

# DESCRIPCIÓN/ANÁLISIS CINEMÁTICO DEL MOVIMIENTO HUMANO

PROF. EDGAR LOPATEGUI CORSINO

M.A., Fisiología del Ejercicio

Universidad Interamericana de PR - Metro, Facultad de Educación, Dept. de Educación  
Física

PO Box 191293, San Juan, PR 00919-1293

[Tel: 250-1912, X2286; Fax: 250-1197]

---

## CONSIDERACIONES PRELIMINARES

### Definiciones/Conceptos

#### Movimiento

El acto o proceso de cambiar en espacio y tiempo de lugar o posición, volumen, o forma de un cuerpo o segmentos de éste u objeto (sistema) con respecto a algún marco de referencia.

#### Movimiento relativo

La relación del movimiento al objeto o punto específico de referencia (e.g., un pasajero se encuentra en reposo relativo al avión en que se encuentra, pero en movimiento relativo a la tierra).

#### Cinemática

Descripción geométrica (analítica y matemática) del movimiento de los cuerpos u objetos en el espacio, en términos de desplazamiento/distancia, velocidad y aceleración por unidad de tiempo, sin considerar las fuerzas balanceadas o desbalanceadas que causan el movimiento en un sistema, con el fin de establecer el tipo, dirección y cantidad de movimiento.

#### Cinemática lineal

Descripción del movimiento que se realiza en una línea recta, i.e., cinemática de la traslación o movimiento lineal.

#### Cinemática angular

Descripción del movimiento que se lleva a cabo alrededor de un punto fijo (el eje o centro de giro/rotación que mantiene su posición en el interior o exterior del cuerpo), i.e., cinemática de la rotación o movimiento angular.

#### Sistema

Un cuerpo o grupo de cuerpos u objetos bajo los cuales se examinará el movimiento (e.g., un brazo, todo el cuerpo, una bola, etc.).

### Marco de referencia

Lugar específico donde se lleva a cabo el movimiento, el cual puede ser estático (e.g., un punto de referencia en el ambiente) o móvil (e.g., en un corredor puede ser un segmento adyacente al estudiado, la línea media del cuerpo, un punto en la cabeza, entre otros). Determina si un cuerpo está en reposo o en movimiento.

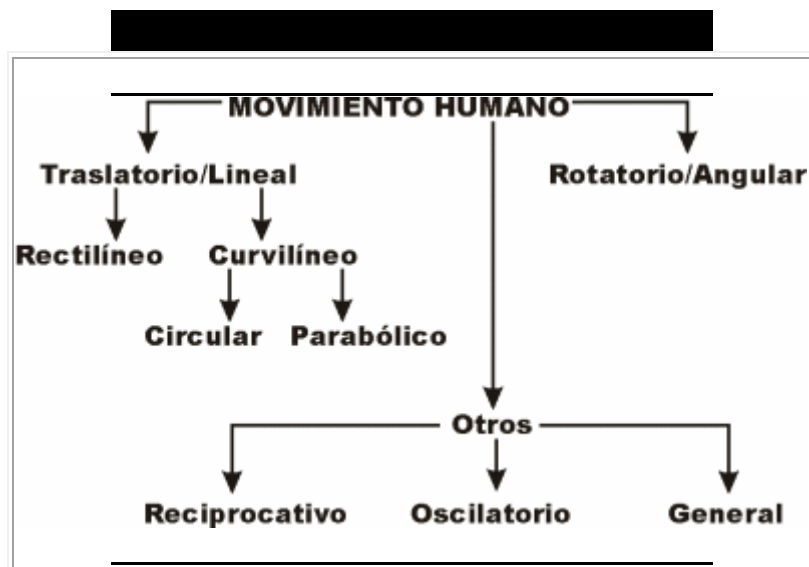
### Causas del movimiento

La magnitud de la fuerza relativa a la magnitud de la resistencia.

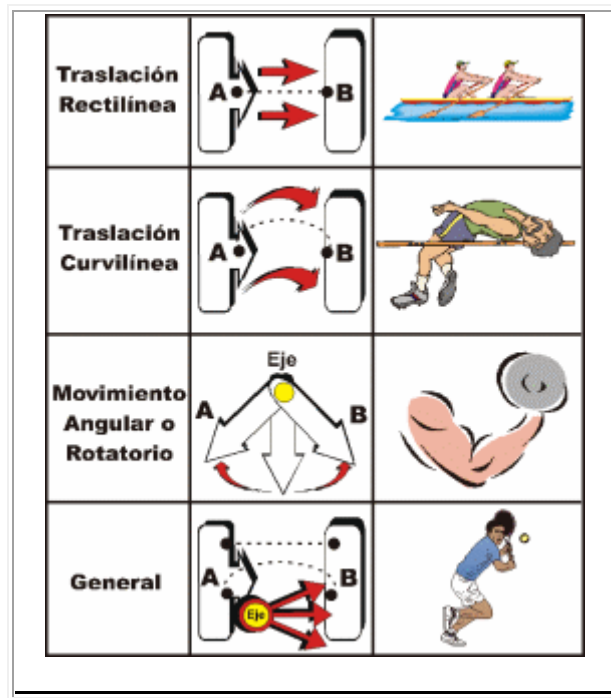
---

## TIPOS/FORMAS DE MOVIMIENTO

### Movimiento Traslatorio o Lineal (Véase Figura 1 y 2)



**Figura 1.** Clasificación de los Diferentes Tipos de Movimientos.



**Figura 2. Diferentes Tipos de Movimientos con Ejemplos.** (Adaptado de: *Scientific Base o Human Movemenmt* (3ra. ed., p. 44), por B. A. Gowitzke & M. Milner, 1988, Baltimore, MD: Williams & Wilkins. Copyright 1988 por: Williams & Wilkins.

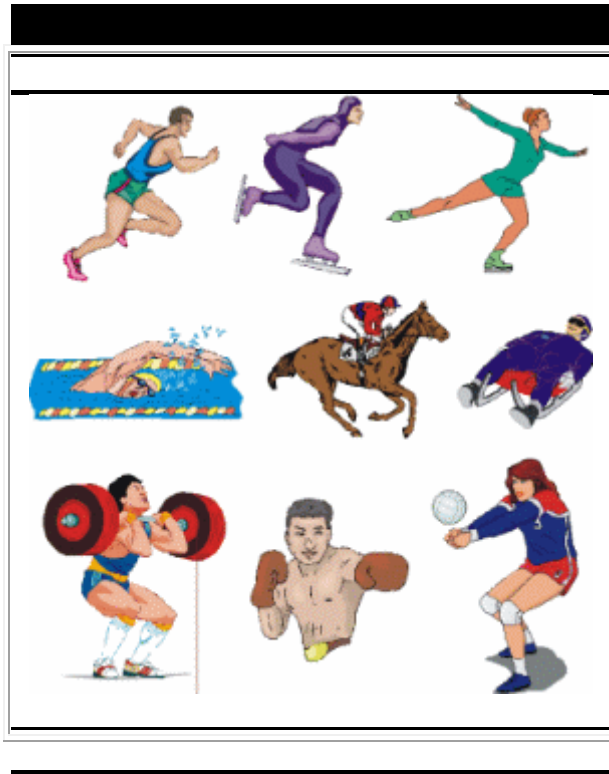
### Concepto.

Aquel movimiento donde el cuerpo, segmento u objeto se traslada (cambio en posición) de un lugar a otro en curvas o líneas paralelas dentro de un marco de referencia, con cada parte o puntos del cuerpo o de un objeto desplazándose en la misma dirección y por las mismas distancias.

### Subclasificación.

**Movimiento rectilíneo.** Representa una progresión en línea recta de un cuerpo u objeto como un todo (cada punto o línea fija en el cuerpo u objeto se mantiene paralela desde su posición original/inicial hasta su posición final), de manera que todas sus partes se muevan/viajen la misma distancia, y en el mismo tiempo (velocidad uniforme). Algunos ejemplos son, a saber (véase Figura 3):

- Deslizarse en un trineo
- Esquí acuático
- Una bola de boliche moviéndose en una línea recta.
- Algún punto del puño de un boxeador que ejecuta un golpe directo.
- La caída de una bola hacia el suelo.
- Un movimiento de los segmentos corporal antebrazo-mano paralelo a una mesa para agarrar un vaso de agua. En este caso, los segmentos antebrazo-mano se mueven a través de la misma distancia, al mismo tiempo y en vías paralelas (Norkin & Levangie, 1983, p. 6).



**Figura 3. Ejemplos de Movimientos Traslatorios Rectilíneos.**

Las unidades de medida lineales (desplazamiento lineal) se emplean para medir la distancia a través de la cual un sistema se mueve en una línea recta. Ejemplos de las unidades de medida utilizadas son pies, metros, pulgadas, centímetros, millas, kilómetros, entre otras.

**Movimiento curvilíneo.** Representa aquel movimiento traslatorio en el cual todas las partes del cuerpo o un objeto se mueven en curvas paralelas que transcurren en un patrón/vía irregular/variable o adopten la forma de una de las curvas definidas (e.g., parábola), de suerte que si cada curva fuese superpuesta una sobre la otra, éstas deberían coincidir exactamente (i.e., las trayectorias de las curvas paralelas son concurrentes). Sus ejemplos incluyen (véase Figura 4):

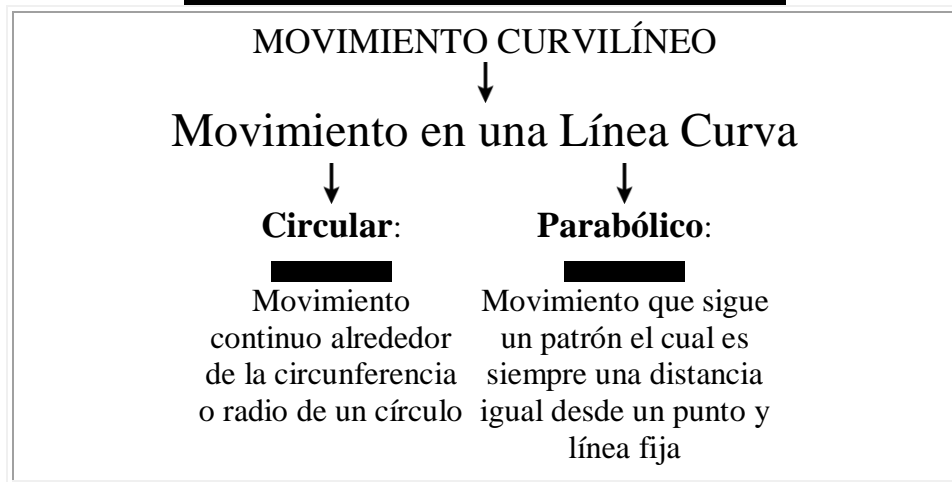
- La trayectoria que adopta la mano durante un servicio por encima del hombro en voleibol
- El patrón que sigue el movimiento de la muñeca durante la fase de fuerza en boliche. En este tipo de movimiento, la muñeca se desplaza siguiendo una vía curvilínea durante la liberación de la bola de boliche. (Luttgens & Wells, 1982, p. 281).
- El transcurso espacial que sigue un paracaidista durante una caída libre
- La trayectoria que sigue un esquiador sobre un terreno irregular
- Cuando un esquiador se desvía para evitar la colisión con un árbol.





**Figura 4. Ejemplos de Movimientos Traslatorios Curvilíneos.**

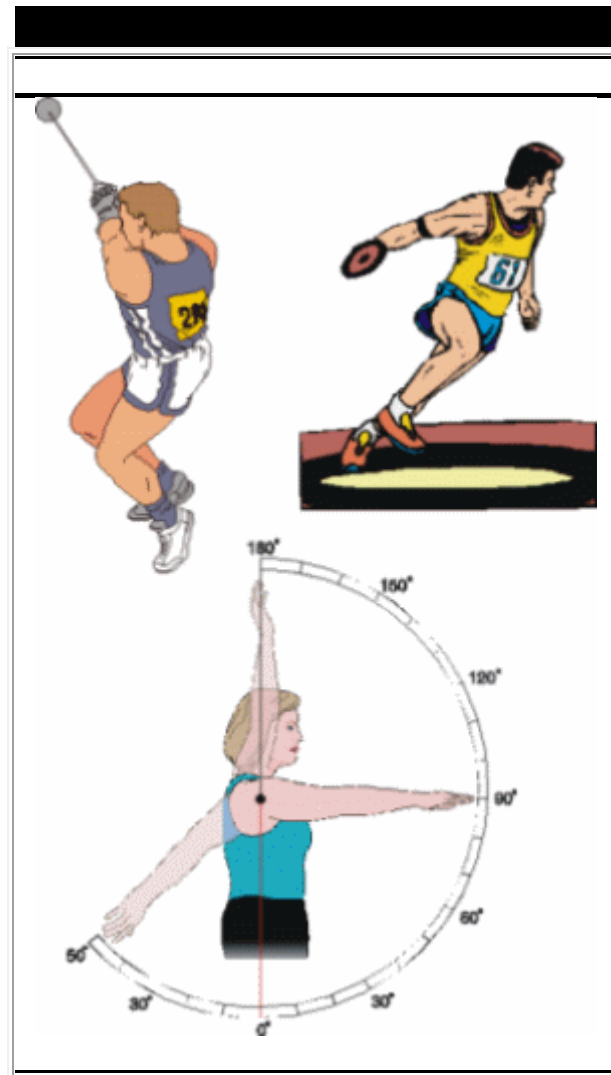
Los movimientos curvilíneos puede seguir un patrón circular o parabólico (véase Figura 5).



**Figura 5. Tipos de Movimientos Curvilíneos.** (Adaptado de: *Mechanical Kinesiology* (pp. 68-81), por J. N. Barham, 1978, Saint Louis: The C.V. Mosby Company. Copyright 1978 por: The C. V. Mosby Company. )

Los *movimientos circulares* representa aquel movimiento continuo alrededor de la circunferencia (los límites del perímetro de un círculo) o radio (el segmento desde el centro de un círculo hasta un punto en el círculo) de un círculo. Algunos ejemplos incluyen (véase Figura 6):

- El patrón que sigue una bola sostenida en la mano mientras el brazo se mueve en molinete (circunducción).
- El trayecto que adopta la bola del martillo durante la ejecución del tiro del martillo en pista y campo.



**Figura 6. Ejemplos de Movimientos Curvilíneos Circulares.**

El *movimiento parabólico* sigue una curva regular que sigue el centro de masa (o gravedad) de un cuerpo u objeto cuando es lanzado/proyectado en el aire (proyectil bajo la influencia de la fuerza de gravedad), sin ser afectado por la resistencia del aire y asumiendo que no existe ninguna otra fuerza exterior que actúe sobre el cuerpo u objeto durante su progresión. Es un movimiento que sigue un patrón de igual distancia desde un punto fijo y una línea fija. (Barham, 1978, pp. 4, 6). Sus ejemplos son:

- La trayectoria que sigue una bola o cualquier proyectil en vuelo.
- El patrón que sigue el centro de gravedad del cuerpo de un atleta en el aire durante el salto a lo largo, salto a lo alto y el brinco de la valla, en pista y campo.
- El curso en el aire que sigue un cuerpo durante el salto en esquí.

- La trayectoria que adopta la pesa al ser tirada al aire durante el tiro de la pesa (técnica tradicional) en pista y campo.
- La vía que sigue el centro de gravedad de un gimnasta durante el salto mortal.
- El movimiento que sigue el segmento antebrazo-mano durante el transcurso de coger un vaso de agua de la mesa y llevarlo a la boca.
- El patrón que adopta una bola durante un lanzamiento por encima de un lanzador en beisbol.



**Figura 7. Ejemplos de Movimientos Curvilíneos Parabólicos.**

## **Movimiento Rotatorio o Angular**

### **Concepto.**

El movimiento de un objeto, cuerpo o segmentos corporales rígidos (actuando como un radio, i.e., la distancia desde el eje de rotación/giro a cualquier punto de un círculo) transcurren alrededor de un punto fijo (eje o centro de giro/rotación) y siguen la trayectoria de un círculo concéntrico, donde cada punto del sistema (objeto, cuerpo o segmento corporal) se mueve a través del mismo ángulo, al mismo tiempo, en la misma dirección y a una distancia constante/proporcional desde el eje de rotación.

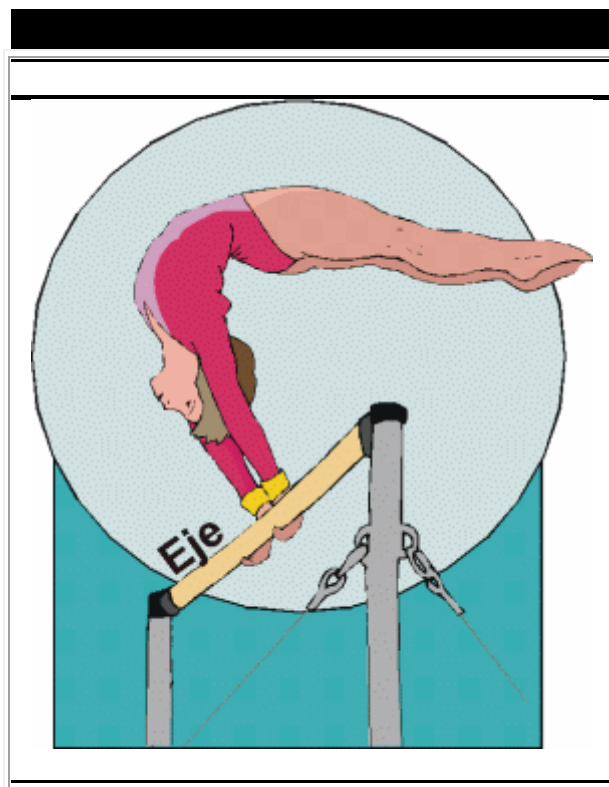
### **Componentes (véase Figura 10).**

**Eje o centro de rotación/giro.** Representa la línea o punto imaginario alrededor del cual un objeto, cuerpo o segmentos de éste rotan/giran. Se encuentra en ángulo recto al plano de movimiento del cuerpo. Puede o no pasar a través del propio cuerpo. Puede

hallarse dentro del cuerpo (eje interno). Por ejemplo, un bailarín girando (eje vertical que atraviesa el centro de gravedad). Además, puede encontrarse fuera del cuerpo (eje externo), tal como un gimnasta que gira alrededor de una barra horizontal (eje horizontal representado a través del centro de la barra horizontal). Las articulaciones sirven de eje de rotación para los segmentos corporales.

**Radio de rotación (de un círculo).** Es la distancia lineal desde un eje de giro hasta un punto en el extremo opuesto de un objeto, cuerpo o segmento rígidos rotando. Puede ser representado por:

- Un segmento corporal (e.g., flexionando el codo, el radio sería el segmento antebrazo-mano).
- Todo el cuerpo (e.g., girando alrededor de una barra horizontal).



**Figura 8.** Ejemplo de un Movimiento Angular donde Eje de Rotación se Encuentra fuera del Cuerpo.

### Ejemplos.

- La pierna inferior pateando una bola. La pierna inferior rota alrededor de un eje en la articulación de la rodilla. El muslo participa en un movimiento rotatorio alrededor de un eje en la articulación de la cadera. (Luttgens & Wells, 1982, p. 282).
- El gimnasta realizando una vuelta gigante alrededor de la barra horizontal.
- Movimiento del antebrazo-mano alrededor del eje frontal-horizontal en el codo. Obsérvese que cada punto en el segmento antebrazo-mano se mueve a través del



mismo ángulo, en el mismo tiempo y a una misma distancia constante desde el eje de rotación. (Norkin & Levangie, 1983, p. 5)

- El movimiento de circunducción del brazo ejecutado alrededor de un punto fijo (el eje del hombro).
- La mano y el antebrazo girando la perilla de la cerradura de una puerta.



**Figura 9. Ejemplos de Movimientos Rotatorios o Angulares.**

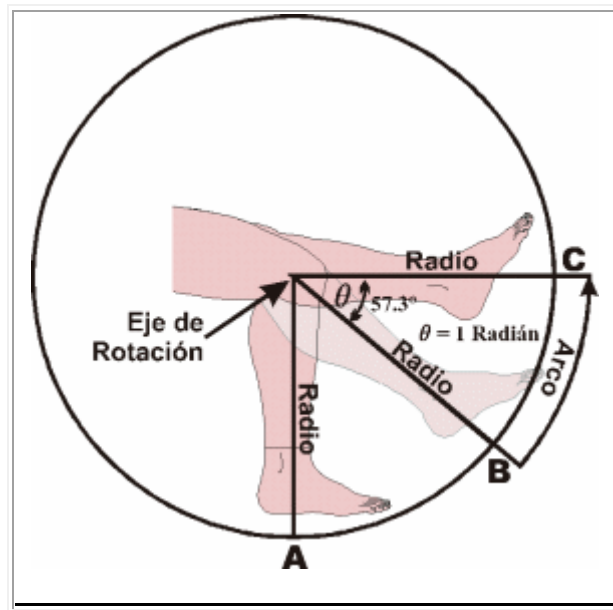
### **Unidades de medida angulares (desplazamiento angular).**

La función/utilidad es medir el patrón de un cuerpo rotando. Su designación simbólica es la letra theta ( $\theta$ ). Algunos ejemplos de las unidades de medida utilizadas incluyen, a saber:

- Revoluciones.
- Grados.
- Radianes (proporción de un círculo y equivale aproximadamente a 57.3 grados).

Se utilizan medidas angulares para determinar el radio y la longitud del arco circular que el punto forma.





**Figura 10. Representación Esquemática de los Componentes del Movimiento de Rotación/Angular y de un Radián.** El arco BC es igual en longitud al radio de la circunferencia. El radián se define como el ángulo subtendido, en un círculo, por un arco de longitud igual al radio del mismo y es equivalente a  $57.3^\circ$ . (Adaptado de: *Joint Structure & Function: A Comprehensive Analysis* (p.11), por C. C. Norkin & M. K. Levangie, 1983, Copyright 1983 por: F. A. Davis Company )

## Otros Patrones de Movimiento

### Movimiento recíprocativo.

Representa aquel patrón que denota movimientos traslatorios repetitivos. Algunos ejemplos son el movimiento rebotante de una bola y golpes repetidos de un martillo.

### Movimiento oscilatorio.

Son movimientos repetidos en un arco. El péndulo, metrónomo y el diapasón son algunos ejemplos de estos tipos de movimientos.

### Movimiento general.

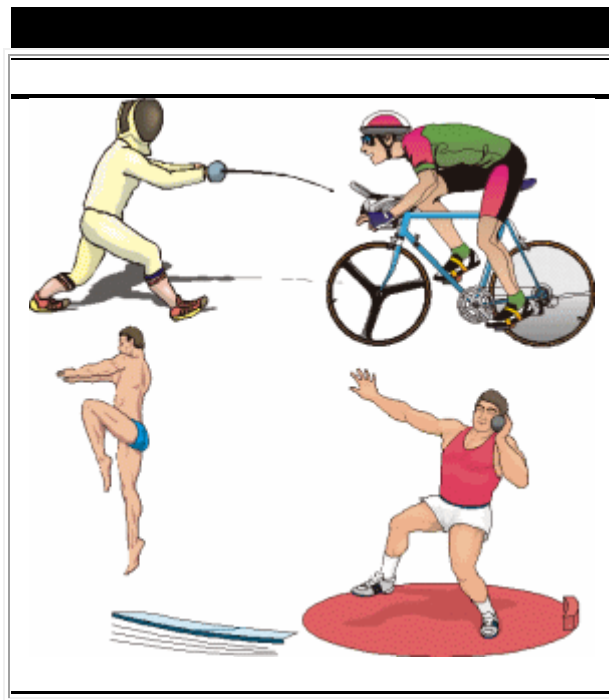
**Concepto.** Los movimientos generales se caracterizan por un cuerpo u objeto que exhibe una combinación de movimientos rotatorios y traslatorios.

**Ejemplos.** Algunos ejemplos de movimientos generales son a saber:

- **Movimiento de la pierna al andar:** Se observan movimientos generales durante las rotaciones del muslo alrededor de la cadera y de la pantorrilla

alrededor de la rodilla. Además, es notable esta vía de movimiento en la traslación avanzando hacia delante.

- **Ciclismo:** Específicamente incluye la rotación alrededor del eje del pedal y la traslación avanzando hacia delante.
- **Movimientos coordinados angulares de diferentes segmentos del cuerpo, de tal forma que un segmento relacionado se desplaza linealmente:** Bajo esta descripción se encuentra la estocada en esgrima. Durante la estocada, se observa un movimiento lineal de una parte del cuerpo (la mano) como resultado del movimiento angular de varios segmentos corporal. Otros movimientos bajo esta categoría son el tirar dardos y el lanzamiento de la pesa (o bala) convencional en atletismo.
- **Movimientos del cuerpo en el salto de trampolín:** Esta vía de movimiento es evidente durante la rotación alrededor del centro de gravedad. En adición, se observa durante la traslación en dirección (a favor) de la gravedad.

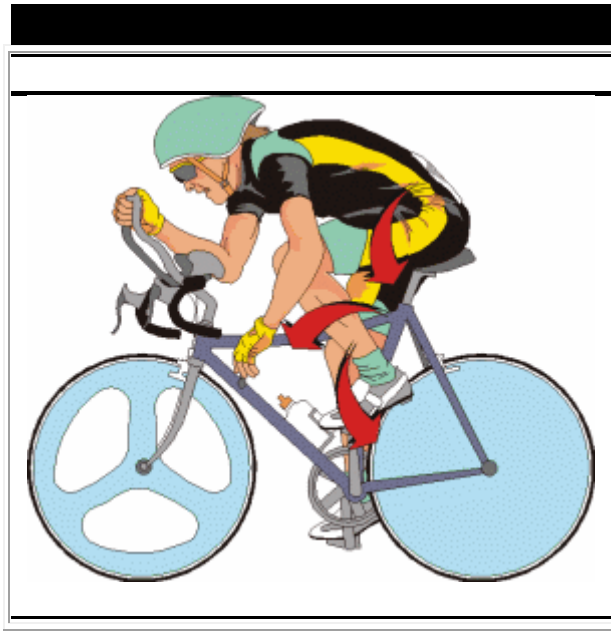


**Figura 11. Ejemplos de Patrones de Movimiento General**

**Movimiento general complejo.** Son la combinación simultánea de diferentes tipos de rotaciones. Un ejemplo clásico es la acción de las piernas del ciclista. Durante este tipo de movimiento que ejecuta el ciclista existe como mínimo tres rotaciones simultáneas ejecutándose, las cuales son (Hay, 1985, p. 8):

- Rotación de la cadera alrededor de un eje que atraviesa la articulación de la cadera.
- La rotación de la pierna inferior (pantorrilla) alrededor de la articulación de la rodilla.

- La rotación del pie alrededor de la articulación del tobillo.



**Figura 12. Ejemplo de un Movimiento General Complejo**

---

## **FACTORES QUE MODIFICAN EL MOVIMIENTO**

Existe una diversidad de factores que afecta a los movimientos previamente discutidos. Estos pueden ser de origen externo (ambiental) o interno (morfológico).

### **Factores Externos**

Los factores externos o ambientales que modifican el movimiento pueden ser la fricción, la resistencia del aire y la resistencia del agua.

### **Factores Anatómicos (Resistencia Interna)**

Bajo esta categoría se encuentra los siguientes:

- Fricción en las articulaciones.
- Tensión de los músculos antagonistas.
- Tensión de los ligamentos aponeurosis o epimisiso del tronco muscular.
- Anomalías óseas y en la estructura articular.
- Presión atmosférica de la cápsula articular.
- La interferencia de los tejidos blandos.

---

## **CINEMÁTICA LINEAL**

En esta sección habremos de discutir varias leyes y principios de la física que atañan al movimiento de un cuerpo (o de sus segmentos) u objeto que sigue en un patrón lineal.

## Desplazamiento

### Concepto

El cambio en posición de un objeto o cuerpo en el espacio se conoce como *desplazamiento*. Se refiere a la *distancia* y *dirección* que un objeto o cuerpo se traslada desde un punto de referencia:

- **La distancia entre la posición original (inicial) y la posición final:** La distancia es una cantidad escalar (solo posee magnitud). Ésta describe la longitud del camino recorrido (representado por la longitud/largo del segmento de un vector). La cantidad escalar es siempre positiva.
- **Dirección del movimiento:** Ésta representa una cantidad vectorial (posee magnitud y dirección). La dirección está reflejada por el ángulo que el segmento vectorial forma con la horizontal. La flecha en el extremo final del segmento representa el sentido del vector. La cantidad vectorial tiene una dirección positiva o negativa.

La descripción o patrón que sigue el centro de gravedad de un sistema dado se utiliza para determinar el estado del movimiento lineal de un objeto o cuerpo.

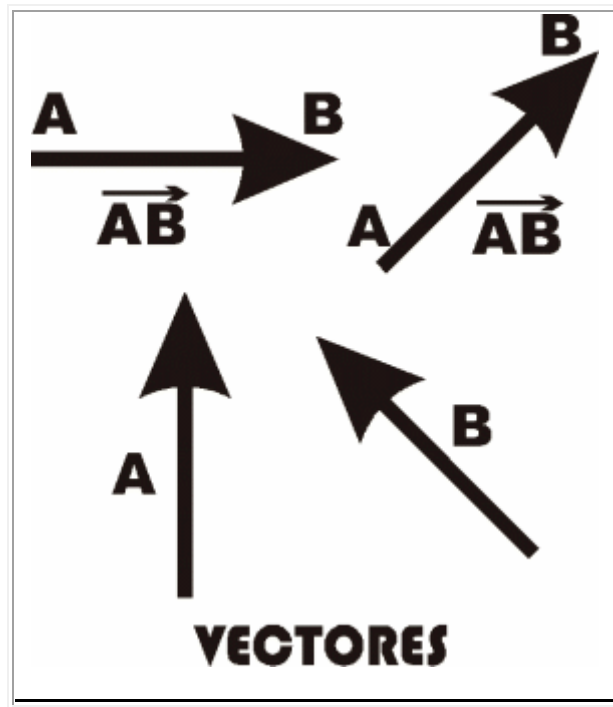
### Cuantificación del Desplazamiento Lineal

El desplazamiento lineal comúnmente se determina mediante métodos cuantitativos. Los procedimientos cuantitativos incluyen el uso de vectores y escalas.

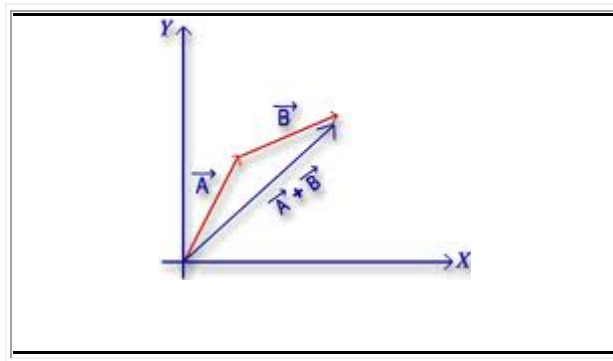
**Vectores:** Un vector es una medida de cantidad que posee *dirección* y *magnitud*. En términos gráficos, el vector se representa mediante un segmento rectilíneo con una flecha en el extremo de éste. Los componentes del vector pueden ser descritos como sigue:

- **Longitud del segmento rectilíneo vectorial:** Representa la magnitud del vector.
- **El ángulo que el segmento rectilíneo forma con la horizontal:** Este es la dirección del vector.
- **La flecha en el extremo final del segmento vectorial:** Se refiere al sentido del vector.





La composición (combinación) de vectores representa un método para determinar una resultante vectorial. Un **vector resultante** es aquel nuevo vector (resultante) que se halla al combinar dos o más vectores. Por ejemplo, en la suma de dos vectores ( $A + B$ ), el vector resultante ( $R$ ) se consigue al unir el extremo final (flecha) de un vector ( $A$ ) con el origen del otro vector ( $B$ ):



**Cantidad escalar.** Representa aquellas cantidades que expresan únicamente un valor o magnitud (ej. longitud o distancia).

Las unidades de medida empleadas durante las estimaciones del desplazamiento lineal son básicamente aquellas de longitud o distancia. Estas son, a saber: pies, metros, millas, kilómetros, entre otras.

## Rapidez

### Concepto

La rapidez representa una cantidad escalar (posee solo magnitud) que indica la distancia que un objeto o cuerpo recorre en un tiempo dado. Da a conocer solamente cuán rápido un objeto o cuerpo se mueve. Es la magnitud de la velocidad.

### Cálculo de la Rapidez

La rapidez se puede estimar al determinar la distancia total recorrida por el objeto o cuerpo y dividiéndola entre el tiempo que toma cubrir dicha distancia. Su ecuación puede ser expresada como sigue:

$$\bar{r} = \frac{d}{t}$$

donde:

$\bar{r}$  = rapidez promedio (la barra sobre la r significa el valor promedio)

**d** = distancia (longitud) recorrida por el objeto o cuerpo.

**t** = tiempo durante el cual fue cubierta la distancia

### Ejemplos

A continuación varias formas de expresar la rapidez:

- Un velocista corriendo a 10 m/seg.
- Una bola lanzada a una rapidez de 100 pies/seg.
- Un auto viajando a 7 km/h.
- El viento soplando a 60 mph.

## Velocidad

### Concepto

La velocidad representa la proporción en el cambio de la posición del objeto o cuerpo (desplazamiento) con respecto al tiempo empleado. Es la rapidez y dirección de un cuerpo.

### Características

La velocidad es una cantidad vectorial. Involucra dirección así como rapidez. Es rapidez en una dirección dada. La dirección de la velocidad es la misma que la del vector desplazamiento.

### Unidades de Velocidad

Se emplean unidades de longitud sobre unidad de tiempo. En estudios humanos, se utilizan las siguientes unidades de medida:

$$\frac{\text{Centímetros}}{\text{Segundo}} = \frac{\text{cm}}{\text{seg}} ; \frac{\text{Pulgadss}}{\text{Segundo}} = \frac{\text{pulg}}{\text{seg}}$$

$$\frac{\text{Metros}}{\text{Segundo}} = \frac{\text{m}}{\text{seg}} ; \frac{\text{Pies}}{\text{Segundo}} = \frac{\text{pie}}{\text{seg}}$$

Al describir velocidades a través de largas distancias, entonces comúnmente se utilizan las siguientes unidades de medida:

$$\frac{\text{Kilómetros}}{\text{Hora}} = \frac{\text{km}}{\text{hr}} ; \frac{\text{Millas}}{\text{Hora}} = \frac{\text{mi}}{\text{hr}}$$

### Cálculo de la Velocidad

La velocidad se puede estimar dividiendo el desplazamiento de un objeto o cuerpo entre la cantidad de tiempo transcurrido durante dicho desplazamiento. Su ecuación es la siguiente:

$$\bar{v} = \frac{d}{t}$$

donde:

$\bar{v}$  = velocidad promedio

$d$  = desplazamiento (cantidad vectorial)

$t$  = intervalo de tiempo (cantidad escalar)

### Ejemplo

**Problema:**

Determinar la velocidad promedio de una bola de tenis en el servicio.



**Datos:**

Desplazamiento de la Bola (d) = 58 metros  
Tiempo Transcurrido (t) = 0.35 segundos

**Conocido:**

Velocidad Promedio:

$$\bar{v} = \frac{d}{t}$$

**Solución:**

$$\bar{v} = \frac{d}{t}$$

$$\bar{v} = \frac{58 \text{ metros}}{0.35 \text{ seg}}$$

$$\bar{v} = 165 \text{ m/seg}$$



**Aceleración**

**Concepto**

La aceleración representa el cambio proporcional en velocidad con respecto al tiempo transcurrido. La aceleración media/promedio es la razón entre el cambio de velocidad y el intervalo de tiempo.

**Características**

- La aceleración es un vector: Posee magnitud y dirección.
- Indica: (1) la rapidez con la cual cambia la velocidad y (2) el cambio de dirección.
- Conforme la magnitud o dirección de la velocidad cambia, el objeto o cuerpo experimentara una "aceleración", manifestado/provocado por un cambio en la velocidad (i.e., un aumento o reducción en la velocidad).
- La magnitud de la aceleración será grande si ocurre un cambio en velocidad considerable durante un periodo menor de tiempo.
- La aceleración será pequeña si un cambio amplio en velocidad acontece a través de un periodo prolongado de tiempo.

## Tipos de Aceleración

- Aceleración positiva: Indica un aumento de la velocidad con el tiempo.
- Aceleración negativa (desaceleración, freno): Indica una disminución de la velocidad con el tiempo (se rotula con un signo negativo).
- Aceleración estable/constante (cero aceleración): Se refiere a un movimiento sin acelerar. Esto implica que la velocidad cambia a una velocidad constante/estable, de suerte que no ocurre un aumento o disminución en la velocidad ni tampoco un cambio en la dirección (i.e., movimiento en una línea recta a una rapidez constante).


## Unidades de Medida

Las unidades de aceleración serán aquellas de velocidad/tiempo o rapidez/tiempo más una dirección. A continuación algunos ejemplos:

- *mi/h/seg* (lee como: millas por hora por segundo).
- *km/min/seg* (lee como: kilómetros por minuto por segundo).
- *pie/seg/seg* (lee como: pies por segundo por segundo) o *pie/seg<sup>2</sup>* (lee como: pies por segundo elevado al cuadrado). No existe tal cosa como un segundo elevado al cuadrado o a la segunda potencia; esto es solo un tipo de taquigrafía/abreviación para los biomecánicos y físicos. Un estado acelerado de 10 *pies/seg<sup>2</sup>* es equivalente a 10 *pies/seg/seg*, lo cual indica que la velocidad la velocidad esta aumentando (aceleración positiva) a una proporción de 10 *pies/seg* cada segundo.

## Ecuación/Fórmula

La aceleración lineal promedio se expresa matemáticamente mediante la siguiente ecuación:


$$\bar{a} = \frac{v_f - v_i}{t}$$


donde:

$\bar{a}$  = aceleración lineal promedio de un sistema

$v_f$  = velocidad final

$v_i$  = Velocidad inicial

$t$  = el tiempo durante el cual la velocidad ha cambiado



## Ejemplo

### Problema:

Calcular la aceleración lineal promedio de un nadador.

### Dado:

Velocidad inicial ( $v_i$ ) = 0 m/seg (en el momento del disparo → comienzo de la carrera)

Velocidad final ( $v_f$ ) = 1.8 m/seg (dos segundos luego de haber comenzado la carrera)

### Conocido:

Aceleración Promedio:

$$\bar{a} = \frac{v_f - v_i}{t}$$

### Solución:

$$\bar{a} = \frac{v_f - v_i}{t}$$

$$\bar{a} = \frac{0 \text{ m/seg} - 1.8 \text{ m/seg}}{2 \text{ seg}}$$

$$\bar{a} = \frac{1.8 \text{ m/seg}}{2 \text{ seg}}$$

$$\bar{a} = 0.9 \text{ m/seg}^2$$

---

## CINEMÁTICA ANGULAR

### Desplazamiento Angular

#### Concepto

El desplazamiento angular se define como cualquier objeto o cuerpo, que actuando como una barra/segmento rígido, se mueve en un arco alrededor de un eje. También se conoce como el recorrido/movimiento rotatorio de un objeto o cuerpo de una posición a

otra. Equivale a la magnitud de los dos ángulos más pequeños entre las posiciones inicial y final de un objeto o cuerpo. La letra Griega theta ( $\theta$ ) es el símbolo empleado para representar el desplazamiento angular.

### **Distancia Angular**

Cuando un objeto o cuerpo rotando se mueve de una posición a otra. La distancia angular equivale al ángulo entre sus posiciones inicial y final. Es una cantidad escalar, puesto que solo posee solamente magnitud.

### **Dirección del Desplazamiento Angular (véase Figura 21)**

El desplazamiento angular puede estar orientado a favor de las manecillas/agujas del reloj (negativo) o en contra de las manecillas/agujas del reloj (positivo).

### **Unidades de Medida**

*Unidades rotatorias o angulares de desplazamiento.* Esta son las siguientes:

- **Grados**: Se emplean para medir los ángulos. Es utilizado ampliamente en la vida diaria y en ciertas situaciones deportivas. Por ejemplo, el desplazamiento angular recorrido por una revolución del radio vector alrededor del perímetro de un círculo (su circunferencia) equivale a  $360^\circ$
- **Revoluciones**: Representa el número de revoluciones angulares/rotatorias. Específicamente, se refiere a cuantas vueltas/giros completas es recorrido por un objeto o cuerpo rígido actuando como un radio (sistema) alrededor de un círculo. Por ejemplo, un clavadista que ejecuta un salto mortal hacia adelante con 1-1/2 giro realiza 1-1/2 revolución.
- **Radianes** (véase figura 16): Un radián es el ángulo subtendido, en el centro de un círculo, por un arco de longitud igual al radio mismo. Los radianes rara vez se utilizan en conexión con técnicas deportivas. Son ampliamente empleados en ingeniería y en otros campos.

*Circunferencia de un círculo* (véase figura 17). Representa una línea curva cerrada, cuyos puntos se hallan todos a una misma distancia de otro interior llamado centro. La siguiente nomenclatura se refiere a los componentes y propiedades de un círculo y su circunferencia:

- **Círculo**: Es el área o superficie comprendida por una circunferencia.
- **Radio**: Representa la línea recta que une el centro con cualquiera de los puntos de la circunferencia.
- **Diámetro**: Es la recta que pasando por el centro une dos puntos de la circunferencia. b) Su longitud es igual a la de los dos radios.
- **Arco**: Representa una porción cualquiera de la circunferencia. Es el desplazamiento angular del radio en su extremo de la circunferencia.

- **La letra Griega  $\pi$  (pi)**: Es el valor numérico (factor o relación invariable/constante), el cual equivale a 3.1416... Se calcula al dividir la longitud de la circunferencia por la del diámetro. Este valor expresa las veces que la circunferencia contiene al diámetro
- **Longitud de la circunferencia del círculo**: Se estima al multiplicar  $\pi$  por 2, y el producto por la longitud del radio. Matemáticamente se puede describir mediante la siguiente ecuación:



$$C = 2\pi r$$

Donde:

**C** = longitud de la circunferencia del círculo

**$\pi$**  = Llamado "**pi**", es un valor constante de 3.1416. **Pi** es el radio que existe

entre el diámetro de un círculo y su circunferencia

**r** = radio del círculo



***Relaciones entre grados, radianes y revoluciones (factores de conversión angulares)***: A continuación las equivalencias de las variables que posee un círculo:

- 360 grados =  $2\pi$  radianes (ó 6.28 radianes) = 1 revolución
- 180 grados =  $1\pi$  radianes (ó 3.14 radianes) = 0.5 revolución
- 90 grados =  $\pi/2$  radianes (ó 1.57 radianes) = 0.25 revolución
- 1 grado =  $\pi/180$  radianes (ó 0.01744 radián) = 0.0028 revolución
- 1 radián = 57.30 grados = 0.16 revolución
- 1 revolución = 360 grados =  $2\pi$  radianes (ó 6.28 radianes)

***Conversión de un desplazamiento angular a un desplazamiento lineal***: Para ésto propósitos se emplea la siguiente fórmula:



$$d = r \Theta$$

Donde:

**d** = desplazamiento lineal (distancia lineal de un punto sobre un segmento rotando)

**r** = radio del movimiento (radio del punto)

**$\Theta$**  = desplazamiento angular (del punto)



## **Desplazamiento Angular en un Tiempo Dado**

Corresponde a una distancia lineal. Se expresa como sigue:

$$\theta = \omega t$$

Donde:

$\theta$  (theta)= desplazamiento angular de un objeto o cuerpo  
 $\omega$  (omega) = rapidez o velocidad media de un objeto o cuerpo  
t = tiempo durante el cual ocurrió el desplazamiento

## Rapidez Angular

### Concepto

La rapidez angular representa la proporción en el cambio de posición (distancia cubierta) de un objeto, cuerpo o segmento rígido (actuando como un radio) que gira/rota alrededor de un ángulo (i.e., el radio barre/recorre el ángulo) en una unidad de tiempo. Indica cuan rápido un objeto, cuerpo o segmento rígido (actuando como un radio) se desplaza a través de un ángulo, en rotaciones. Puede también definirse como la magnitud de la velocidad angular.

### Características

La rapidez angular posee las siguientes propiedades:

**Es una cantidad escalar:** Similar a la rapidez lineal, la rapidez angular representa una cantidad escalar puesto que posee únicamente magnitud.

**Arco recorrido por cada punto del radio (movimiento de cada parte o punto a lo largo del objeto, cuerpo o segmento rígido desde el eje o centro de rotación).** Cada punto a lo largo del objeto, cuerpo o segmento rígido (radio) viajan a través de diferentes distancias lineales, de manera que cada punto también poseen distintos niveles de rapidez lineal. Esto implica que los puntos que se mueven con mayor rapidez lineal son los situados a mayor distancia del eje de giro, por tener que recorrer una distancia mayor en igual intervalo de tiempo. Por lo tanto, un punto en el extremo del objeto, cuerpo o segmento (donde se encuentra la circunferencia del círculo) posee mayor rapidez lineal que un punto más cerca del centro de rotación. En otras palabras, en un objeto, cuerpo o segmento rígido (radio) rotando, entre más lejos un punto de dicho radio se encuentre del centro de rotación (o eje de giro), más rápido linealmente se moverá, ya que recorre una mayor distancia en el mismo intervalo de tiempo, en comparación con los otros puntos del radio que se hallan más cerca del centro de giro. Por consiguiente, se deriva el siguiente principio: la rapidez lineal de cualquier punto en un objeto, cuerpo o segmento rotando se encuentra en proporción directa (directamente relacionado) a su distancia de rotación.

**Angulo barrido por el radio (ángulo que recorren cada punto del objeto, cuerpo o segmento rígido).** Todas las partes o puntos a lo largo de un objeto, cuerpo o

segmento rígido (actuando como un radio) rotando, poseen la misma rapidez angular (i.e., todos los puntos del radio se mueven con igual desplazamiento/distancia angular o rapidez angular), ya que el arco recorrido por todos los puntos del radio barren el mismo ángulo (véase figura 19 y 20). Esto quiere decir que cada punto del objeto, cuerpo o segmento rígido (radio) se mueve a través del mismo ángulo (un mismo ángulo barrido simultáneamente por la recta o radio que contiene los diversos puntos) y realiza el mismo número de revoluciones.

### Unidades de Medida

**Unidades de ángulo dividido por tiempo.** Alguno ejemplo incluyen las siguientes unidades más comunes:

grados/hr	grados
radianes/hr	radianes/seg

**Frecuencia angular o rotatoria.** Es una medida de la proporción rotatoria, i.e., el número de revoluciones completas (veces en que se recorre o se le da vuelta a 360 grados) calculadas alrededor de un patrón circular durante un intervalo de tiempo dado a una rapidez periférica (angular) constante. La frecuencia rotatoria es útil cuando en movimientos rotatorios la rapidez periférica (angular) es constante. sus unidades son:

- Revoluciones por minuto (rev/min o rpm).
- Revoluciones por segundo (rev/seg).
- Hertz (Hz):

$$1 \text{ Hz} = \frac{1 \text{ rev}}{\text{seg}}$$

La fórmula o ecuación para la unidad de frecuencia angular (o rotatoria) es la siguiente:

$$f = \frac{\# \text{ rev}}{t}$$

donde:

- f** = frecuencia angular
- # rev** = número de revoluciones
- t** = intervalo de tiempo

### Ecuación/Fórmula para la Rapidez Angular

La ecuación para rapidez angular es la siguiente:

$$\bar{\sigma} = \frac{\phi}{t}$$

Donde:

$\bar{\sigma}$  = rapidez angular promedio

$\phi$  = distancia/desplazamiento angular (ángulo recorrido por el radio)

$t$  = intervalo de tiempo que toma para el desplazamiento

### Ejemplo

#### Problema:

Determinar la rapidez angular del planeta tierra

#### Dado:

Desplazamiento Angular de la Tierra ( $\phi$ ) =  $360^\circ$

Tiempo Transcurrido ( $t$ ) = 24 hr

#### Conocido:

Aceleración Promedio:

$$\bar{\sigma} = \frac{\phi}{t}$$

#### Solución:

$$\bar{\sigma} = \frac{\phi}{t}$$

$$\bar{\sigma} = \frac{360^\circ}{24 \text{ hr}}$$

$$\therefore \bar{\sigma} = 15^\circ/\text{hr}$$

**Velocidad Angular**



## Concepto

La velocidad angular se puede definir como la proporción del desplazamiento angular/rotatorio por el radio, en una dirección específica, durante un tiempo dado. También puede describirse como la variación del ángulo sobrepasado/recorrido por el objeto, cuerpo o segmento actuando como una barra rígida (radio), el cual se mueve alrededor de un eje/centro giratorio/rotatorio, en una dirección específica y durante un periodo de tiempo particular. La rapidez angular en una dirección dada también define en forma sencilla el término de velocidad angular.

## Características

**Es una cantidad vectorial que especifica.** La velocidad angular representa una cantidad vectorial puesto que posee las siguientes propiedades: (1) rapidez (magnitud) de la rotación alrededor de su eje y (2) dirección espacial (a favor o en contra de las agujas del reloj) de su eje de rotación.

**Factor de dirección en la velocidad angular** (véase figura 21). El componente de dirección espacial en la velocidad angular se caracteriza por ser en contra (positivo) o a favor (negativo) de las manecillas del reloj:

- Posibles direcciones angulares del eje giratorio: (1) a favor de las manecillas/agujas del reloj. (dirección negativa) y (2) en contra de las manecillas/agujas del reloj (dirección positiva).
- Una misma rotación puede aparecer a favor de las manecillas del reloj cuando se observa desde una dirección o en contra de las manecillas del reloj cuando ha sido vista desde otra dirección. Por ejemplo, La curva de una bola se observa a favor de las manecillas del reloj para el lanzador (en beisbol), pero en contra de las manecillas del reloj para el bateador y receptor. Esto implica que se debe especificar el punto de observación, tal como sería especificar: "a favor de las manecillas del reloj según se observa desde arriba" o "en contra de las manecillas del reloj según se observa desde la derecha".

**Relación entre la velocidad angular y la velocidad lineal.** La velocidad lineal en el extremo de la palanca de un objeto o cuerpo es el producto del largo de dicha palanca (i.e, la longitud del radio de rotación) y la velocidad angular. Su ecuación matemática se expresa como sigue:

$$v = r\omega$$

Donde:

$v$  = velocidad lineal (de un punto sobre un segmento/palanca rotando).

$r$  = radio de rotación (radio del punto).

$\omega$  = velocidad angular (del segmento o palanca)

Esto implica (véase figura 18, 19 y 20) que entre más grande sea la velocidad angular y mayor sea la longitud de la palanca (radio), mayor será la velocidad lineal en el extremo de la palanca (radio).

***Todos los puntos del radio recorren la misma distancia.*** La distancia angular recorrida por cada punto en el radio del círculo, sin importar donde se localizan en relación al eje, es la misma (véase figura 18, 19 y 20).

### **Efectos de Variar la Longitud del Radio de Rotación sobre la Velocidad Angular**

**- Bajo esta propiedad que posee la velocidad angular, se rigen los siguientes principios:**

- Cuando la velocidad angular de un cuerpo es constante, su velocidad lineal es directamente proporcional a la longitud de su radio de rotación. Esto implica que entre mayor sea el largo del radio de rotación, mayor será la velocidad lineal, siempre que la velocidad angular sea constante. Además, entre menor sea el largo del radio de rotación, menor será la velocidad lineal, siempre que la velocidad angular sea constante. Matemáticamente este principio se expresa como:

$$v = r\omega$$

- Cuando la velocidad lineal de un cuerpo en rotación es constante, su velocidad angular es inversamente proporcional a la longitud de su radio de rotación. Esto quiere decir que entre mayor sea el largo del radio de rotación, menor será la velocidad angular, siempre que la velocidad lineal se mantenga constante. En adición, de este principio se infiere que entre menor sea el largo del radio de rotación, mayor será la velocidad angular, siempre que la velocidad lineal se mantenga constante. Su ecuación matemática es la siguiente:

$$\omega = \frac{v}{r}$$

**- A continuación se describen aquellas situaciones en las cuales el alargamiento del radio es deseado:**

- **Pateando en balonpie:** La velocidad lineal del pie será mayor si desde una posición flexionada de la rodilla, el pateador endereza la rodilla (lo cual produce un radio de rotación mayor).
- **En "golf":** Se deben mantener los brazos rectos en el momento que el palo de "golf" golpee la bola, con el fin de aumentar el radio de rotación y así también la velocidad lineal en el extremo radio.
- **Un jugador de tenis o badminton sirviendo:** Este debe tener sus brazos rectos/derechos (aumento en la longitud del radio) conforme la raqueta golpea la

bola, de manera que la velocidad lineal aumente en el extremo del radio (que sería el de la raqueta). - véase figura 22 y 28.

- **A continuación se describen aquellas situaciones en las cuales el acortamiento del radio es deseado:**

- **Salto mortal desde trampolines o tablas de clavados:** Si se desea un giro más rápido (mayor velocidad angular) del salto mortal, el radio de rotación puede acortarse al asumir una posición de agachada/agrupado ("tuck"). - véase figura 23.
- **Giros alrededor de un eje longitudinal/vertical:** Una patinadora sobre ruedas inicia un giro alrededor de un eje longitudinal/vertical con los brazos y piernas abductadas (véase figura 24-b) con el fin de acortar el radio y así aumentar la velocidad angular/rotatoria. (vease figura 24).

### **Ecuación/fórmula de la velocidad angular**

La velocidad angular se expresa en forma matemática mediante la siguiente ecuación:

$$\bar{\omega} = \frac{\theta}{t}$$

donde:

$\bar{\omega}$  = velocidad angular promedio

$\theta$  = ángulo a través del cual el radio gira  
(desplazamiento angular del objeto o segmento rígido)

t = tiempo que toma para el desplazamiento  
(durante el cual ocurre el desplazamiento)

### **Ejemplo**

#### **Problema:**

Determinar la velocidad angular de un palo de "golf" durante la oscilación de éste para golpear la bola.

#### **Dado:**

[REDACTED]

Desplazamiento Angular del Palo de "Golf" ( $\theta$ ) = 2.8 radianes  
Tiempo que Tomó el Desplazamiento Angular (t) = 0.09 segundos

**Conocido:**

Velocidad angular:

[REDACTED]

$$\omega = \frac{\theta}{t}$$

**Solución:**

[REDACTED]

$$\omega = \frac{\theta}{t}$$

$$\omega = \frac{2.8 \text{ radianes}}{0.09 \text{ seg}}$$

$$\therefore \omega = 31 \text{ radianes/seg}$$

**Aceleración Angular**

**Concepto**

Podemos definir aceleración angular como la proporción en tiempo del cambio en la velocidad angular de un sistema.

**Característica**

La magnitud de la aceleración o desaceleración de un segmento o implemento (e.g., bate, raqueta, entre otros) rotando determina cuan rápido dicha velocidad se alcanza.

**Ejemplo**

***Movimientos segmentales del cuerpo humano.*** Cada vez que un movimiento segmental del cuerpo se inicia, ha sido acelerado o desacelerado angularmente. Los determinantes para la magnitud de la aceleración de un segmento corporal son, a saber:

- El propósito del movimiento.

- Las coacciones (restricciones) impuestas por el ejecutante: Por ejemplo, la aceleración angular hacia adelante de la extremidad inferior durante la locomoción es considerablemente menor durante el caminar que si estuviera corriendo.

### Ecuación/Fórmula

La aceleración angular promedio se define mediante la siguiente relación matemática:

$$\bar{\alpha} = \frac{\omega_f - \omega_i}{t}$$

donde:

- $\bar{\alpha}$  (alfa) = aceleración angular promedio de un sistema
- $\omega_f$  = velocidad angular final de un sistema
- $\omega_i$  = velocidad angular inicial de un sistema
- $t$  = tiempo durante el cual la velocidad angular ha cambiado

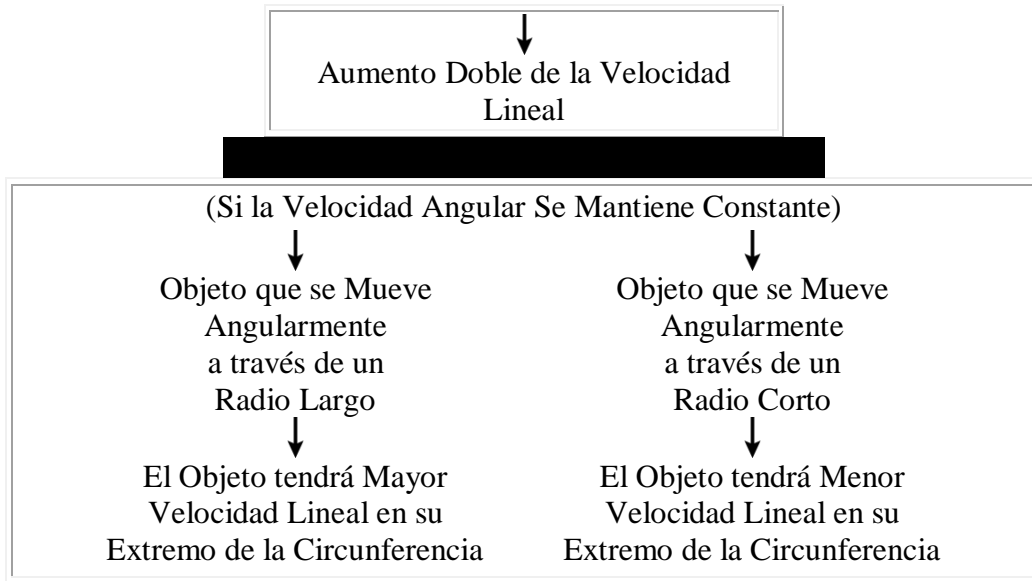
### Relación entre el Movimiento Lineal y el Movimiento Angular

#### Principios

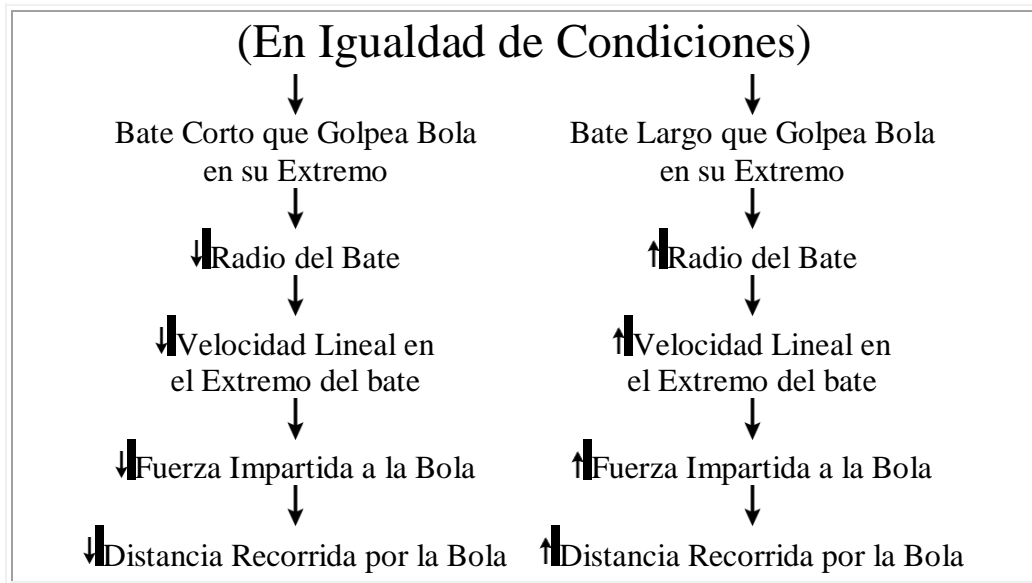
*Para cualquier velocidad angular dada, la velocidad lineal es directamente proporcional al radio* (véase figura 25, 26 y 27). Dicho en otra forma, la velocidad lineal, del movimiento circular/rotatorio, en el extremo de la palanca (o radio) es directamente proporcional a la longitud de dicha palanca/radio (que puede ser un objeto, cuerpo o segmento actuando como una barra fija), siempre y cuando la velocidad angular se mantenga constante. Esto significa que entre más largo sea la palanca o radio (distancia entre el eje/centro de giro y el punto de contacto o extremo de la circunferencia del círculo) de un implemento deportivo (e.g., bate, raqueta, palo de "golf") y/o segmento/extremidad del cuerpo, mayor velocidad lineal es generada en su extremo, en igualdad de condiciones. Algunos ejemplos de estos principios se ilustran en las figuras 25, 26 y 27.

En conclusión, Para poder alcanzar mayores velocidades lineales en el extremo de las palancas (radios), los movimientos deben de realizarse con palancas (radios) más largas o mayores velocidades angulares (véase ejemplo ilustrado en la figura 28). El determinante para escoger un implemento deportivo con la longitud óptima es la habilidad individual para mantener la velocidad angular (véase ejemplo en la Figura 29).

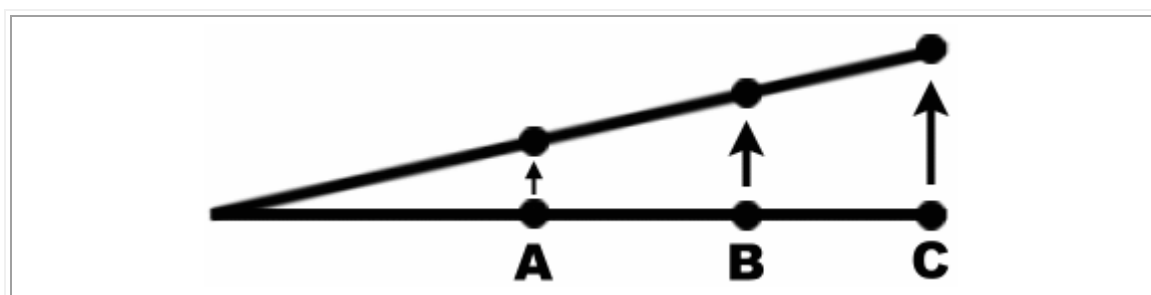
Aumento Doble del Radio



**Figura 25**



**Figura 26**



### Palanca $A < B < C$

Las Tres Palancas se Mueven a Través de la Misma Distancia/Desplazamiento Angular y en la Misma Cantidad de Tiempo

#### Palanca A:

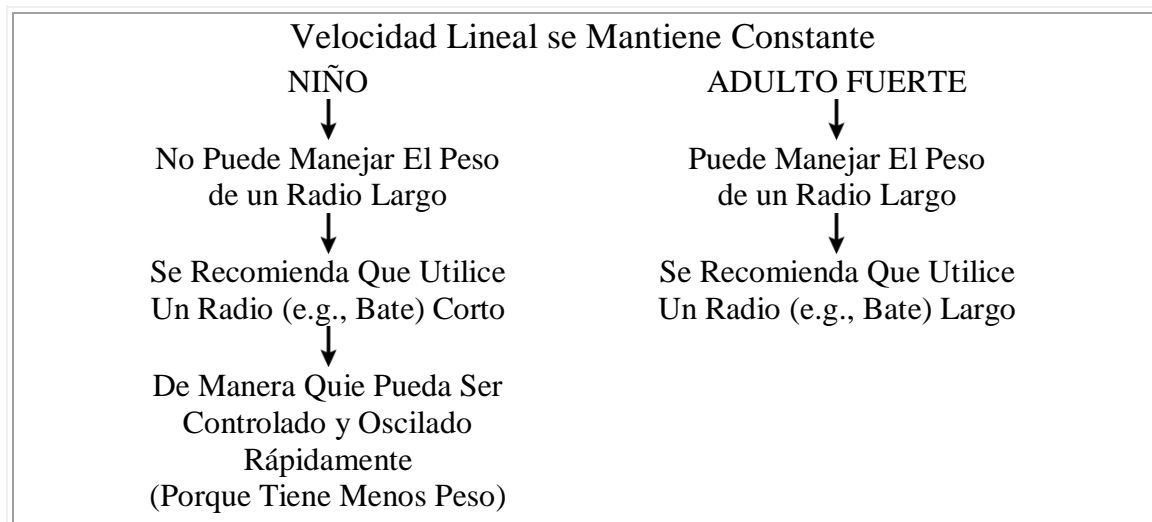
■ Su Extremo se Mueve con Menos Rapidez y Velocidad Lineal que los Extremos de ■ la Palanca B y C, Porque Posee el radio más Corto (Palanca de Menor Longitud).

#### Por lo Tanto:

■ El Desplazamiento y Velocidad Lineal en el Extremo de la Palanca más Larga (C)

■ es Mayor que el Extremo de las Palancas más Cortas (A y B).

**Figura 27. Relación entre Velocidad Lineal y Longitud de la Palanca (o Radio)** (Adaptado de: *Kinesiology: Scientific Basis of Human Motion* (9na. ed., p. 335), por K. Lutgens & N. Hamilton, 1997, Madison, WI: Brown & Benchmark Publishers. Copyright 1997 por: Times Mirror Higher Education Group, Inc.)

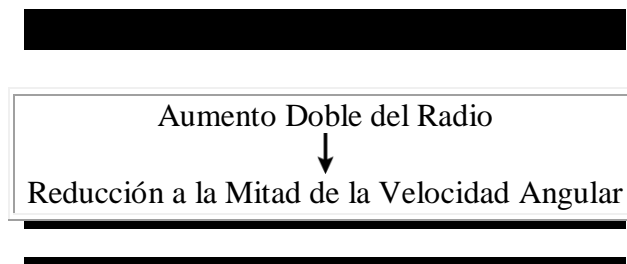


**Figura 29.**

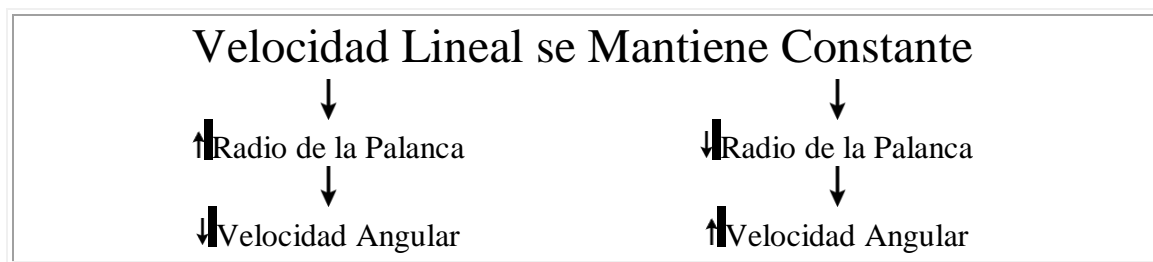
*Una vez el objeto (palanca) se haya encaminado en el movimiento circular/rotatorio (angular), la velocidad lineal en el extremo del radio (o palanca) se mantiene igual debido a la conservación del momentum.*

*Para cualquier velocidad lineal dada, la velocidad angular es inversamente proporcional al radio* (véase Figura 30). Dicho en otra forma, cuando la velocidad lineal se mantiene constante, aumentando el largo del radio reduce la velocidad angular y acortando el largo del radio aumenta la velocidad angular (véase figura 31). Algunos ejemplos se ilustran en las Figuras 32 y 33.

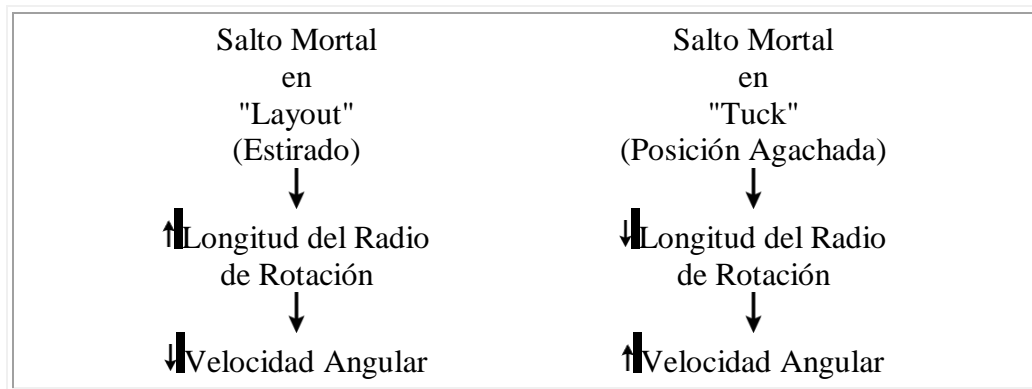
*Para poder alcanzar velocidades lineales altas en los extremos de las palancas (radios), el movimiento debe ejecutarse con palancas (radios) más largos y/o a mayores velocidades angulares (véase Figuras 28 y 34).*



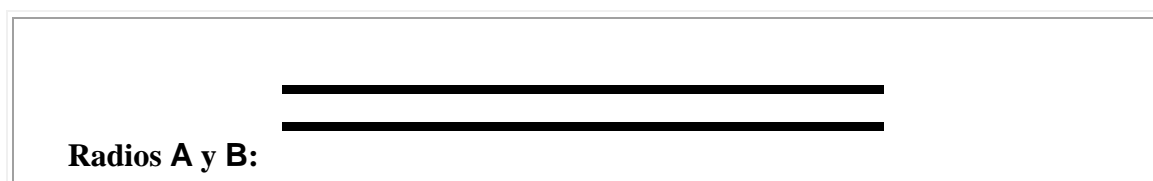
**Figura 30**



**Figura 31.** Relación Inversamente Proporcional entre Entre la Velocidad Angular y la Longitud de la Palanca (Radio).



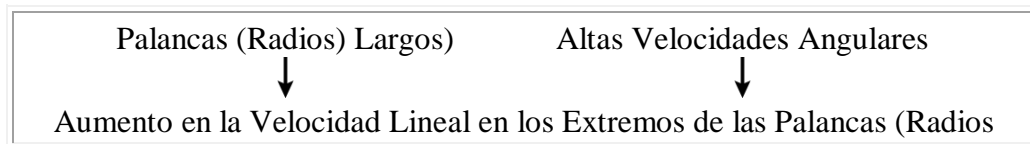
**Figura 32.** Un Ejemplo de Como La Longitud del Radio de Rotación Afecta la Velocidad Angular





- El Punto *a* (del Radio **A**) y el Punto *b* (del Radio **B**) se Mueven a través de la Misma Distancia y en el Mismo Tiempo (la Velocidad Lineal es Igual o Constante para Ambos).
- Debido a que **A** Posee un Radio Más Corto que **B**, El Desplazamiento Angular ( $\theta$ ) del Radio **A** es Mayor Que El Desplazamiento Angular ( $\theta$ ) del Radio **B**. Esto Implica también que la Velocidad Angular para el radio **A** es Mayor que la Velocidad Angular del Radio **B**.

**Figura 27. Relación entre Velocidad Lineal y Longitud de la Palanca (o Radio)** (Adaptado de: *Kinesiology: Scientific Basis of Human Motion* (9na. ed., p. 336), por K. Lutgens & N. Hamilton, 1997, Madison, WI: Brown & Benchmark Publishers. Copyright 1997 por: Times Mirror Higher Education Group, Inc.)



**Figura 34.**

## PROYECTILES

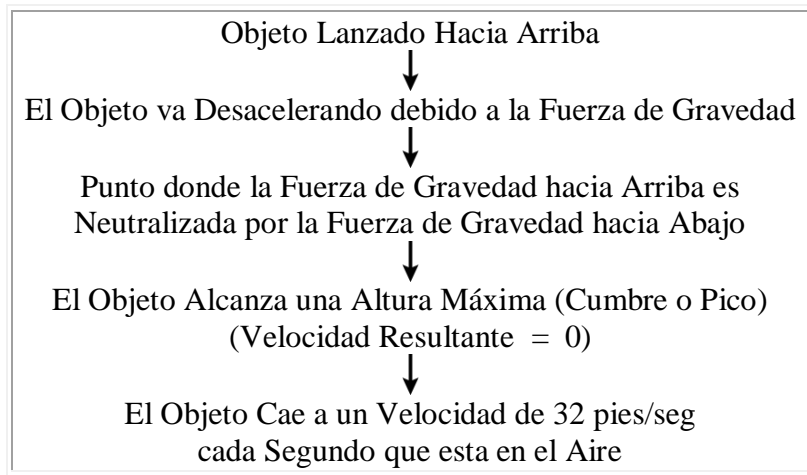
### Proyecciones Verticales

#### Factores que Gobiernan el Vuelo de un Objeto Lanzado hacia Arriba

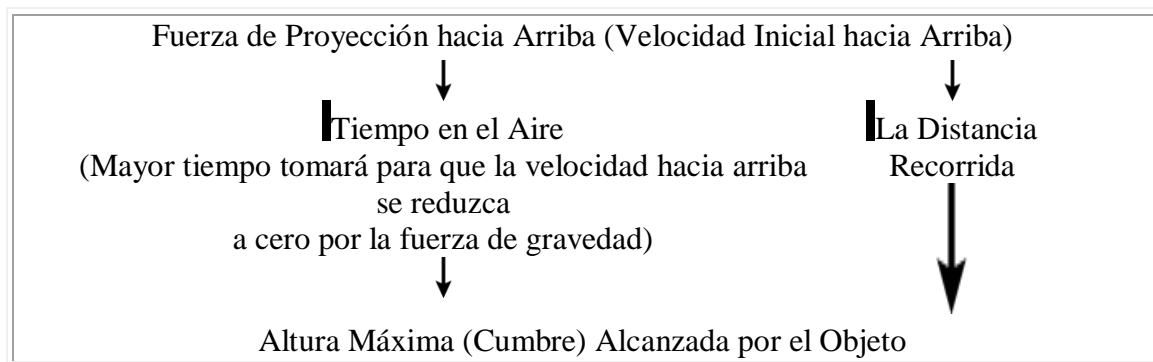
*La fuerza o velocidad del lanzamiento hacia arriba.* El objeto bajando es acelerado a la misma proporción que cuando fue lanzado hacia arriba. Entre mayor sea la velocidad inicial de la proyección hacia arriba, mayor será la altura máxima (Cumbre) alcanzada por el objeto. Por ejemplo:

Velocidad Inicial de un Objeto Lanzado Hacia Arriba	Altura Máxima Alcanzada (Velocidad Cero)	Tiempo Tomado para la Altura Máxima
32 pies/seg	16 pies	1 segundo
64 pies/seg	64 pies	2 segundos
96 pies/seg	144 pies	3 segundos

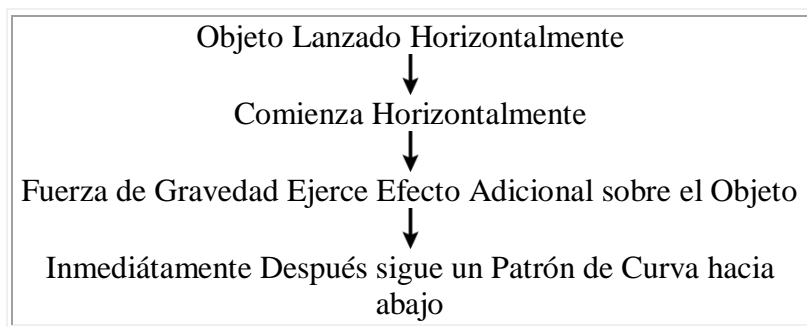
*La fuerza de gravedad hacia abajo.* Objetos proyectados hacia arriba son desacelerados por la fuerza de gravedad hacia abajo.



**Figura 35. Factores que Gobiernan el Vuelo de un Objeto Lanzado Hacia Arriba**



**Figura 36. Factores que Gobiernan el Vuelo de un Objeto Lanzado Hacia Arriba**



**Figura 37. Factores que Gobiernan el Vuelo de un Objeto Lanzado Hacia Arriba - Influencia de la Fuerza e Gravedad**

## Proyecciones Horizontales

## Factores que Gobiernan el Patrón de Vuelo de Objetos Lanzados hacia Horizontalmente

**La fuerza del lanzamiento.** La fuerza o velocidad horizontal sobre un objeto proyectado horizontalmente es independiente de la fuerza de la velocidad vertical del objeto. Afecta solo la distancia horizontal que un objeto puede recorrer mientras se mantiene en el aire antes de golpear el suelo. La distancia vertical hacia abajo será igual siempre, puesto que la caída depende enteramente del tiempo que la gravedad tiene para actuar sobre el objeto y la aceleración debido a que la gravedad cambia.

**La fuerza de gravedad hacia abajo.**

## Proyecciones Diagonales

### Factores que Determinan el Vuelo de un Objeto Proyectado Diagonalmente

**La velocidad horizontal.** La velocidad horizontal resultante del vuelo de un objeto proyectado diagonalmente se mantiene constante debido a que no existe ninguna otra fuerza horizontal introducida que pueda alterar dicha velocidad horizontal resultante (excluyendo la resistencia del aire).

**La velocidad vertical.** Los factores que determinan la velocidad vertical resultante del vuelo de un objeto proyectado diagonalmente son:

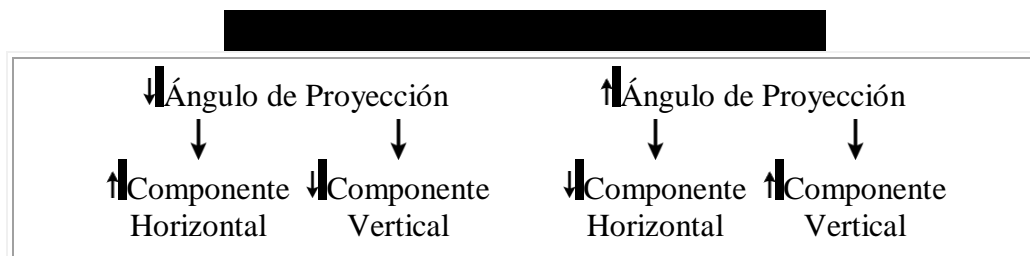
- La velocidad impartida hacia arriba.
- La aceleración hacia abajo causado por la gravedad.

## Ángulo Óptimo de Vuelo

### Factores que Determinan la Magnitud del Componente Horizontal y el Componente Vertical

**La velocidad de la proyección.**

**El ángulo de la proyección.** Conforme se reduce el ángulo, el componente horizontal aumenta y el componente vertical se reduce, y viceversa (véase Figura 38).



**Figura 38.** Relación entre el Ángulo de Proyección y los Componentes Horizontales y Verticales

## Ángulo Óptimo para la Proyección de un Misil

Se ha encontrado que es 45 grados. El punto de aterrizaje se encuentra al mismo nivel de altura donde se liberó el misil.

### **Ángulo Óptimo para la Implementos Lanzados**

Bajo estas circunstancias, el ángulo óptimo debe ser menor de 45 grados. Esto se debe a que todos los implementos lanzados son liberados sobre el nivel de la tierra.

### **Factores que Determinan el Ángulo Óptimo de Vuelo**

Esto dependerá del propósito de la trayectoria. Si el tiempo en que el objeto se mantendrá en el aire es importante, entonces el ángulo óptimo se hallará entre  $70^\circ$  y  $60^\circ$ . Es detrimental, cuando el aire y la resistencia del viento alteran el vuelo del objeto. En este caso, el ángulo óptimo sería de  $20^\circ$  a  $30^\circ$ . Por el otro lado, si la velocidad en que el objeto debe llegar a su destino es lo más importante para el atleta, entonces entre más agudo el ángulo de proyección mejor será (trayectoria plana del objeto).

### **Factores que Determinan la Distancia Recorrida de un Objeto Lanzado**

**La ángulo de liberación.**  $45^\circ$  es el ángulo óptimo a través del cual el objeto podrá recorrer la mayor distancia horizontal (asumiendo que el nivel de liberación es el mismo que el de aterrizaje y excluyendo la resistencia del aire).

**La altura de la liberación.** Entre mayor sea la altura de la liberación, mayor deberá ser la reducción del ángulo óptimo de  $45^\circ$  con el fin de poder recorrer una mayor distancia.

**La velocidad de la liberación.** En igualdad de condiciones, entre mayor sea la velocidad inicial, menor será la necesidad de reducir el ángulo óptimo de  $45^\circ$  y mayor distancia podrá recorrer el objeto.

**Fuerzas aerodinámicas.** Para poder recorrer una mayor distancia, los ángulos de liberación en el disco y jabalina (los cuales no siguen una parábola perfecta) deben ser menores ( $30^\circ$  a  $40^\circ$ ) que el martillo y la bala ( $40^\circ$  a  $44^\circ$ ), los cuales siguen una parábola perfecta.

---

## **REFERENCIAS**

### **Libros**

Aguado Jódar, X. (1993). *Eficacia y Técnica Deportiva: Análisis del Movimiento Humano* (pp. 130-165). Barcelona, España: INDE Publicaciones. 305 pp.

Ahonen, J., Lahtinen T., Sandström, M., Giuliano P. & Wirhed, R. (1996). *Kinesiología y Anatomía Aplicada a la Actividad Física*. (pp. 227-229). Barcelona, España: Editorial Paidotribo.

Bäumler, G. & Schneider, K. (1989). *Biomecánica Deportiva: Fundamentos para el Estudio y la Práctica* (pp. 15, 25-53). España, Barcelona: Ediciones Martinez Roca, S.A..

Brancazzio, P. (1984). *Sport Science: Physical Laws and Optimum Performance* (pp. 25-55, 281-317, 337-346). New York: Simon and Schuster.

Barham, J. N. (1978). *Mechanical Kinesiology* (pp. 189-204). Saint Louis: The C.V. Mosby Company.

Bueche, F. J. & Hecht, E. (2000). *Física General* (9na. ed., pp. 16-31, 130-131). México: McGRAW-HILL.

Casas Reyes, J.V., Muñoz Quevedo, J. & Quiroga Chaparro, J. (1977). *Física: Cinemática-Dinámica y Energía* (pp. 73-128). México: Editorial Limusa.

Cooper, J. M., Adrian, M., & Glassow, R. B. (1982). *Kinesiology* (5ta. ed., pp. 75-83, 176-177). St. Louis: The C. V. Mosby Company.

Enoka, R. M. (1994). *Neuromechanical Basis of Kinesiology* (2nd. ed., pp. 3-33 ) Champaign, IL: Human Kinetics.

Ecker, Tom. *Track and Field Dynamics* (2da. ed. pp. 18-21, 24,32-48, 61-79, 90-95). California: Tafnews. Press, 1974.

Gardiner, M. D. (1980). *Manual de Ejercicios de Rehabilitación (Cinesiterapia)* (pp.2-6, 10-12). España, Barcelona: Editorial JIMS.

Gench, B. E., Hinson, M. M., & Harvey, P. T. (1995). *Anatomical Kinesiology* (p.8). Dubuque, Iowa: eddie bowers publishing, inc.

Gowitzke, B. A., & Milner, M. (1988). *Scientific Bases of Human Movement* (3ra. ed., pp. 43-60). Baltimore: Williams & Wilkins.

Hall, S. J. (1999). *Basic Biomechanics* (3ra. ed., pp. 13-56). Boston: The McGraw-Hill Companies, Inc.

Hamill, J., & Knutzen, K. M. (1995). *Biomechanical Basis of Human Movement* (pp. 326-391). Baltimore: Williams & Wilkins.

Hochmuth, G. (1984) *Biomechanics of Athletic Movement*. (pp. 12-26). German Democratic Republic: Sportverlag Berlin.

Kreighbaum, E., & Barthels, K.M. (1981). *Biomechanics: A Qualitative Approach for Studying Human Movement* (pp.24-25, 50-57, 285-297, 336-342, 379-406). Minneapolis, Minn.: Burgess Publishing Company.

Lehmkuhl, L. D. & Smith, L. K. (1983). *Brunnstrom's Clinical Kinesiology*. (4ta. ed., pp.1-2, 5-6) . Philadelphia: F.A. Davis Company.

Leveau, B. F. (1985). Basic biomechanics in sports and orthopaedic therapy". En: J. A. Gould III & G. J. Davies (Eds). *Orthopaedic and Sports Physical Therapy* (Vol II, pp.65-83). St Louis: The C.V. Mosby Company.

Luttgens, K., & Hamilton, N. (1997). *Kinesiology: Scientific Basis of Human Motion* (9na. ed., pp. 314-339). Madison, WI: Brown & Benchmark Publishers.

Norkin, C. C., & Levangie, P. (1983). *Joint Structure & Function: A Comprehensive Analysis* (pp. 4-7). Philadelphia: F. A. Davis Company.

Rash, P. J. & Burke, R. K. (1985). *Kinesiología y Anatomía Aplicada: La Ciencia del Movimiento Humano* (pp. 73-75, 77-79). Buenos Aires: EL ATENEO.

Soderberg, G. L. (1986) *Kinesiology: Application to Pathological Motion*. (pp. 3-5, 14-17). Baltimore: Williams & Wilkins.

Thompson, C. W. & Floyd, R. T. (1996). *Manual de Kinesiología Estructural* (pp. 210, 219). Barcelona, España: Editorial Paidotribo.

Wiktorin, C. V. Heijne & Nordin, M.(1986). *Introduction to Problem Solving in Biomechanics* (pp.xix-xx). Philadelphia: Lea & Febiger.

Wirhed, R.(1997). *Athletic Ability & the Anatomy of Motion* (2da. ed.,pp. 132-133). St. Louis: Mosby.

## Web

- The Kinematics of Sports:  
<http://redbaron.bishops.ntc.nf.ca/rpearce/projects2000/poole/sports.html>
- Physics of Sports. volume 3. Kinematics. Last updated on 21 April/98:  
<http://www.phys.washington.edu/~young/208A/volume3.html>