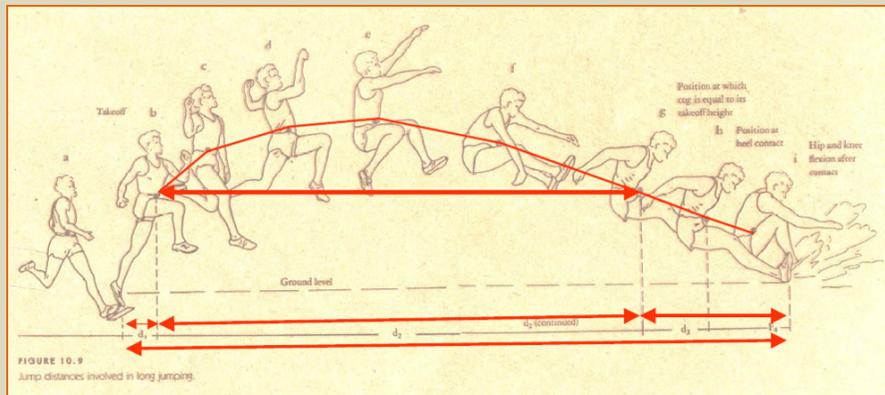


QUÉ ES BIOMECÁNICA

Introducción al curso de Biomecánica Deportiva

Apuntes de Clase



Por:

Gustavo Ramón S.*

* Doctor en *Nuevas Perspectivas en la Investigación en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte* (Universidad de Granada).

Docente - Investigador del Instituto Universitario de Educación Física, Universidad de Antioquia (Colombia).

Correo: gusramon2000@yahoo.es

BIOMECÁNICA DEPORTIVA

Qué es Biomecánica ?

Debido a la gran cantidad de conocimientos actuales, nuevas áreas de conocimiento están siendo desarrolladas y otras viejas son redimensionadas. En este continuo proceso, el lenguaje de la ciencia está en marcado estado de flujo. Cuando una nueva área de conocimientos es desarrollada y llega a ser reconocida, se le asigna un nombre y la visión de las áreas en estrecha relación a la nueva ciencia aparecen bajo cuidadoso escrutinio. Lo que resulta es una multiplicidad de términos, usualmente con formas variadas de significado, todos intentando describir de una mejor manera lo que pasa con el sujeto u objeto de estudio de la nueva área.

El incremento en el desarrollo de un acercamiento científico para el análisis del movimiento humano ha sido endemoniado. Por una parte, el término *kinesiología* (literalmente la ciencia del movimiento) fue usado para describir el cuerpo de conocimientos relacionados con la estructura y función del sistema músculo-esquelético del cuerpo humano. Mas tarde el estudio de los principios mecánicos aplicables al movimiento humano llegó a ser ampliamente aceptado como una parte integral de la kinesiología. Posteriormente el término fue usado mucho mas literalmente para resaltar los aspectos de todas las ciencias que de alguna manera tienen que ver con el movimiento humano. En este punto llega a ser claro que la kinesiología había perdido su utilidad para describir específicamente esa parte de la ciencia del movimiento relacionada o con el sistema músculo-esquelético o con los principios mecánicos aplicados al movimiento. Muchos nuevos términos fueron sugeridos para sustituirla : antropomecánica, antropocinética, biodinámica, biocinética o cineantropología. Todos ellos fueron recogidos por la *biomecánica* la cual ganó una amplia aceptación.

La Biomecánica ha sido definida de muchas maneras :

- Las bases mecánicas de la biología, la actividad muscular, el estudio de los principios y relaciones implicadas¹.
- La aplicación de las leyes mecánicas a las estructuras vivas, especialmente al aparato locomotor del cuerpo humano²
- Es la ciencia que examina las fuerzas internas y externas que actúan sobre el cuerpo humano y el efecto que ellas producen³

Cuál es la función de la biomecánica ?

Los profesores de educación física y los entrenadores son continuamente confrontados con problemas relacionados con la técnica usada en varias actividades en las cuales ellos están inmersos.

Hace algunos años, el mundo se impresionaba con un saltador de alto ruso llamado Valery Brumel, al punto de ser considerado *sinigual*, por aventajar

¹ Webster's Third New International of English Language (Springfield, Mass : G&C. Merriam CO₂., 1961)

² Dorland's Illustrated Medical Dictionary (Philadelphia : W.B. Saunders Co., 1965)

³ Hay, G., "The biomechanics of Sports Tecnicas, 2 ed, Prentice Hall, 1978)

marcadamente a sus rivales. Por este tiempo, al igual que hoy, hubo una amplia tendencia por parte de los entrenadores y de los atletas para adoptar incondicionalmente los métodos del campeón, otros copiaron sólo su carrera de aproximación o el movimiento circular con ambos brazos antes del despegue.

Algunos años después de esto, Emil Zatopek revolucionó las carreras de distancia. A semejanza de lo hecho con Brummel, se copiaron sus métodos de entrenamiento, su sancada, etc. La historia y la literatura están llenas de estos ejemplos.

Una de las preguntas que se deben resolver ante estos hechos es cómo determinar cuál es o cuáles son los factores que determinan la técnica del campeón ? así como cuáles son los factores limitantes o que pueden ser copiados por otros atletas ?. La respuesta subyace en la biomecánica, la cual sobre una base lógica evalúa las técnicas deportivas.

Algunas veces nuevas técnicas llaman la atención por las nuevas reglas (en natación, la introducción de nuevas reglas en el volteo resultaron en nuevos cambios que regulan esta parte de la carrera). El desarrollo de nuevo equipo produce cambio en las técnicas (en ping-pong , la raqueta de caucho o de espuma; la fibra de vidrio en el salto con garrocha, etc). Cómo los educadores físicos o los entrenadores pueden definir la técnica más eficiente bajo las nuevas reglas o bajo los nuevos equipos ?, de nuevo la Biomecánica provee las bases para la toma de decisiones.

Habiendo establecido qué técnica debe ser usada en un evento dado, el profesor o el entrenador se enfrenta a la tarea de detectar y corregir las fallas en la ejecución del atleta. La mayor dificultad aquí - aún si es rara vez reconocido como tal - es la localización de la causa de la falla. Aunque para un observador experimentado no es difícil determinar en un principiante o en un atleta la falla de una técnica (mas aún si la técnica es muy conocida o muy usada), puede ser de todas maneras que la causa no sea fácil de encontrar. Una de las razones es que la causa a menudo está separada del efecto (En salto alto, trampolinismo o lanzamientos, el efecto observado en el aire o en el aterrizaje es casi siempre causado en la técnica del despegue o en la carrera previa al despegue). Muchos entrenadores intentan corregir los efectos en vez de las causas, por lo que el atleta en vez de mejorar su técnica, la empeora.

Cómo puede un profesor o un entrenador mejorar su habilidad para localizar la causa de los errores de sus pupilos ?, La respuesta, de nuevo, es por la vía de la biomecánica. Así como los conocimientos científicos básicos del aprendizaje motriz capacitan al profesor o entrenador para hacer juicios correctos acerca de los métodos de instrucción, frecuencia y naturaleza de las prácticas , y un conocimiento de los principios fisiológicos lo capacitan para hacer juicios en los referente a la cantidad y tipo de entrenamiento para realizar en cada caso, un conocimiento de los principios biomecánicos los capacita para escoger las técnicas apropiadas y detectar las causas básicas de los errores en la ejecución de una técnica. En resumen, así como el aprendizaje motriz puede ser reconocido como la ciencia subyacente en la adquisición de destrezas, y la fisiología como la ciencias subyacente al entrenamiento, la biomecánica es la ciencia subyacente a la técnica. (Nota : Es también reconocido que estas ciencias no tienen todas las respuestas para todos los problemas que confrontan los profesores de educación física y

los entrenadores. Sin embargo, cuando ellas son incapaces de dar una respuesta inmediata, ellas ofrecen la manera mediante la cual la respuesta puede ser obtenida).

Qué tan importante es el conocimiento biomecánico ?

Aunque muchas clases de personas están interesadas en las técnicas deportivas, de una u otra manera, tres grupos se distinguen rápidamente : los entrenadores, los profesores de educación física y los atletas. Ya que cada uno de estos grupos tiende a ver las técnicas deportivas de una manera algo diferente, la importancia del conocimiento de la biomecánica puede ser considerado para cada uno de ellos.

Para el educador físico: los conocimientos que debe poseer no deben limitarse a la parte pedagógica y fisiológica. Entre mas integro sea el educador físico en su manera de concebir y llevar a cabo su trabajo, mas eficiente será. Por esta razón, los conocimientos en biomecánica le proporcionan una herramienta que le permite un análisis mas integral de su profesión.

Para el entrenador : la importancia de los conocimientos en biomecánica para el entrenador son mas especializados para el entrenador que para el profesor de educación física, pues el entrenador se especializa en un deporte en particular y por otra parte tendrá mucho mas importancia en cuanto dicho deporte dependa en gran medida de la técnica. Debido a que los entrenadores trabajan en el máximo rendimiento y dado que este depende de la precisión en los detalles, entonces el entrenador debe conocer con mayor precisión la biomecánica, en orden a establecer estos detalles.

Para el atleta : Cuando un atleta posee un conocimiento claro de los detalles y las causas que pueden mejorar o que empeoran su movimiento, el puede y de hecho logra mejorar su técnica. El aprendizaje de la técnica se lleva a cabo de una manera mas eficiente cuando el alumno puede establecer la relación entre la causa y el efecto de un movimiento. Desde este punto de vista, la biomecánica es un instrumento muy valioso para los atletas en el sentido de que este conjunto de conocimiento le provee de respuestas a muchos de los interrogantes en lo referente al porqué de la técnica.

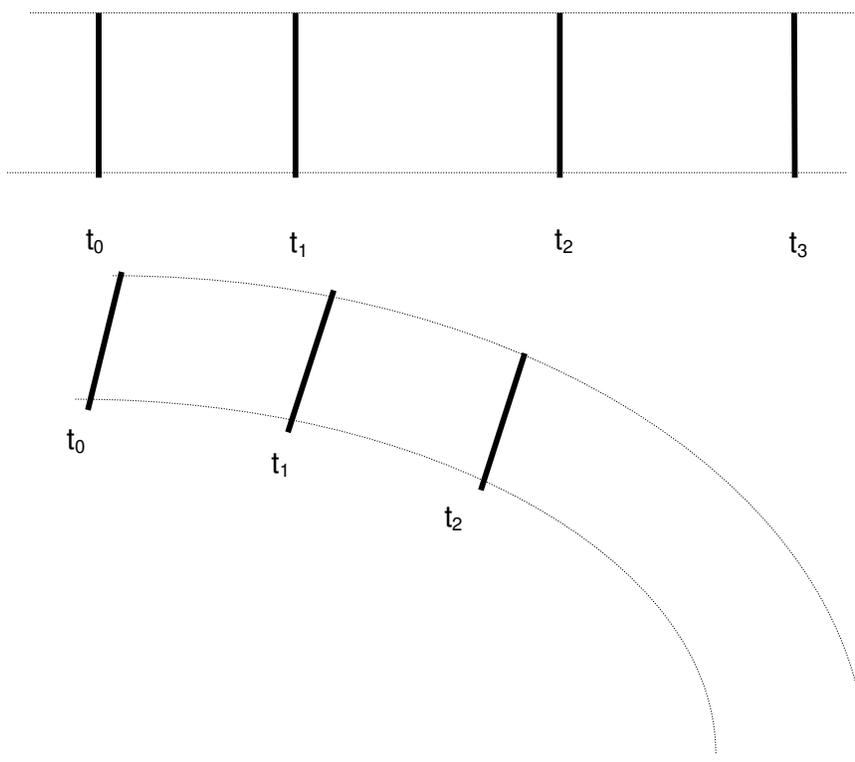
FORMAS DE MOVIMIENTO

En general, todos los movimientos pueden ser descritos como movimientos de traslación, de rotación o alguna combinación de ellos.

TRASLACIÓN:

La traslación (o movimiento lineal) tiene lugar cuando un cuerpo⁴ mueve todas sus partes de manera que todas recorren el mismo espacio, en la misma dirección en el mismo intervalo de tiempo. Una manera de determinar si el movimiento de un cuerpo en particular es de tipo traslatorio es considerar el movimiento de una línea dibujada arbitrariamente sobre el cuerpo. Si durante el movimiento la línea permanece con la misma longitud y siempre está paralela a la posición inicial, se puede concluir que el movimiento es traslatorio.

Un cuerpo puede tener un movimiento de traslación que describe una trayectoria rectilínea (como en el caso de un patinador deslizándose en la pista), una trayectoria curvilínea (como en el caso de un paracaidista que cae libremente luego de saltar desde un avión) o una trayectoria no lineal (como en el caso de un esquiador que se desliza sobre un terreno ondulado).

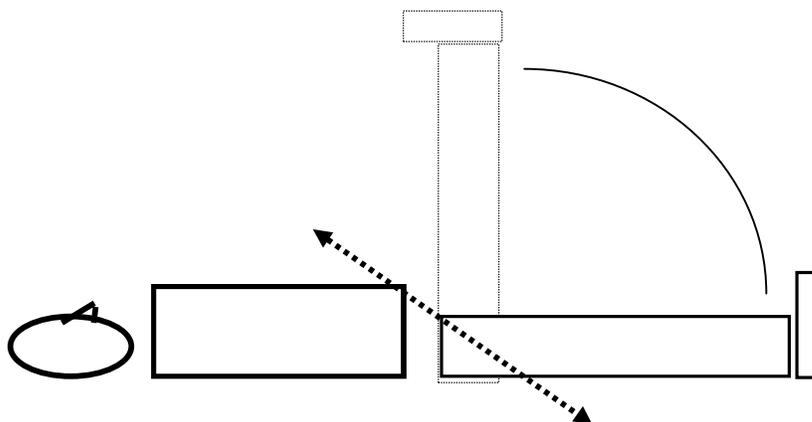


⁴ En biomecánica, el término cuerpo es usado para referirse o a objetos inanimados (equipo deportivo) o a objetos animados (como el cuerpo humano o sus partes). Es importante resaltar que algunas veces es conveniente referirse al cuerpo humano como un todo pero en otras ocasiones es útil considerarlo como un conjunto articulado (cabeza, tronco, miembros).

ROTACIÓN :

El movimiento rotatorio (o movimiento angular) tiene lugar cuando todas las partes de un cuerpo se mueven a lo largo de una trayectoria circular alrededor de una línea (considerada como eje de rotación), con el mismo ángulo, al mismo tiempo. Este eje de rotación puede o no pasar por el cuerpo, pero siempre es perpendicular al plano de rotación.

Ejemplos de este tipo de movimiento lo encontramos en el gimnasta realizando un girasol en la barra, o en todos los movimientos segmentarios del cuerpo al realizar una flexión o una extensión.

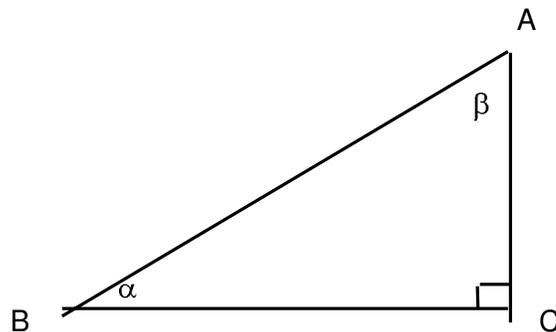


MOVIMIENTO MIXTO O GENERAL:

Mientras la rotación es un movimiento mas común que la traslación en las técnicas deportivas, mucho mas común es el movimiento mixto o general. Un ciclista que corre, por ejemplo, traslada su tronco en una trayectoria casi rectilínea, mientras que sus piernas realizan movimientos rotatorios.

REPASO DE CONOCIMIENTOS BÁSICOS DE TRIGONOMETRÍA.

Los conocimientos básicos de la trigonometría -rama de las matemáticas que estudia las relaciones entre los lados y los ángulos de un triángulo- es esencial para solucionar los problemas básicos de la biomecánica.



Por todos es conocido el teorema de Pitágoras, mediante el cual se puede calcular el valor de uno de los lados si se conocen los otros dos, a partir de la siguiente ecuación :

$$AB^2 = AC^2 + BC^2$$

Consideremos el triángulo rectángulo ABC de la figura. Si establecemos relaciones entre los lados, seis relaciones pueden ser establecidas :

$$AC/AB, AC/BC, BC/AB, BC/AC, AB/BC, AB/AC$$

En trigonometría estas relaciones reciben nombres de acuerdo al lado localizado en relación con uno de los dos ángulos agudos (menores de 90°). Por ejemplo, si el ángulo ABC es nombrado por la letra griega α , el seno de α es la relación entre el lado opuesto al ángulo (en este caso, AC) y la hipotenusa del triángulo (en este caso, AB). Entonces :

$$\text{seno de } \alpha = \text{lado opuesto} / \text{hipotenusa} = AC / AB$$

De la misma manera se han dado otros nombres a estas relaciones, pero en biomecánica sólo se utilizan dos mas : el coseno y la tangente de α :

$$\text{coseno de } \alpha = \text{lado adyacente} / \text{hipotenusa} = BC / AB$$

$$\text{tangente de } \alpha = \text{lado opuesto} / \text{lado adyacente} = AC / BC$$

El seno, coseno y tangente del ángulo son a menudo abreviadas por sus iniciales : sen, cos y tan.

Para un ángulo determinado (por ejemplo 30°), el seno de este ángulo es una constante independiente del tamaño del triángulo. En otras palabras, cuando en un triángulo rectángulo en el que uno de los ángulos agudos es igual a 30°, la relación entre el lado

adyacente a este ángulo y la hipotenusa del triángulo es siempre la misma, es decir de 0.45 (0.45 / 1 , 0.9/2 , 1.35/3 , ...). De manera inversa, cuando la relación de el lado opuesto y la hipotenusa es de 0.45, quiere decir que el ángulo es de 30° (Estas relaciones son constantes y vienen en tablas o incorporadas a las calculadoras). Lo mismo se puede aplicar para las otras funciones.

Una de las grandes aplicaciones de estas funciones es que si se conoce el ángulo y la dimensión de uno de los lados, se pueden calcular las longitudes de los otros dos lados del triángulo: si el ángulo es de 60° y la hipotenusa mide 5 cm, el lado opuesto medirá

$$\begin{aligned}\text{seno de } \beta &= \text{lado opuesto} / \text{hipotenusa} = AC / AB \\ \text{sen de } \beta &= AC / AB \\ \text{sen } 60^\circ &= AC / 5 \text{ cm} \\ AC &= \text{sen } 60^\circ * 5 \text{ cm} \\ AC &= 0.8 * 5 \text{ cm} \\ AC &= 4.04 \text{ cm}\end{aligned}$$

y el lado adyacente medirá :

$$\begin{aligned}\text{coseno de } \beta &= \text{lado adyacente} / \text{hipotenusa} = BC / AB \\ \text{cos de } \beta &= BC / AB \\ BC &= \text{cos } 60^\circ * 5 \text{ cm} \\ BC &= 0.58 * 5 \\ BC &= 2.93 \text{ cm}\end{aligned}$$

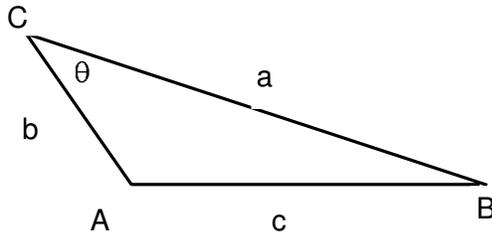
Por otra parte, si sólo se conocieran las longitudes de dos de sus lados, se puede calcular la dimensión del otro lado o los ángulos que forman el triángulo. Si en el problema anterior, se conociera la hipotenusa (5 cm) y el lado opuesto (4 cm),

$$\begin{aligned}\text{seno de } \beta &= \text{lado opuesto} / \text{hipotenusa} = AC / AB \\ \text{seno de } \beta &= AC / AB \\ \text{seno de } \beta &= 4 / 5 \\ \text{seno de } \beta &= 0.8 \\ \beta &= \text{arcsen } 0.8 \\ \beta &= 59^\circ\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(\text{Hipotenusa})^2 &= (\text{lado opuesto})^2 + (\text{lado adyacente})^2 \\ (5)^2 &= (4)^2 + (BC)^2 \\ BC &= \sqrt{(25 - 16)} \\ BC &= 3\end{aligned}$$

Ley del Coseno:

Cuando un triángulo no es rectángulo, se puede aplicar la ley del coseno para calcular ya sea sus lados o el ángulo que forman dos lados. Sea el triángulo ABC con los lados a, b y c.



$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab (\cos \theta)$$
$$\cos \theta = (a^2 + b^2 - c^2) / 2ab$$
$$\theta = \cos^{-1} ((a^2 + b^2 - c^2) / 2ab)$$

MAGNITUDES ESCALARES Y VECTORIALES

Se hace necesario distinguir entre magnitudes escalares y vectoriales porque los procesos matemáticos con cada uno de ellas es diferente.

ESCALARES:

Se denominan cantidades escalares aquellas que sólo poseen un número que indica la cantidad y una unidad de medida. Así por ejemplo, 40 libras, 50 naranjas, 10 hombres, etc, son magnitudes escalares porque cumplen con las dos condiciones enumeradas.

Para sumar cantidades escalares sólo se debe tener en cuenta que las unidades de medidas sean iguales. Así, con las cantidades anteriormente enumeradas, no podrían sumarse todas ya que poseen unidades de medida diferentes. Pero si el caso fuese 40 libras, 70 libras y 25 libras, la suma de ellas sería 135 libras.

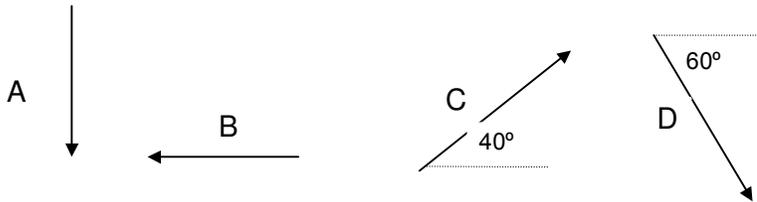
En general, los procesos matemáticos de cantidades escalares son los mismos procesos matemáticos normales de suma, resta, multiplicación y división.

VECTORES :

Se denominan vectores a las cantidades que poseen cuatro condiciones : un número que indica cantidad, una unidad de medida, una dirección y un sentido. Así, la fuerza es una variable vectorial porque debe indicar las unidades de medida, la dirección y sentido en el cual se ejerce. Una fuerza de 10 Newton hacia arriba, posee la cuatro condiciones : un número (10), una unidad de medida (newton), una dirección (vertical) y un sentido (hacia abajo).

Para sumar cantidades vectoriales se debe tener en cuenta el algebra vectorial. Existen varios procedimientos para sumar vectores, para lo cual realizaremos un ejemplo :

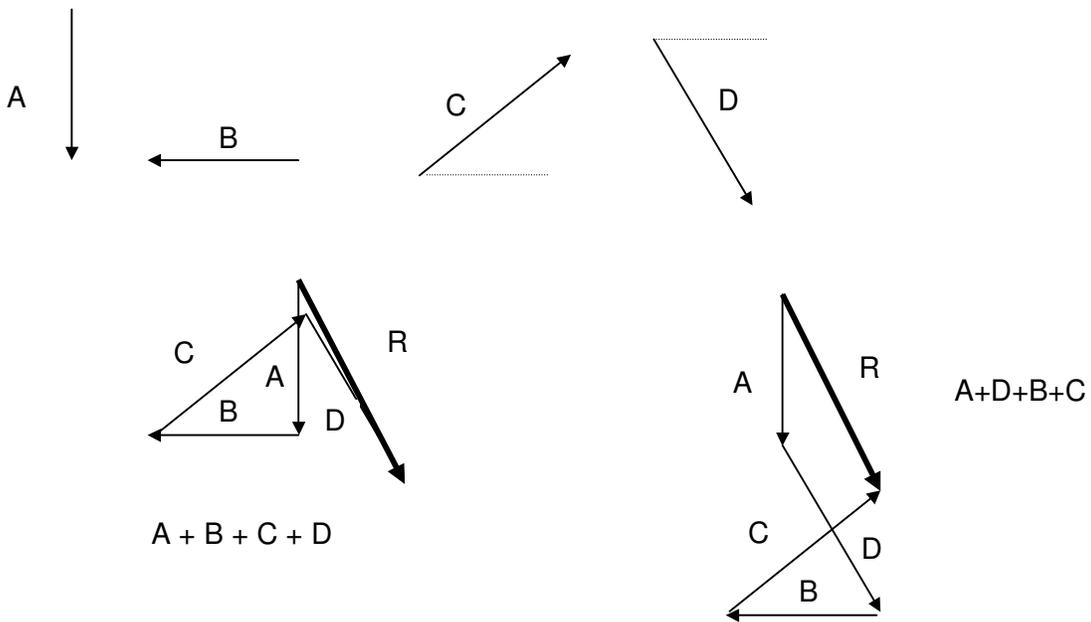
Sean A, B, C y D cuatro vectores los cuales se representan en la gráfica.

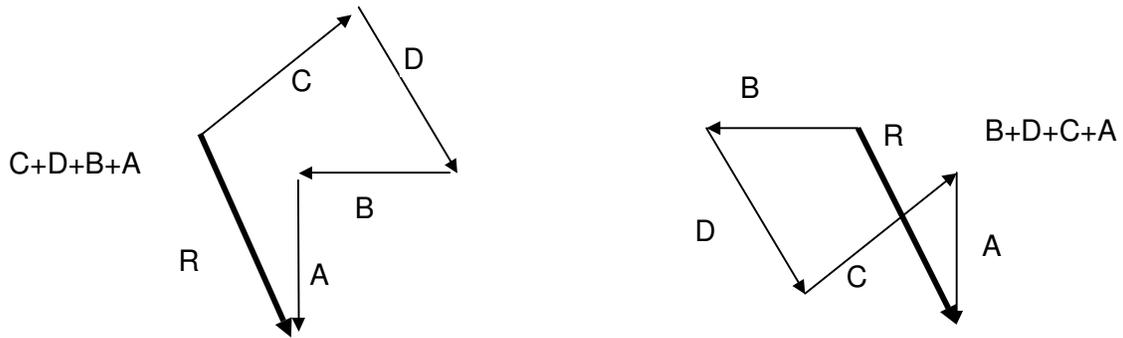


- A = 5 N (hacia abajo)
- B = 5 N (hacia el lado izquierdo)
- C = 6 N (40° hacia arriba de la horizontal)
- D = 6 N (60° hacia abajo de la horizontal)

La regla de la cola con la punta :

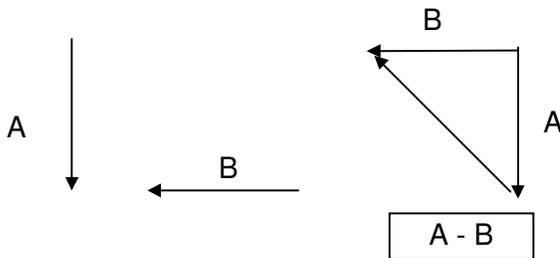
Esta regla establece que para sumar varios vectores, se coloca uno como base y el siguiente se coloca de manera que la punta del primero se continúe con la cola del segundo, y así sucesivamente. El vector resultante será el vector que una la cola del primero con la punta del último. Veamos el ejemplo :





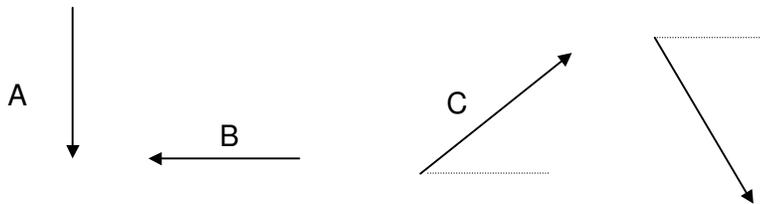
Para restar vectores se aplica una modificación al principio de la regla de la cola que consiste en colocar cola con cola los dos vectores a restar y el resultado es el vector que una la punta del primero con la punta del segundo.

Sean los vectores A y B ; hallar $A - B$

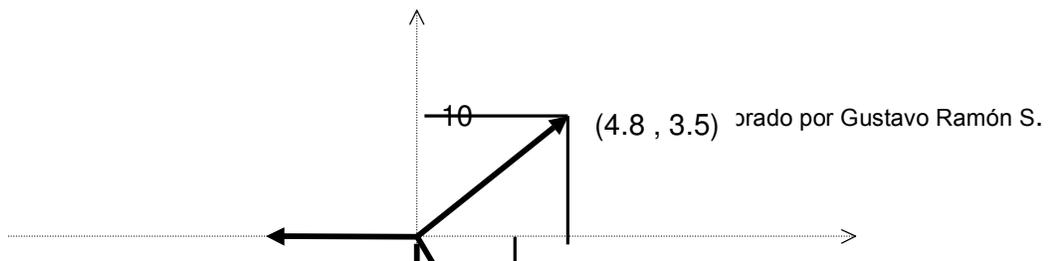


Resolución gráfica de vectores :

Para resolver operaciones con vectores, se utiliza el plano cartesiano donde la unidades de medida se igualan a las medidas del vector. Así por ejemplo, si las unidades de los vectores a sumar son Newton (como en el ejemplo anterior), se hace la equivalencia de 1 Newton = a 1 cm. Con estas equivalencias se sitúan los vectores con sus respectivos ángulos sobre el plano cartesiano y se hallan las coordenadas sobre los ejes X e Y.



- $A = 5 \text{ N}$ (hacia abajo)
- $B = 5 \text{ N}$ (hacia el lado izquierdo)
- $C = 6 \text{ N}$ (40° hacia arriba de la horizontal)
- $D = 6 \text{ N}$ (60° hacia abajo de la horizontal)



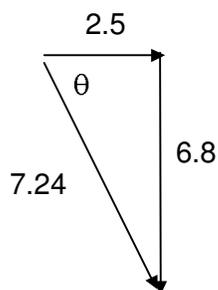
Halladas las coordenadas de cada uno de los vectores, se halla la resultante en cada uno de los ejes, mediante la suma algebraica de cada uno de ellos.

$$R_x = A_x + B_x + C_x + D_x = 0 + (-5) + 4.8 + 2.7 = 2.5$$
$$R_y = A_y + B_y + C_y + D_y = (-5) + 0 + 3.5 + (-5.3) = -6.8$$

Para hallar la resultante total R, se utiliza el teorema de Pitágoras, pues los componentes en X e Y son perpendiculares entre sí, luego la hipotenusa R será igual :

$$R^2 = R_x^2 + R_y^2 = (2.5)^2 + (-6.8)^2$$
$$R^2 = 6.25 + 46.24 = 52.49$$
$$R = \sqrt{52.49} = 7.24$$

Para hallar el ángulo de la Resultante empleamos en un primer caso, un transportador o medidor de ángulos y lo aplicamos sobre el gráfico. En un segundo caso podemos aplicar la trigonometría :

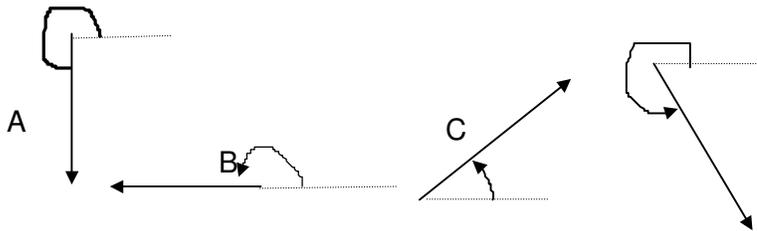
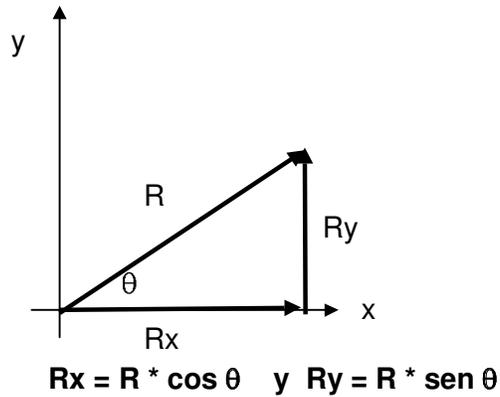


$$\cos \theta = 2.5 / 7.24$$
$$\cos \theta = 0.34$$
$$\theta = \cos^{-1} (0.34)$$
$$\theta = 77^\circ$$

Método trigonométrico:

Mediante este método no se requiere hallar las coordenadas de cada vector. En este sólo se requiere conocer la magnitud del vector y el ángulo que forma con el eje X.

Todo vector se puede descomponer en dos componentes : uno horizontal y otro vertical.
Para los vectores que hemos estado trabajando, se cumple lo siguiente :



$$\begin{aligned} A &= 5 \text{ N } (270^\circ) & A_x &= 5 \cdot \cos 270^\circ & A_y &= 5 \cdot \text{sen } 270^\circ \\ B &= 5 \text{ N } (180^\circ) & B_x &= 5 \cdot \cos 180^\circ & B_y &= 5 \cdot \text{sen } 180^\circ \\ C &= 6 \text{ N } (40^\circ) & C_x &= 6 \cdot \cos 40^\circ & C_y &= 6 \cdot \text{sen } 40^\circ \\ D &= 6 \text{ N } (300^\circ) & D_x &= 6 \cdot \cos 300^\circ & D_y &= 6 \cdot \text{sen } 300^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A + B + C + D &= \left((A_x + B_x + C_x + D_x)^2 + (A_y + B_y + C_y + D_y)^2 \right)^{1/2} \\ &= \left((5 \cdot \cos 270^\circ + 5 \cdot \cos 180^\circ + 6 \cdot \cos 40^\circ + 6 \cdot \cos 300^\circ)^2 + (5 \cdot \text{sen } 270^\circ + 5 \cdot \text{sen } 180^\circ + 6 \cdot \text{sen } 40^\circ + 6 \cdot \text{sen } 300^\circ)^2 \right)^{1/2} \\ &= \left((5 \cdot 0 + 5 \cdot -1 + 6 \cdot 0.76 + 6 \cdot 0.5)^2 + (5 \cdot -1 + 5 \cdot 0 + 6 \cdot 0.64 + 6 \cdot -0.86)^2 \right)^{1/2} \\ &= \left((0 - 5 + 4.6 + 3)^2 + (-5 + 0 + 3.85 - 5.2)^2 \right)^{1/2} \\ &= \left((2.6)^2 + (-6.35)^2 \right)^{1/2} \\ &= (6.76 + 40.32)^{1/2} \\ &= (47.08)^{1/2} \\ &= 6.86 \\ \theta &= \tan^{-1} (R_y / R_x) \\ \theta &= \tan^{-1} (-6.35 / 2.6) \\ \theta &= \tan^{-1} (-2.44) \\ \theta &= \tan^{-1} (-2.44) \\ \theta &= -67.73^\circ \end{aligned}$$

De todos los anteriores métodos, este último es el mas exacto y el mas rápido.

EJERCICIOS DE APLICACIÓN.

1. Defina Biomecánica Deportiva.
2. Describa tres aspectos en los cuales la biomecánica deportiva es importante.
3. Qué tipos de movimiento existen desde el punto de vista biomecánico.
4. Seleccione una destreza deportiva y analice los tipos de movimiento que se producen en cada una de las extremidades y del tronco.
5. Defina seno, coseno y tangente.
6. Halle los senos, cosenos y tangentes de los siguientes ángulos :
48°, 95°, 136°, 180°, 240°, 300°, 500°, 1000°.
7. A qué ángulos corresponden los siguientes senos : 0.00873, 0.35293, 0.64945; los cosenos de 0.70711, 0.57358, 0.43051.
8. Las coordenadas en X y Y del trocánter mayor fueron 8.2, 2.5; las de la rodilla 4.1, 2.3; las del tobillo 0.2, 2.4. Halle el ángulo que forman el fémur y la pierna.
9. Encuentre los componentes vertical y horizontal de una fuerza de 4.5 Newton que jala en un ángulo de 30° en relación con la horizontal.
10. Los músculos que traccionan de manera simultánea la rótula los hacen de la manera siguiente : El recto femoral 13.6 N a 15° a la izquierda de la vertical; el vasto externo 18.1 N en un ángulo de 30° a la izquierda de la vertical; el vasto medio 18.1 N en un ángulo de 10° a la izquierda de la vertical; el vasto externo 20.4 N en un ángulo de 40° a la derecha de la vertical. Para las siguientes preguntas, emplee el método gráfico y el trigonométrico para resolverlas.
 - a) ¿ cuál es la magnitud de la fuerza resultante?
 - b) ¿ cuál es la dirección de la fuerza resultante ?
 - c) ¿ qué le sucederá a la rótula si el vasto interno se fortaleciera para alcanzar una fuerza de 50 N ?

BIBLIOGRAFÍA :

- Hay, J.G. (1978) The Biomechanics of Sports Techniques. 2 ed. Prentice Hall, Inc.
- Kreighbaum, E., Barthles, K. (1990). Biomechanics : A Cualitative Aproach for studying human movement. 3 ed. Macmillan Publishing Company, New York.
- Enoka, R. (1988). Neuromechanical Basis of Kinesiology. Human Kinetics. Champaing, Illinois.
- Luttgens, K., Wells, K. (1982). Kinesiología: Bases científicas del movimiento humano. 7 ed. Saunders College Publishing.
- Williams, M., y Lissner, H. (1991). Biomecánica del movimiento humano. 2 ed. Trillas: México.