.