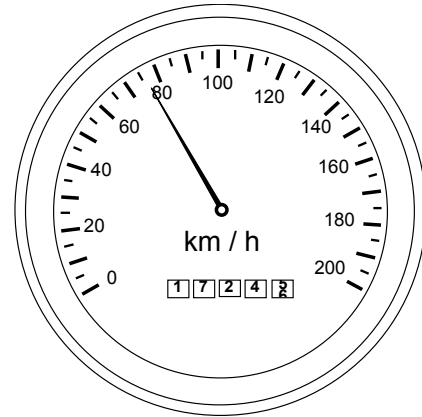


CAPÍTULO IV

RAPIDEZ DE UNA PARTÍCULA

**Vocabulario: partícula**

Viajamos en bus o en automóvil cuando la distancia por recorrer es de varias cuadras o de varios kilómetros. Como tal distancia es mucho mayor que el largo del vehículo, no nos preocupamos de averiguar si ella se mide desde el parachoques trasero, desde el delantero o desde otra parte del vehículo; para describir su desplazamiento actuamos como si todo él estuviera concentrado en un punto.

Procedemos en forma análoga al seguir el vuelo de un avión desde la torre de control de un aeropuerto o al “rastrear” la trayectoria de un satélite artificial, ya que el tamaño de ellos es pequeño comparado con las distancias que recorren.

Continuando con este proceso de abstracción, para ciertos objetivos en Física podemos considerar a un objeto como representado por una sola partícula o punto material. Esto significa que, clásicamente, al referimos a una partícula queremos dar a entender algo tan pequeño como podamos imaginar, estrictamente un ente sin tamaño, un punto que posee ciertas propiedades físicas, como masa y carga eléctrica.

A menudo es posible simplificar situaciones físicas recurriendo a tal método. Así, al discutir el movimiento de la Tierra alrededor del Sol podemos considerar a la Tierra como una partícula en el espacio. Sin embargo, debemos advertirle que al examinar la rotación de la Tierra respecto a su eje no es posible usar tal suposición simplificadora.

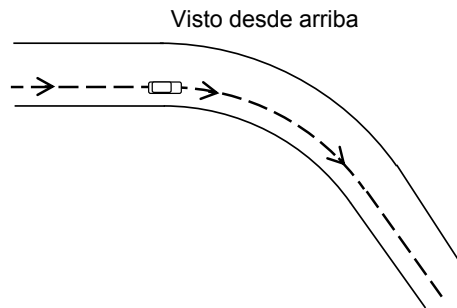
Rapidez media de una partícula

Ya hemos dicho que un objeto (partícula) está en movimiento cuando cambia su posición con el transcurso del tiempo con respecto a un observador.

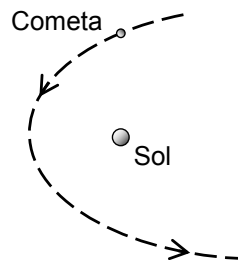
Al cambiar la partícula de posición describe una trayectoria. La medición de la longitud de esa trayectoria en un intervalo de tiempo nos permite obtener el valor del camino recorrido por la partícula en ese intervalo de tiempo.

Considere los siguientes ejemplos de trayectorias:

- Un automóvil está entrando en una curva del camino; la trayectoria es la curva punteada:



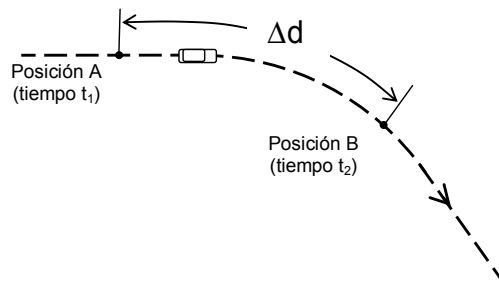
- Un cometa describe una trayectoria elíptica en torno al sol:



Vamos a definir “rapidez media de camino recorrido” de una partícula en un “intervalo de tiempo” como:

$$\text{rapidez media} = \frac{\text{camino recorrido por una partícula}}{\text{intervalo de tiempo empleado en el camino recorrido}}$$

donde, por simplicidad y por ser un término del lenguaje cotidiano, hemos usado “rapidez media” como abreviación de “rapidez media de cambio de camino recorrido”



En forma simbólica anotamos: $\bar{v} = \frac{\Delta d}{\Delta t}$

La correspondiente dimensión es:

$$\dim(\bar{v}) = \frac{\dim(\Delta s)}{\dim(\Delta t)} = \frac{\mathcal{L}}{\tau} = \mathcal{L} : \tau^{-1}$$

Una forma de medir el camino recorrido por un automóvil es mediante el **odómetro** (también llamado comúnmente “cuentakilómetros”), que marca el camino total recorrido por el automóvil desde que salió de la fábrica hasta el presente; usualmente este camino recorrido es llamado el “kilometraje” del automóvil.

Suponga que un automovilista anota el kilometraje al comienzo y al final de un viaje entre dos ciudades y los correspondientes tiempos:

	Hora	Kilometraje
Salida desde Santiago	17:15	44080,3
Llegada a Valparaíso	18:43	44201,9
Incrementos	88[min]	121,6[km]

Entonces, la rapidez media para este viaje es:

$$\bar{v} = \frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{121,6[\text{km}]}{88[\text{min}]} \approx 1,38 [\text{km/min}]$$

Multiplicando por $\frac{60[\text{min}]}{1[\text{h}]}$ se obtiene el valor en las unidades más usadas en este caso:

$$\bar{v} \approx 82,8 [\text{km/h}]$$

La rapidez media puede ser útil en algunas situaciones; por ejemplo, para indicar la rapidez “efectiva” de circulación del tráfico en una ciudad muy congestionada. Sin embargo, en otras aplicaciones es necesario definir la rapidez que tiene un cuerpo “en un instante dado”. Por ejemplo, suponga que un policía del tránsito detiene a un automovilista por “exceso de velocidad”[†]. El automovilista no podría aducir en su defensa, que su rapidez media durante el viaje ha sido “tan sólo de 82,8[km/h]”.

Para medir la rapidez del automóvil “en un instante” el policía usa un dispositivo de radar que emite pulsos electromagnéticos por intervalos de tiempo muy pequeños (de orden de magnitud de milisegundos), y registra los pulsos reflejados en el automóvil. La rapidez, así medida, es de todos modos una rapidez media. Pero como el intervalo de tiempo es muy pequeño, el valor obtenido puede considerarse como la rapidez en un instante. Definimos, en forma aproximada:

$$\text{rapidez instantánea} \approx \left(\frac{\text{distancia recorrida}}{\text{intervalo de tiempo}} ; \text{para un intervalo de tiempo "muy pequeño"} \right)$$

[†] En situaciones de la vida diaria se usa la palabra “velocidad” para referirse a la rapidez. Por ejemplo, en las señales del tránsito se usa: “Velocidad máxima: 120 [km/h]”.

Simbólicamente, podemos escribir la rapidez instantánea como:

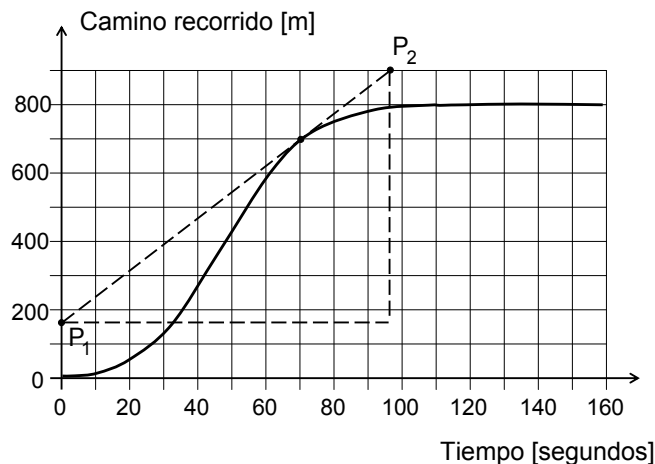
$$v \approx \left(\frac{\Delta d}{\Delta t} ; \text{para un intervalo de tiempo "muy pequeño"} \right)$$

donde hemos usado el símbolo v (sin “barra”) para distinguirla de la rapidez media.

Como el camino recorrido sólo puede aumentar o permanecer constante (nunca disminuye), la **rapidez media y la rapidez instantánea sólo pueden tomar valores positivos o cero**. El “velocímetro” de un automóvil es otra forma de medir la rapidez instantánea: sus valores son siempre positivos o cero sin importar en qué dirección y sentido se mueve el vehículo.

Podemos calcular aproximadamente la **rapidez instantánea de un cuerpo a partir de un gráfico del camino recorrido en función del tiempo**, dibujando una **recta tangencial a la curva** y calculando su **pendiente**.

Ejemplo. Un cuerpo se mueve de modo que el camino recorrido varía en función del tiempo según el gráfico adjunto. Calcule aproximadamente la **rapidez media** durante el intervalo entre 0 y 70[s], y también la **rapidez instantánea** en el instante 70[s].



La rapidez media entre 0 y 70 [s] está dada por:

$$\bar{v} = \frac{\Delta d}{\Delta t} \approx \frac{(700 - 0)[m]}{(70 - 0)[s]} \approx 10[m / s]$$

Para calcular aproximadamente la rapidez instantánea dibujamos una recta tangencial a la curva, en el instante 70[s]. Para calcular la pendiente de esta recta podemos tomar dos puntos cualesquiera, por ejemplo, P_1 y P_2 :

$$v = \text{pendiente de la recta tangencial} \approx \frac{(900 - 170)[m]}{(96 - 0)[s]} \approx 7,6[m / s]$$

Por ahora, no es nuestra intención preocuparnos de la “descripción del movimiento”; por lo tanto, no mencionamos en esta ocasión el asunto del “sistema de referencia” ni otros aspectos relacionados con el movimiento de un objeto.

Ejercicios

4-1) Determine su “rapidez media” cuando:

- camina una cuadra a paso normal,
- corre una cuadra con “todas sus ganas”,
- sube por la escala de la U.S.M..

Realice las mediciones necesarias. Exprese sus resultados en [m/s] y compare.

4-2) Ingénieselas para determinar la “rapidez media” de:

- una hormiga caminando,
- un caracol arrastrándose sobre la tierra,
- una mosca volando dentro de una pieza,
- una gaviota volando sobre el mar,
- un gato corriendo,
- una pelota de básquetbol lanzada desde media cancha al arco,
- una gota de lluvia,
- una gota de agua al caer desde el alero de una casa al suelo.

Piense en métodos simples que sean apropiados para cada caso y efectúe mediciones. Exprese sus resultados en unidades que Ud. considere las más convenientes.

4-3) Averigüe “récores” nacionales o internacionales para carreras de: 100[m] planos, 100[m] vallas, 400[m] vallas, 800[m] planos, 1[mile] , posta 4x400[m], 5.000[m], 20.000[m] y de una maratón. Calcule la rapidez media para cada evento, exprese las todas en [km/h] y construya una “escala uniforme” para representarlas. Proceda en forma similar para carreras de natación. Use el mismo gráfico.

Haga comparaciones con carreras de caballos para diferentes distancias.

4-4) Infórmese y luego determine la rapidez media con la cual:

- navega un transatlántico,
- pasa una película frente al lente del proyector en un cine corriente,
- avanza un automóvil mientras es armado en una línea de montaje.

Exprese sus resultados en [m/s] .

Rapidez: órdenes de magnitud

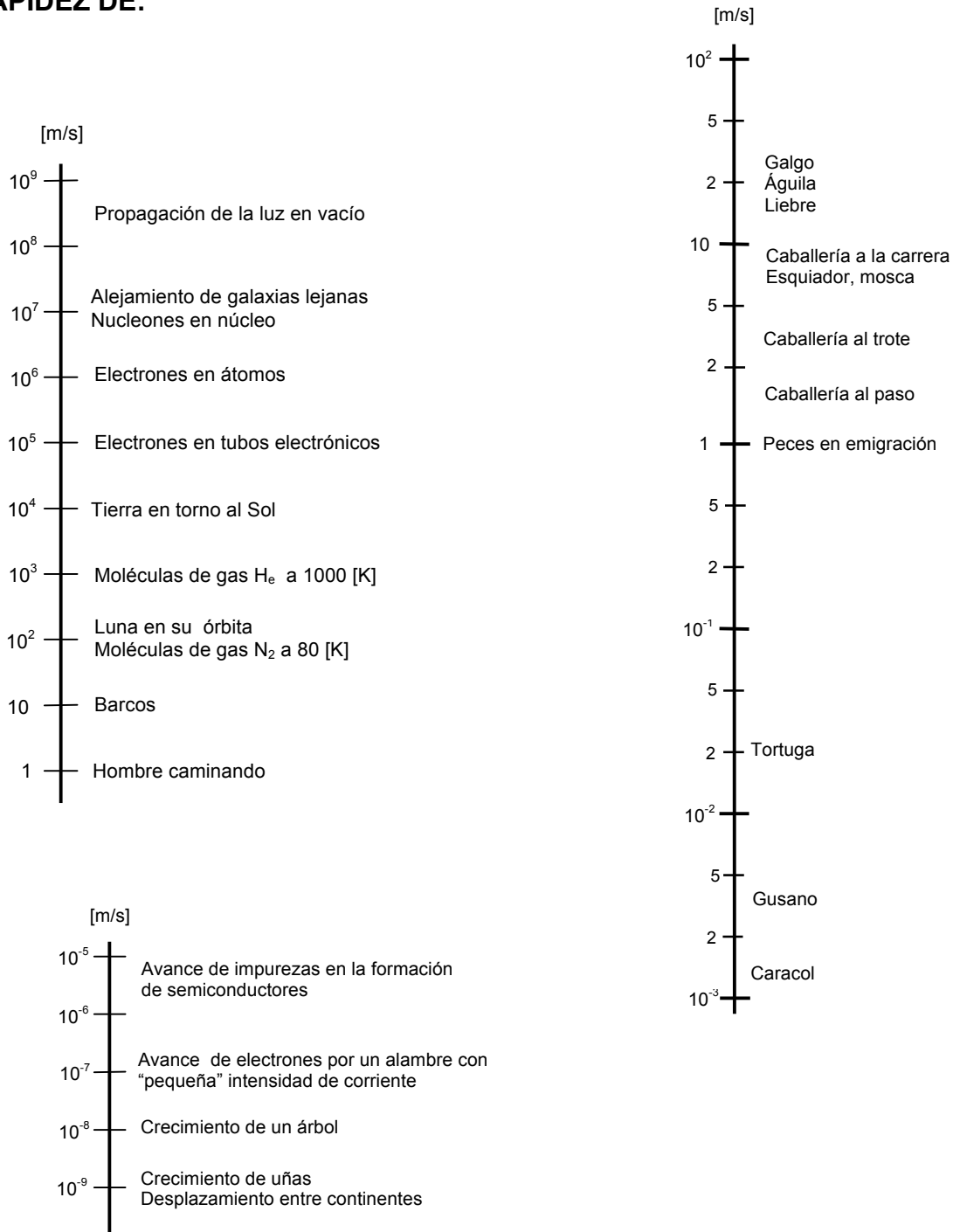
El orden de magnitud de la rapidez de un hombre caminando es 1[m/s] y corriendo es 10[m/s]. Cuando el hombre quiso moverse más rápido y llegar más lejos, primero montó animales y luego construyó máquinas para conseguir su objetivo.

Si un observador detecta que una partícula no se mueve, dice que su rapidez es cero. Los físicos han construido o han hecho construir máquinas para aumentar cada vez más la rapidez de partículas,

hasta obtener que su valor sea casi igual a la “rapidez de propagación de la luz en el vacío”, rapidez que no puede ser sobrepasada por ninguna de tales partículas. Todas las partículas que se han encontrado en la naturaleza o que se han producido en el laboratorio pueden desplazarse con rapidez entre 0 [m/s] y $3 \cdot 10^8\text{ [m/s]}$.

En la figura de la página mostramos “órdenes de magnitud de rapidez” para diferentes cosas.

RAPIDEZ DE:

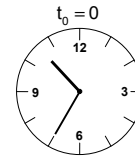
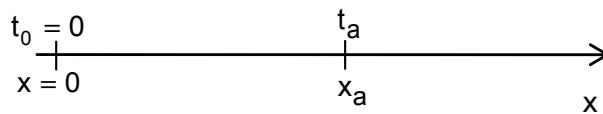


- Un tren de carga que viaja con una rapidez media de 20[km/h], pasa por cierta estación a las 10:35 horas . Un tren expreso pasa por esa estación a las 10:50, viajando por la misma línea, en igual sentido, con una rapidez media de 90[km/h]. Si el tren de carga no cambia de línea oportunamente, habría choque; calculemos el tiempo máximo del cual dispone el tren de carga, desde que pasó por la estación, para cambiar de vía.

$$v_c = 20[\text{km} / \text{h}] = \frac{20}{60}[\text{km} / \text{min}] = \frac{1}{3}[\text{km} / \text{min}] \text{ rapidez del tren de carga}$$

$$v_{\text{ex}} = 90[\text{km} / \text{h}] = \frac{90}{60}[\text{km} / \text{min}] = 1,50[\text{km} / \text{min}] \text{ rapidez del tren expreso}$$

$$t_{\text{ex}} = 15[\text{min}]$$



Sea t_a el instante en que el expreso alcanza al tren de carga. Entonces:

→ El máximo intervalo de tiempo disponible para el tren de carga: $t_a - t_0 = t_a$

→ Intervalo de tiempo para que el tren expreso alcance al de carga: $t_a - t_{\text{ex}} = t_a - 15$

→ Camino recorrido por el tren de carga hasta el alcance:

$$\Delta s_c = v_c t_a$$

$$\Delta s_c = \left(\frac{1}{3}\right) t_a$$

→ Camino recorrido por el expreso hasta el alcance:

$$\Delta s_{\text{ex}} = v_x (t_a - 15)$$

$$\Delta s_{\text{ex}} = 1,5(t_a - 15)$$

Ambos recorridos son iguales: $\Delta s_c = \Delta s_{\text{ex}}$

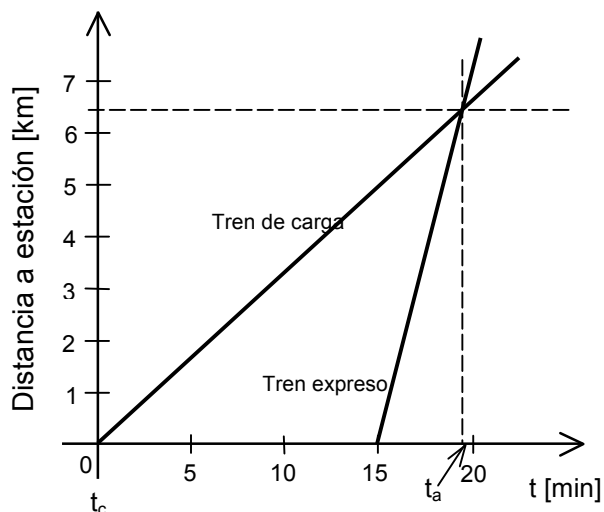
$$\frac{1}{3}[\text{km} / \text{min}] \cdot t_a = 1,5[\text{km} / \text{min}] \cdot (t_a - 15 [\text{min}])$$

$$\left(1,5 - \frac{1}{3}\right)t_a = 22,5 [\text{min}]$$

$$t_a = \frac{22,5 \cdot 3}{3 \cdot 1,5 - 1} \approx 19,3 [\text{min}]$$

Por lo tanto, el tren de carga debe cambiar de línea antes de que transcurran 19[min] desde que pasó por la estación.

Calcule usted la distancia entre la estación y el lugar donde se produciría el choque si el tren de carga no se desviara. Compare tal distancia obtenida con la indicada en el gráfico adjunto. Este gráfico se ha construido suponiendo rapidez constantes.



- La carretera que une a las ciudades A y B tiene 250[km] de largo. Supongamos que al mismo tiempo que parte un automóvil de A hacia B, parte otro de B hacia A; supongamos que los automóviles viajan con rapidez constantes de 60[km/h] y 40[km/h], respectivamente. Hagamos un gráfico para representar la distancia a la ciudad A de cada automóvil en función del tiempo. Determinemos del gráfico el lugar y el instante en que ambos automóviles se cruzan. Resolvamos este problema algebraicamente.

Designemos por:

$t = 0$ el instante en que ambos autos parten de A y B respectivamente.

$v_A = 60[\text{km/h}]$ la rapidez del auto que sale de A.

$d_A(t)$ la distancia recorrida en el tiempo t por el auto que sale de A.

$v_B = 40[\text{km/h}]$ la rapidez del auto que sale de B.

$d_B(t)$ la distancia a la ciudad A en el tiempo t del auto que sale de B.

Con esta notación tenemos que:

$$d_A(0) = 0 \quad \text{y}$$

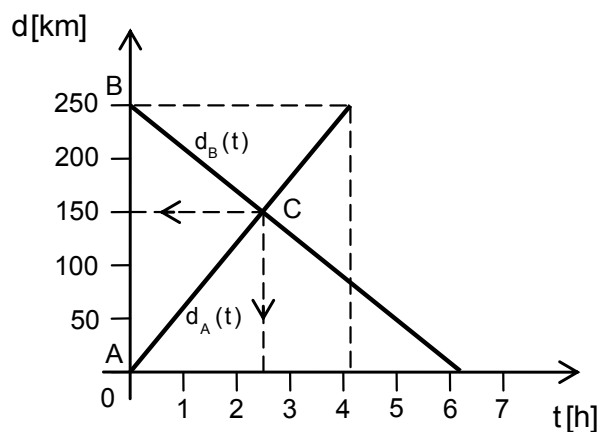
$$d_B(0) = 250 [\text{km}]$$

Como las rapidez son constantes, el tiempo t_{AB} que emplea el auto que sale de A para llegar a B es:

$$t_{AB} = \frac{250[\text{km}]}{60[\text{km/h}]} \approx 4,2[\text{h}]$$

y el tiempo t_{BA} que necesita el auto que sale de B para llegar a A es:

$$t_{BA} = \frac{250[\text{km}]}{40[\text{km/h}]} \approx 6,2[\text{h}]$$



Con tales informaciones construimos el gráfico de la figura adjunta.

Indicamos por C el evento: *ambos autos se cruzan*. Leemos en el gráfico que ellos se cruzan aproximadamente 2,5[h] después de la salida y a 150 [km] de la ciudad A.

Si llamamos t_c al instante en los autos se cruzan, resulta:

$$d_A(t_c) = v_A \cdot t_c \quad \text{y} \quad d_B(t_c) = 250[\text{km}] - v_B \cdot t_c$$

y como $d_A(t_c) = d_B(t_c)$, determinamos:

$$t_c = \frac{250[\text{km}]}{v_A + v_B} = \frac{250[\text{km}]}{100[\text{km/h}]} = 2,5[\text{h}]$$

$$d_A(t_c) = v_A \cdot t_c = 60[\text{km/h}] \cdot 2,5[\text{h}] = 150[\text{km}],$$

valores iguales a los obtenidos gráficamente.

Ejercicios

4-5) Un ciclista recorre cierta distancia en 5[h] 14[min]. Determine el tiempo requerido para que recorra igual distancia con una rapidez media 20% mayor.

4-6) Determine aproximadamente la rapidez media de la Tierra en su movimiento alrededor del Sol. Dé el resultado en [km/h].

4-7) Un corredor completa una carrera de 1[mile] 170[yd] en 4[min] 2[s]. Calcule su rapidez media en [m/s].

4-8) Calcule el tiempo que emplearía un barco para ir de Valparaíso a la Isla de Pascua navegando con una rapidez media de 18[nudo]. Le damos las equivalencias $1[\text{nudo}] \triangleq 1[\text{milla náutica/h}]$ y $1[\text{milla náutica}] \triangleq 1852[\text{m}]$; averigüe usted los datos geográficos.

4-9) Un automóvil pasa por las estaciones observadoras **A**, **B**, **C**, **D** y **E** que distan entre sí 60[m], transcurriendo 4,0[s] entre el paso por dos estaciones consecutivas. Represente gráficamente la distancia recorrida y la rapidez en función del tiempo.

4-10) Las rapideces, constantes, de dos vehículos están en la razón 7:5. Si el primero demora 1[h] 24[min] en recorrer una distancia, ¿qué tiempo demorará el segundo en recorrer la misma distancia?

4-11) Considere las dos situaciones siguientes para el movimiento de un objeto:

* se mueve con rapidez constante de 1,4[m/s] durante la primera mitad del tiempo que estuvo en movimiento y durante la otra mitad lo hace con rapidez constante de 0,60[m/s].

** recorre la primera mitad del trayecto con rapidez constante de 1,4[m/s] y la otra mitad con rapidez constante de 0,60[m/s].

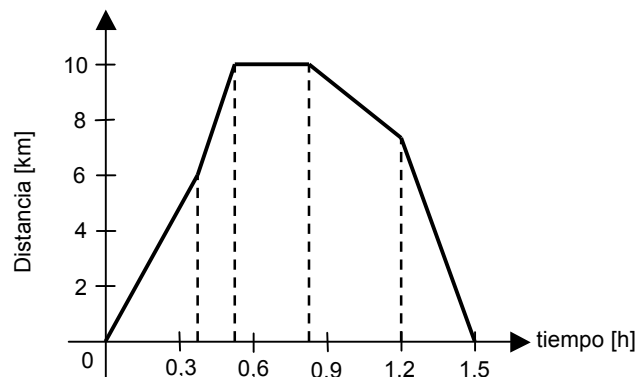
Calcule la rapidez media para cada una de las situaciones. Compare y comente.

4-12) Una liebre puede correr a $80[\text{km/h}]$ y una tortuga a $4,0[\text{m/min}]$. Se acuerda entre ambas realizar una carrera de $3[\text{km}]$ por una misma ruta. Determine el mayor tiempo que la liebre puede ponerse a dormir en el camino para que lleguen empatadas a la meta.

4-13) En una carrera de autos, que consiste en dar 50 vueltas a un circuito de $20[\text{km}]$ de perímetro, un corredor ha completado 45 vueltas con una rapidez media de $212[\text{km/h}]$. El cree que ya ha superado el récord para tal carrera, que es $204[\text{km/h}]$, entonces se relaja y en el resto de la carrera baja su rapidez media a $160[\text{km/h}]$. Determine si la apreciación del corredor es correcta.

4-14) Suponga que un tren recorre cierta distancia con rapidez constante. Si la rapidez aumentara en $6,0[\text{km/h}]$ el tiempo del recorrido disminuiría en $4,0[\text{h}]$ y si la rapidez disminuyera en $6,0[\text{km/h}]$ el tiempo aumentaría en $6,0[\text{h}]$. Calcule la distancia recorrida por el tren y el valor de la rapidez.

4-15) Un muchacho corre en bicicleta desde su casa hasta la de un amigo, regresando después de estar un tiempo con él. El gráfico "distancia a su casa en función del tiempo" describe lo ocurrido. Represente la rapidez media en función del tiempo.



4-16) En un viaje en automóvil se controló que para intervalos sucesivos de $16[\text{min}]$, $25[\text{min}]$ y $10[\text{min}]$ las rapidez medias fueron $20[\text{km/h}]$, $60[\text{km/h}]$ y $30[\text{km/h}]$ respectivamente. Calcule la longitud del viaje durante todo ese tiempo y calcule el tiempo necesario para recorrer los primeros $16[\text{km}]$. Construya gráficos de distancia recorrida y de rapidez en función del tiempo.

4-17) Desde un centro distribuidor salen 8 camiones con $10[\text{min}]$ de intervalo entre cada uno; ellos deben recorrer $90[\text{km}]$ hasta el lugar de descarga. Suponga que los camiones viajan con rapidez constante de $40[\text{km/h}]$ y construya un gráfico para representar la distancia recorrida por cada camión en función del tiempo (el mismo gráfico para todos los camiones). Una hora después que partió el primer camión sale un automóvil del mismo lugar y por la misma ruta. Suponga que el automóvil viaja con rapidez constante de $60[\text{km/h}]$ y determine, del gráfico, el número de esos camiones que el conductor del automóvil pasa en el camino.

4-18) Dos automóviles que están a una distancia de $39[\text{km}]$ uno del otro, parten al mismo tiempo a encontrarse. El primero recorre $3,0[\text{km}]$ en $5,0[\text{min}]$ y el segundo $2,0[\text{km}]$ en $3,0[\text{min}]$. Si ambos se mueven con rapidez constante ¿después de cuántos minutos estarán a una distancia de $20[\text{km}]$? Resuelva el problema algebraicamente y gráficamente.

4-19) De dos lugares que distan $106[\text{km}]$ entre sí, parten dos ciclistas, uno al encuentro del otro, con rapidez constantes que son entre sí como $4:3$ y se encuentran $4,0[\text{h}]$ después de partir el primero. ¿Cuántos kilómetros recorrió cada uno, si el segundo parte $1,0[\text{h}]$ después que el primero?

4-20) Un tren recorre $120[\text{km}]$ en cierto tiempo. En otra ocasión recorre la misma distancia en $30[\text{min}]$ menos, por haber aumentado su rapidez en $3,3[\text{m/s}]$. ¿En qué tiempo recorrió la distancia la primera vez?

4-21) Un tren recorre cierta distancia con rapidez constante. Si ésta aumenta en $6,0[\text{km/h}]$, el tiempo empleado para recorrer la distancia disminuye en $4,0[\text{h}]$. Si la distancia aumenta en $180[\text{km}]$, el tiempo aumenta en $6,0[\text{h}]$ cuando el tren se mueve con la rapidez primera. Calcule la distancia y las dos rapidezces.

4-22) Un tío y sus tres sobrinos deciden ir a un cine que está a $9,5[\text{km}]$ de distancia de su casa. A las 18:15 sale el primer sobrino en su bicicleta con una rapidez constante de $18,0[\text{km/h}]$. A las 18:22 salen los otros dos sobrinos, caminan $300[\text{m}]$ y a las 18:33 toman un auto que los lleva a $60[\text{km/h}]$. El tío sale a las 18:37 en su automóvil y se dirige al cine con una rapidez media de $80[\text{km/h}]$. Determine algebraicamente y gráficamente, en qué orden y a qué hora llegan los sobrinos y el tío al cine.

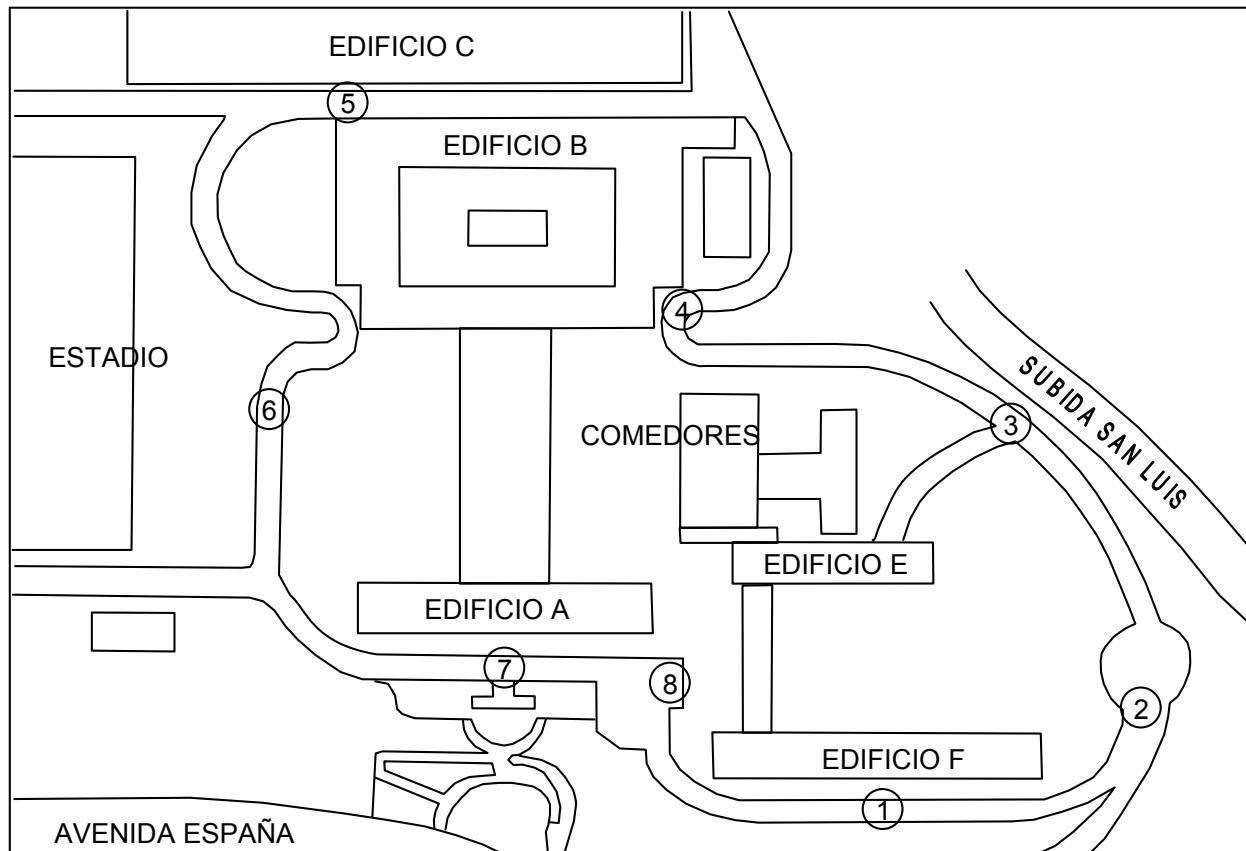
4-23) En una maratón olímpica de 42 kilómetros, a un participante le planifican su carrera de la siguiente forma: los primeros $20[\text{km}]$ con rapidez constante de $6,0[\text{km/h}]$, los siguientes $10[\text{km}]$ con rapidez de $7,0[\text{km/h}]$, los siguientes $8,0[\text{km}]$ a $7,5[\text{km/h}]$ para finalizar a $8,5[\text{km/h}]$. Sin embargo, al comienzo es apurado por un contrincante, haciendo los primeros $20[\text{km}]$ en $2[\text{h}] 50[\text{min}]$, por ello, al llegar al último tramo está cansado, logrando sólo una rapidez media de $8,0[\text{km/h}]$. Calcule la diferencia entre el tiempo empleado y el tiempo previsto.

4-24) Don J. sale de su casa a pie a las 8:00 horas a su trabajo y camina con rapidez constante de $0,50[\text{m/s}]$; $7[\text{min}]$ después su esposa se percató que él ha olvidado su portadocumentos y envía a su hijo a alcanzarlo, con instrucción de entregárselo antes de las 8:35, en el camino a la oficina. El muchacho sale trotando con rapidez de $0,60[\text{m/s}]$ y en $8[\text{min}]$ lo avista y entonces se detiene por $7[\text{min}]$ frente a un escaparate de juguetes. ¿Con qué rapidez media debe moverse a continuación para alcanzar a su padre a tiempo?

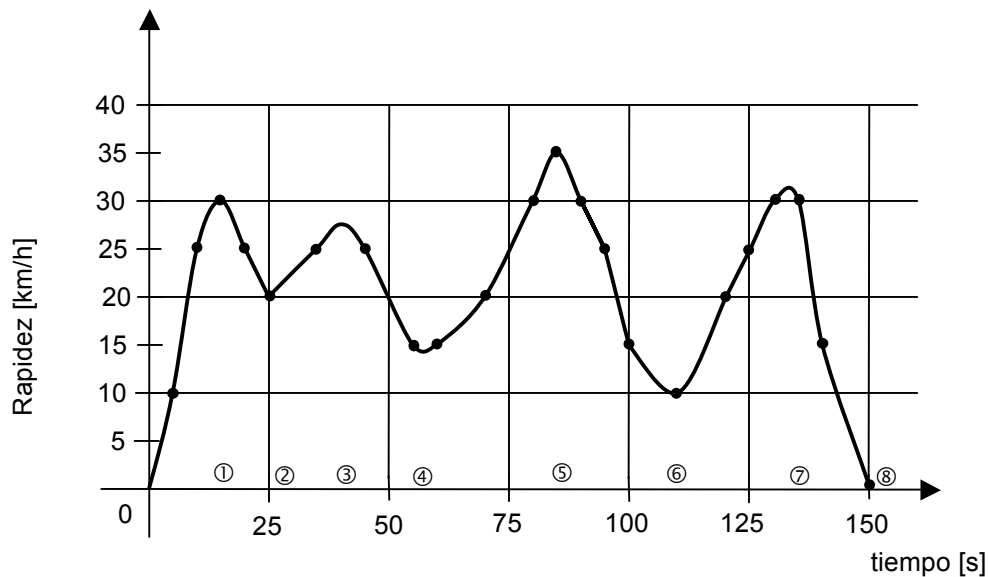
4-25) Dos caracoles situados a $1,44[\text{m}]$ de distancia se acercan uno al otro en línea recta, cada uno con rapidez media de $36[\text{mm/min}]$. Una hormiga se mueve entre ellos, sucesivamente del uno hacia el otro, con rapidez media de $36[\text{cm/min}]$. Calcule la distancia recorrida por la hormiga hasta que los caracoles se juntan

Aceleración media para un objeto en movimiento

Un domingo en la mañana hicimos un “tour automovilístico” por el interior de nuestra U.S.M., el recorrido se lo indicamos en el plano.



Fuimos preparados para hacer mediciones mientras recorríamos la universidad. Medimos el tiempo con un cronómetro y los valores de la rapidez los observamos directamente en el “velocímetro” del automóvil. Pusimos a marchar el cronómetro al partir el automóvil ($t = 0[s]$) y, a intervalos de $5[s]$ o de $10[s]$, anotamos la rapidez correspondiente. Aproximamos los valores de rapidez a múltiplos de $5[km/h]$, ya que no podíamos pretender mejor precisión con el instrumento usado. Los resultados obtenidos los representamos en un gráfico de “rapidez en función del tiempo”.



Las curvas en este gráfico **no son** las curvas del camino seguido. El auto pasó las posiciones indicadas por círculos numerados en el plano en los tiempos correspondientemente numerados en este gráfico.

Partimos desde el estacionamiento frente al edificio Miramar (edificio F) y viajamos aumentando la rapidez hasta llegar cerca de la subida San Luis, donde la disminuimos antes de tomar la curva; continuamos el viaje aumentando o disminuyendo la rapidez del automóvil, acelerando, según las características de la ruta. El mayor valor de la rapidez se alcanzó en el tramo recto entre el edificio de Laboratorios (edificio B) y el de Talleres (edificio C) y el menor en el tramo adyacente al estadio, debido a las curvas muy cerradas que presenta el camino en tal sector.

Después de la descripción cualitativa del viaje, examinemos lo sucedido durante un intervalo particular de tiempo:

Entre los instantes 5[s] y 10[s] determinamos del gráfico que la rapidez aumentó de 10[km/h] a 25[km/h]; hubo un incremento en la rapidez de 15[km/h] durante 5[s] o el “**cambio de rapidez** fue de 3[km/h] durante 1[s]”; acostumbramos a dar esta información diciendo: la **aceleración media** fue de 3[km / h · s].

En forma simbólica escribimos:

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{(25 - 10) \text{ [km/h]}}{(10 - 5) \text{ [s]}} = \frac{15 \text{ [km/h]}}{5 \text{ [s]}} \triangleq$$

$$\triangleq 3 \left[\frac{\text{km/h}}{\text{s}} \right] \triangleq 3 [\text{km/h} \cdot \text{s}] \triangleq$$

$$\triangleq 3/3600 [\text{km/s}^2] \approx 0,0008 [\text{km/s}^2] \triangleq 0,8 [\text{m/s}^2]$$

Procediendo en forma análoga podemos calcular aceleraciones medias para otros tiempos durante el viaje. Por ejemplo:

- Para $t = 35[s]$ y para $t = 45[s]$ la rapidez tuvo el mismo valor $25[km/h]$; en consecuencia, la aceleración media para tal intervalo de tiempo es:

$$\bar{a} = \frac{(25 - 25) [km/h]}{(45 - 35) [s]} = 0 [km/h \cdot s]$$

- Más tarde, cuando $t = 90[s]$ se midió la rapidez $v_{90} = 30[km/h]$ y cuando $t = 95[s]$ se midió $v_{95} = 25[km/h]$; entonces:

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{(25 - 30) [km/h]}{(95 - 90) [s]} = \frac{-5 [km/h]}{5 [s]} = -1 [km/h \cdot s];$$

en casos como éste, en que la aceleración **tiene un valor negativo**, podemos hablar de **desaceleración** o de **retardación**.

Dejamos para Ud. la tarea de calcular “aceleraciones medias” para sucesivos intervalos de $5[s]$ de duración, desde el comienzo hasta el final del viaje. Represente los valores de aceleración media que ha obtenido en función del tiempo.

En síntesis, para caracterizar la **variación de la rapidez** durante el transcurso del tiempo introdujimos el concepto de **aceleración**. Procediendo en forma análoga a lo hecho al presentar el concepto de rapidez media, definimos:

$$\text{aceleración media} = \frac{\text{cambio de rapidez durante un intervalo de tiempo}}{\text{duración de tal intervalo de tiempo}}$$

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

De esta definición resulta la relación dimensional:

$$\dim(\text{aceleración}) = \frac{\dim(\text{rapidez})}{\dim(\text{tiempo})} = \frac{\mathcal{L} \cdot \tau^{-1}}{\tau} = \mathcal{L} \cdot \tau^{-2}$$

y también el uso adecuado de las unidades de medición:

$$\begin{aligned} \bar{a} &= \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{p [\text{unidad de rapidez}]}{q [\text{unidad de tiempo}]} = \frac{p \left[\frac{\text{unidad de longitud}}{(\text{unidad de tiempo})} \right]}{q [\text{unidad de tiempo}]} = \\ &= \frac{p}{q} \left[\frac{\text{unidad de longitud}}{(\text{unidad de tiempo}) \cdot (\text{unidad de tiempo})} \right] \end{aligned}$$

y, como es bastante usual, al elegir la **misma** “unidad de tiempo” en el cálculo de la aceleración que la usada en la rapidez, resulta:

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{p}{q} \left[\frac{\text{unidad de longitud}}{(\text{unidad de tiempo})^2} \right]$$

- Un bus, inicialmente detenido, demora 25 [s] para alcanzar la rapidez de 50 [km/h].
El procedimiento para determinar la aceleración es:

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{50[\text{km/h}] - 0}{25 [\text{s}]}$$

$$\bar{a} = \frac{50}{25} \left[\frac{\text{km}}{\text{h} \cdot \text{s}} \right]$$

$$\bar{a} = 2 \left[\frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s} \cdot \text{s}} \right]$$

$$\bar{a} = \frac{20}{36} [\text{m/s}^2] = \frac{5}{9} [\text{m/s}^2] \approx 0,6 [\text{m/s}^2]$$

- Un automóvil aumenta su rapidez de 20[mile/h] a 55[mile/h] en 1/2[min]
El valor de la aceleración media la obtenemos directamente de la definición:

$$\begin{aligned} \bar{a} &= \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{(55 - 20) [\text{mile/h}]}{0,50 [\text{min}]} = \frac{35}{0,50} \left[\frac{\text{mile}}{\text{h} \cdot \text{min}} \right] \\ &= \frac{35 \cdot 1 [\text{mile/h}]}{0,50 \cdot 1 [\text{h}] \cdot 1 [\text{min}]} \triangleq \frac{35 \cdot 1609 [\text{m}]}{0,50 \cdot 3600 [\text{s}] \cdot 60 [\text{s}]} \\ &= \frac{35 \cdot 1609}{0,50 \cdot 3600 \cdot 60} [\text{m/s}^2] \approx 0,52 [\text{m/s}^2] \end{aligned}$$

Aceleración: órdenes de magnitud

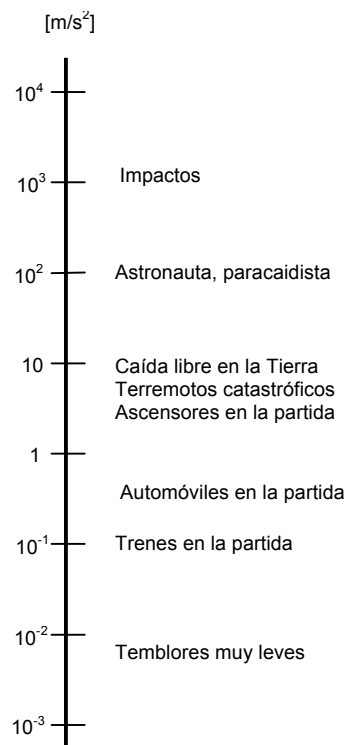
Estamos convencidos que usted ha leído o escuchado que “*en un cierto lugar todos los cuerpos caen en el vacío con la misma aceleración*”. El valor de esta aceleración, aunque distinta para diferentes lugares, tiene en la Tierra el orden de magnitud $10[\text{m/s}^2]$ ($g \sim 10[\text{m/s}^2]$).

Valores típicos de la aceleración de partida de ciertos vehículos son: $0,1[\text{m/s}^2]$ para trenes; $0,6[\text{m/s}^2]$ para automóviles; $2[\text{m/s}^2]$ para ascensores. Un astronauta está sometido a una aceleración del orden de $10^2[\text{m/s}^2]$ ($\sim 10g$) en los primeros minutos de su alejamiento de la Tierra. Al abrirse un paracaídas se experimentan desaceleraciones del orden de $10^2[\text{m/s}^2]$.

La caída de un individuo, de $1,80[\text{m}]$ de estatura, sobre su occipital puede producir un impacto de unos $3[\text{ms}]$ de duración, originando desaceleraciones del orden de $10^3[\text{m/s}^2]$, lo que provocaría fractura. En general, impactos con desaceleraciones mayores que $100 \cdot g$ ($\sim 10^3[\text{m/s}^2]$) pueden producir fracturas de huesos; tales valores son posibles en colisiones de automóviles, por ejemplo si uno viaja a $60[\text{km/h}]$ y es detenido en $4[\text{ms}]$.

Aceleraciones producidas por actividad sísmica están en el rango de $5 \cdot 10^{-3}[\text{m/s}^2]$ para temblores muy leves y hasta $5[\text{m/s}^2]$ para terremotos catastróficos.

ACELERACIONES DE



Ejercicios

4-26) El valor de la aceleración media de un objeto se da en la forma $143[(\text{mile/h})/\text{min}]$. Interprete esta aceleración y exprese en $[\text{m/s}^2]$.

4-27) Un burrito trotando se cansa y baja su rapidez de $14[\text{km/h}]$ a $9[\text{km/h}]$ en $8[\text{min}]$. Calcule su aceleración media, en $[\text{ft/s}^2]$, durante ese tiempo.

4-28) La tabla adjunta muestra los valores de la rapidez instantánea de un automóvil en función del tiempo. Haga gráficos de la rapidez instantánea y de la aceleración media en función del tiempo.

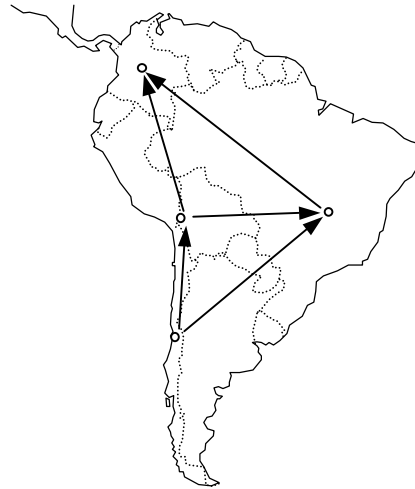
Aproximadamente:

¿Cuál es la rapidez para $t = 2,5[\text{s}]$?

¿Cuál es el máximo valor de la aceleración media?

tiempo [s]	rapidez [m/s]
0,0	0,0
1,0	6,3
2,0	11,6
3,0	16,5
4,0	20,5
5,0	24,1
6,0	27,3
7,0	29,5
8,0	31,3
9,0	33,1
10,0	34,9

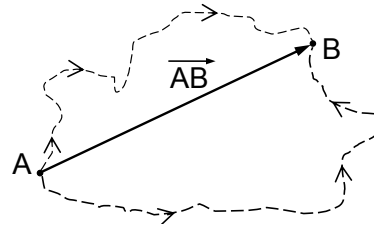
CAPÍTULO V

DESPLAZAMIENTO
VECTORES

Hemos indicado que un cuerpo se mueve cuando cambia de posición en el espacio.

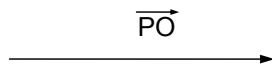
Es muy importante en Física saber medir ese cambio de posición, introduciendo el concepto de **desplazamiento**. Este concepto debe contener e indicar no sólo la magnitud del cambio de posición, sino además, la dirección en que se ha efectuado el cambio.

Si un cuerpo se ha movido de la posición A a la posición B, no importando qué trayectoria haya seguido, definimos como desplazamiento de este cuerpo al **trazo dirigido** que va desde la posición A a la final B.



El desplazamiento de A a B, que podemos simbolizar por \overrightarrow{AB} , es uno de los ejemplos del ente matemático que indica **magnitud y dirección, llamado vector**.

- Supongamos que un turista camina a lo largo de 2 Norte desde 4 Poniente hasta 2 Oriente. El desplazamiento correspondiente lo representamos por el vector:



cuya magnitud, de acuerdo a la escala del plano, es aproximadamente 650[m].

- Otra persona parte de la intersección entre 3 Poniente y 4 Norte, anda por 4 Norte hasta 1 Oriente, luego dobla y “baja” por 1 Oriente hasta la 2 Norte.

