

## Tema 4. Cinemática. Movimiento rectilíneo uniforme MRU

### 4.0. Guión de trabajo del tema

El profesor determina a un grupo de alumnos para que preparen la exposición oral de los apartados 4.1 y 4.2. La exposición se hace de manera individual, cumpliendo los siguientes requisitos:

- Duración entre 3 y 5 minutos.
- Se deben desarrollar tres ideas principales a través de tres folios tamaño A3 colocados en la pizarra, a modo de guión visual para los oyentes.
- Responder a las dudas que planteen los alumnos o el profesor al finalizar la exposición.
- Se calificará según las rúbricas indicadas a principio de curso para las exposiciones orales.

Atiende a la exposición del profesor sobre el apartado 4.3.

Trabajo en equipo.

- Leer y resumir en el cuaderno el apartado 4.4.
- Caja de dudas: resolver en equipo los problemas del apartado 4.5. Si hay algún ejercicio del que se tenga dudas, un miembro del grupo apunta el número del ejercicio en un papel y lo deposita en la caja de dudas. También se pueden escribir dudas sobre enunciados o sobre pasos concretos del planteamiento. Al finalizar la clase, se resuelven las dudas entre todos.

Trabajo en equipo.

- Realizar en grupo el experimento detallado en el apartado 4.6.
- Redactar el informe científico correspondiente.

#### 4.1. Origen del sistema de referencia, posición y distancia en movimientos rectilíneos

La cinemática es la parte de la Física que se encarga de la posición y del movimiento de los objetos. Por objeto entendemos cualquier cuerpo físico que nos rodea: una piedra, una persona, un coche, un insecto, una gota de agua o una molécula de oxígeno.

Para poder entender la cinemática debemos definir de manera precisa una serie de conceptos.

Cuando quiero conocer mi altura, me coloco de pie bien estirado y alguien mide con una cinta métrica desde el suelo hasta mi cabeza. Si mi altura es de 1,62 m significa que mi cabeza está separada del suelo una distancia igual a 1,62 m.

Si deseo conocer la altura de una portería repito el mismo procedimiento, pero midiendo ahora desde el suelo hasta el larguero.

¿Qué tienen en común mi altura y la altura de la portería? Que ambas alturas se miden a partir del suelo, que se convierte en el origen del sistema de referencia para las alturas. Es decir, el suelo es el punto de altura 0 m.

Pensemos ahora en el lanzamiento de peso que se practica dentro del atletismo. Si un lanzador alcanza, por ejemplo, 18,30 m significa que esa es la distancia a la que se encuentra el peso desde un punto de referencia inicial, que consideramos con distancia 0 m.

El origen del sistema de referencia es el lugar desde donde se comienza a medir. Para movimientos en línea recta, el origen del sistema de referencia tiene valor 0 m.

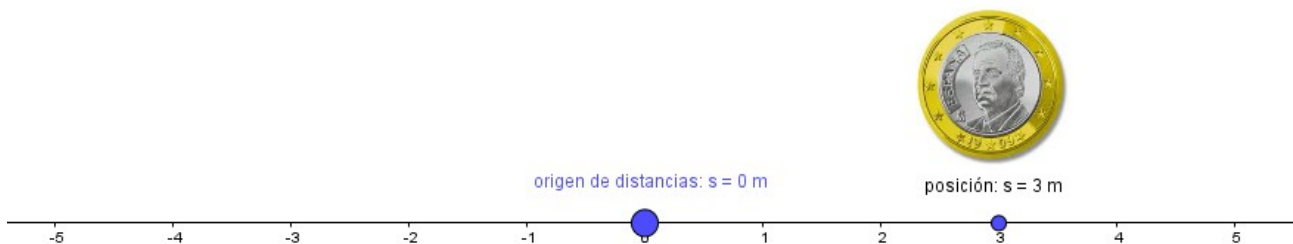
*En los movimientos rectilíneos (en línea recta) las distancias a la derecha del origen del sistema de referencia son positivas y las distancias a la izquierda son negativas.*



Ojo: reservaremos la letra  $s$  para hablar de distancias. Mantén esa notación en tu cuaderno, en los informes de práctica y en los exámenes.

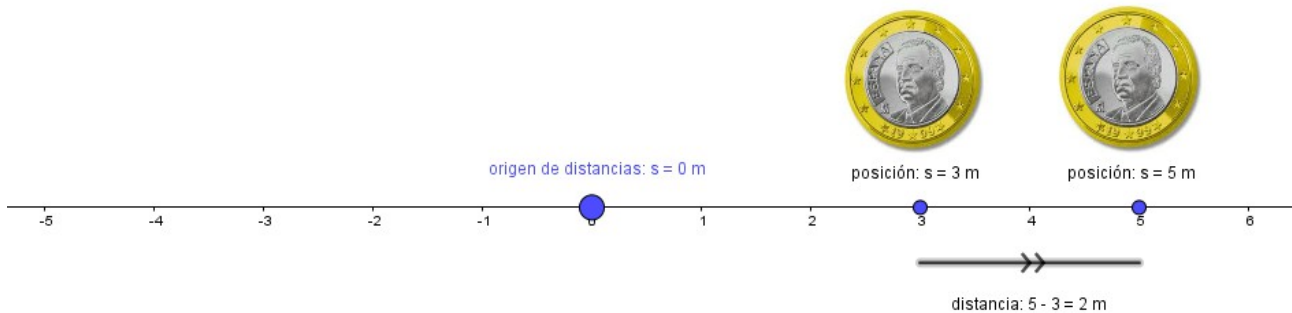
La situación de un objeto dentro del sistema de referencia se llama posición. Por ejemplo, a 3 metros del origen.

*La moneda se sitúa en una posición a 3 metros del origen del sistema de referencia.*



Cuando dos objetos se colocan en dos posiciones distintas, la diferencia entre ambas posiciones se denomina distancia.

La distancia entre las dos monedas es igual a la diferencia de sus posiciones:  $5 - 3 = 2$  metros.



¿Qué objetos se mueven, en la vida real, solo en línea recta?

Muy pocos. Casi todos los objetos se mueven en un plano (dos dimensiones, como una hormiga en el suelo) o en el espacio (tres dimensiones, como un pájaro al vuelo).

Pero el movimiento en línea recta es una buena aproximación para poder comprender, poco a poco, movimientos más complejos y realistas.

#### 4.2. Velocidad. Movimiento rectilíneo uniforme (MRU)

La velocidad es una magnitud física que mide cómo de rápido cambia la posición de un objeto en función del tiempo. Si la posición se mide en metros y el tiempo en segundos, la unidad de la velocidad es m/s.

Para hablar de velocidad necesitamos conocer dos posiciones de un objeto para dos tiempos distintos. A la posición inicial la llamaremos  $s_0$ , al tiempo inicial  $t_0$ , a la posición final  $s_f$  y al tiempo final  $t_f$ . De esta forma la velocidad se calcula con la siguiente fórmula:

$$v = \frac{s_f - s_0}{t_f - t_0}$$

Es decir, la velocidad se calcula con una división. En el numerador aparece la diferencia de dos posiciones (que llamamos, en el apartado anterior, distancia). Y en el denominador aparece la diferencia entre dos tiempos (que llamaremos intervalo de tiempo).

Esta velocidad se conoce como velocidad media. ¿Qué significa la palabra “media”?

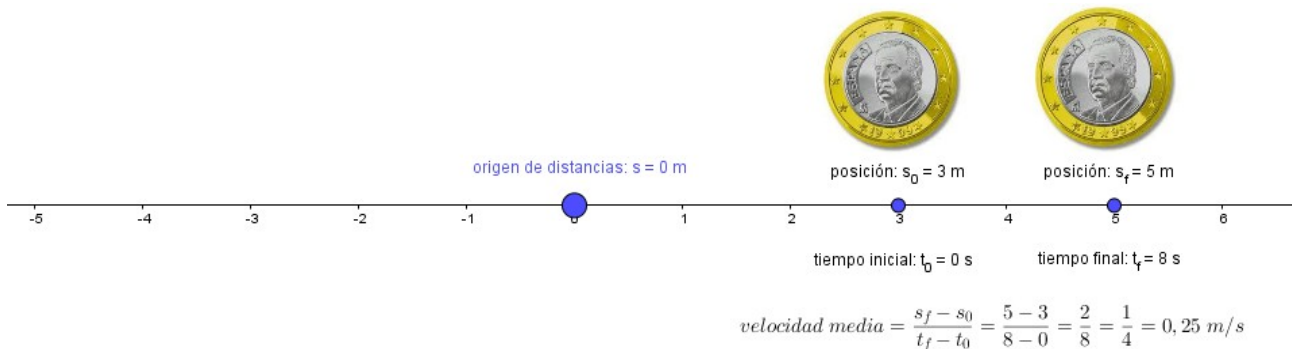
Significa que es una velocidad de referencia. En el tiempo que dura el movimiento, el objeto posiblemente se habrá desplazado a veces más rápido y a veces más lento que el valor indicado por la velocidad media. Esta velocidad media es un valor representativo, y nos permite de manera sencilla comparar entre dos movimientos cuál ha sido el más rápido.

Cuando viajamos en coche y miramos el velocímetro, estamos observando la velocidad del coche para un instante concreto. Es lo que se conoce como velocidad instantánea.

Con la fórmula de la velocidad media podemos obtener la velocidad instantánea si el intervalo de tiempo  $t_f - t_0$  es muy, muy, muy pequeño. Así funciona, por ejemplo, un radar de carretera: mide la posición de

un coche en tiempos muy cercanos (del orden de las milésimas de segundo) y calcula la velocidad instantánea del vehículo en ese intervalo de tiempo tan pequeño.

Una moneda se desplaza desde la posición inicial  $s_0 = 3 \text{ m}$  a la posición final  $s_f = 5 \text{ m}$ , en el intervalo de tiempo que transcurre desde  $t_0 = 0 \text{ s}$  hasta  $t_f = 8 \text{ s}$ . La velocidad media resultante es de  $0,25 \text{ m/s}$ .



A lo largo de este tema vamos a considerar siempre movimientos con velocidad constante, por lo que esa velocidad constante va a coincidir con la velocidad media.

Si unimos velocidad constante con movimientos en línea recta, tendremos lo que se conoce como movimiento rectilíneo uniforme (MRU). Estos movimientos son los que vamos a estudiar en los siguientes ejemplos.

### 4.3. Fórmula general del MRU

A partir de la fórmula de la velocidad media, vamos a obtener una expresión general muy útil para los MRU.

$$v = \frac{s_f - s_0}{t_f - t_0} \rightarrow \text{El denominador pasa multiplicando al otro miembro de la igualdad}$$

$$v(t_f - t_0) = s_f - s_0 \rightarrow \text{La posición inicial pasa sumando al otro miembro}$$

$$v(t_f - t_0) + s_0 = s_f \rightarrow \text{Escribimos la igualdad en sentido inverso}$$

$$s_f = s_0 + v(t_f - t_0) \rightarrow \text{Fórmula general del MRU}$$

Esta fórmula general nos dice que la posición final del objeto ( $s_f$ ) es igual a su posición inicial ( $s_0$ ) más el producto de la velocidad por el intervalo de tiempo transcurrido ( $v(t_f - t_0)$ ).

Es bastante común que la posición inicial sea  $s_0 = 0 \text{ m}$  y que el tiempo inicial sea  $t_0 = 0 \text{ s}$ . En este caso particular la fórmula queda simplificada a:

$$s_f = v \cdot t_f \rightarrow \text{Fórmula general del MRU para } s_0 = 0 \text{ m y } t_0 = 0 \text{ s}$$

Aplicamos estas fórmulas en algunos ejemplos. Si el enunciado no indica lo contrario, las soluciones se dan en el SI de unidades.

**Ejemplo 1:** Si un coche mantiene una velocidad constante de 40 km/h durante veinte minutos, ¿cuántos kilómetros habrá recorrido en ese tiempo?

Podemos considerar que el coche parte del origen del sistema de referencia, por lo tanto  $s_0 = 0$  m y  $t_0 = 0$  s. Así podremos usar la fórmula:

$$s_f = v \cdot t_f$$

Donde  $v = 40$  km/h y  $t_f = 20$  min. Ojo con las unidades. Si la velocidad viene dada en km/h deberemos pasar el tiempo de minutos a horas, usando factor de conversión.

$$20 \text{ min} = 20 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = \frac{20}{60} \text{ h} = \frac{1}{3} \text{ h}$$

Y sustituyendo en la ecuación del MRU:

$$s_f = 40 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \frac{1}{3} \text{ h} = \frac{40}{3} \text{ km} = 13,33 \text{ km}$$

**Ejemplo 2:** La Tierra gira alrededor del Sol (traslación) con una velocidad aproximada de 29,8 km/s. Si la Tierra tarda 365,25 días en dar una vuelta completa alrededor del Sol, ¿qué distancia recorre durante un año? Expresar el resultado final en km y en notación científica.

Nuevamente podemos considerar  $s_0 = 0$  m y  $t_0 = 0$  s. Así podremos usar la fórmula:

$$s_f = v \cdot t_f$$

Donde  $v = 29,8$  km/s y  $t_f = 365,25$  días. Debemos pasar el tiempo de días a segundos, para poder multiplicar correctamente la velocidad por el tiempo. Aplicamos, una vez más, factor de conversión.

$$365,25 \text{ días} = 365,25 \text{ días} \cdot \frac{60 \cdot 60 \cdot 24 \text{ s}}{1 \text{ día}} = 31.557.600 \text{ s}$$

Sustituyendo en la fórmula del MRU:

$$s_f = 29,8 \frac{\text{km}}{\text{s}} \cdot 31.557.600 \text{ s} = 940.416.480 \text{ km} = 9,40 \cdot 10^8 \text{ km}$$

**Ejemplo 3:** Una persona sale de paseo a las 17.00 horas. Mantiene siempre una velocidad constante. A las 17.15 horas lleva caminado 1.250 m. A las 17.25 horas alcanza los 2.120 m. ¿Cuál ha sido su velocidad media desde las 17.15 hasta las 17.25 horas? Expresar el resultado en km/h.

La fórmula para obtener la velocidad media es:

$$v = \frac{s_f - s_0}{t_f - t_0}$$

La posición inicial es  $s_0 = 1.250$  m. El tiempo inicial es  $t_0 = 17.15$  horas. La posición final es  $s_f = 2.120$  m. Y el tiempo final es  $t_f = 17.25$  horas. Por lo tanto:

$$s_f - s_0 = 2.120 - 1.250 = 870 \text{ m} \rightarrow 870 \text{ m} = 870 \text{ m} \cdot \frac{1 \text{ km}}{1.000 \text{ m}} = 0,87 \text{ km}$$

$$t_f - t_0 = 17.25 - 17.15 = 10 \text{ min} \rightarrow 10 \text{ min} = 10 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = \frac{1}{6} \text{ h} = 0,17 \text{ h}$$

Si llevamos estos resultados a la fórmula de la velocidad media:

$$v = \frac{0,87 \text{ km}}{0,17 \text{ h}} = 5,12 \text{ km/h}$$

**Ejemplo 4:** Un coche recorre la distancia entre Málaga y Granada en 74 minutos. Ambas ciudades están separadas por 125 km. ¿Cuál ha sido su velocidad media durante el trayecto? Expresar el resultado en m/s.

Consideramos la simplificación  $s_0 = 0 \text{ m}$  y  $t_0 = 0 \text{ s}$ . Así  $s_f = 125 \text{ km}$  y  $t_f = 74 \text{ min}$ , por lo que la velocidad media se calcula con la fórmula:

$$v = \frac{s_f - s_0}{t_f - t_0} = \frac{125 \text{ km} - 0 \text{ km}}{74 \text{ min} - 0 \text{ min}} = 1,69 \text{ km/min}$$

Pasamos la velocidad a m/s mediante factores de conversión.

$$1,69 \frac{\text{km}}{\text{min}} = 1,69 \frac{\text{km}}{\text{min}} \cdot \frac{1.000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 28,17 \text{ m/s}$$

**Ejemplo 5:** Un objeto parte de una posición inicial situada a 5 m del origen del sistema de referencia. Avanza con velocidad constante de 10 m/s durante 3 segundos. ¿Cuál es la posición final del objeto?

Utilizamos la fórmula general del MRU:

$$s_f = s_0 + v(t_f - t_0)$$

Donde  $s_0 = 5 \text{ m}$ ,  $t_0 = 0 \text{ s}$ ,  $t_f = 3 \text{ s}$  y  $v = 10 \text{ m/s}$ . La posición final resulta:

$$s_f = 5 + 10(3 - 0) = 35 \text{ m}$$

**Ejemplo 6:** Un caracol comienza un movimiento de velocidad constante de 11 cm/min. ¿Cuánto tiempo tardará en recorrer 1,5 m? Expresar el resultado final en minutos.

En esta ocasión podemos considerar que el caracol parte del origen del sistema de referencia, por lo que  $s_0 = 0 \text{ m}$  y  $t_0 = 0 \text{ s}$ . Así podemos emplear la fórmula simplificada para el MRU:

$$s_f = v \cdot t_f$$

La posición final es  $s_f = 1,5 \text{ m}$  y el tiempo final es la incógnita a despejar. La velocidad es  $v = 11 \text{ cm/min}$ , por lo que vamos a pasar la posición final a centímetros para poder operar correctamente.

$$1,5 \text{ m} = 1,5 \text{ m} \cdot \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} = 150 \text{ cm}$$

$$\frac{s_f}{v} = t_f \rightarrow \frac{150 \text{ cm}}{11 \text{ cm/min}} = t_f \rightarrow t_f = 13,63 \text{ min}$$

#### 4.4. La velocidad tiene dirección y sentido

Cuando coloco una manzana sobre una balanza y mido 137 g, todo el mundo entiende el valor de la masa. Pero si en un movimiento rectilíneo afirmo que la velocidad es de 5 m/s, no sabemos si el movimiento es horizontal, vertical u oblicuo. Y si es horizontal no sabemos si es hacia la derecha o es hacia la izquierda.

La velocidad necesita para estar definida de un número, una unidad, una dirección y un sentido. Esto es así porque la velocidad es una magnitud vectorial (los vectores son flechas con dirección y sentido).

¿Qué es la dirección?

Es la línea a lo largo de la cual se produce el movimiento. En la mayoría de los ejemplos que estudiaremos este curso la dirección será horizontal o vertical.

¿Qué es el sentido?

Es la orientación del movimiento dentro de la dirección. En movimientos horizontales el sentido positivo es hacia la derecha y el sentido negativo es hacia la izquierda. En movimientos verticales el sentido positivo es hacia arriba y el sentido negativo es hacia abajo.

Volviendo al ejemplo de inicio de este apartado, cuando hablemos de un movimiento de 5 m/s debemos indicar, además, que el movimiento es horizontal y hacia la derecha (por ser su número positivo).

Pongamos algunos ejemplos.

**Ejemplo 1:** En un movimiento horizontal un objeto parte de una posición inicial  $s_0 = 10 \text{ m}$  y termina en una posición final  $s_f = 3 \text{ m}$ . El movimiento ha durado 2 segundos. ¿Cuál ha sido la velocidad media? ¿Cuál ha sido el sentido del movimiento?

Sabemos que la velocidad media se calcula con la fórmula:

$$v = \frac{s_f - s_0}{t_f - t_0}$$

Podemos considerar  $t_0 = 0 \text{ s}$  y  $t_f = 2 \text{ s}$ . Por lo tanto:

$$v = \frac{3 \text{ m} - 10 \text{ m}}{2 \text{ s} - 0 \text{ s}} = \frac{-7 \text{ m}}{2 \text{ s}} = -3,5 \text{ m/s}$$

Al ser una velocidad negativa, el movimiento horizontal tiene sentido hacia la izquierda. Es decir, el objeto se acerca al origen del sistema de referencia.

**Ejemplo 2:** En la Estación Espacial Internacional los objetos, prácticamente, no sienten la atracción gravitatoria de la Tierra. Un astronauta lanza desde el suelo de la nave una pelota, que alcanza una altura de 2 metros tras 4 segundos. ¿Cuál ha sido la velocidad media? ¿Cuál ha sido el sentido del movimiento?

Podemos considerar  $t_0 = 0 \text{ s}$  y  $s_0 = 0 \text{ m}$ . Además  $t_f = 4 \text{ s}$  y  $s_f = 2 \text{ m}$ . Por lo tanto:

$$v = \frac{2 \text{ m} - 0 \text{ m}}{4 \text{ s} - 0 \text{ s}} = \frac{2 \text{ m}}{4 \text{ s}} = 0,5 \text{ m/s}$$

Al ser una velocidad positiva, el movimiento vertical tiene sentido hacia arriba. Es decir, el objeto se aleja del suelo (origen del sistema de referencia).

**Ejemplo 3:** Un atleta se sitúa inicialmente a 70 m de la línea de salida. Se acerca a la salida con una velocidad de 9 m/s durante 5 s. ¿Cuál es la posición final del atleta respecto la línea de salida?

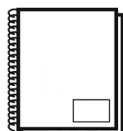
Podemos emplear la fórmula general del MRU:

$$s_f = s_0 + v(t_f - t_0)$$

Pero debemos tener en cuenta el signo de la velocidad. El enunciado afirma que el atleta se acerca a la línea de salida, que consideramos origen del sistema de referencia. Por lo que la velocidad tendrá signo negativo.

$$s_f = 70 - 9(5 - 0) = 25 \text{ m}$$

**4.5. Copia las preguntas en tu cuaderno y responde**



1. Calcula el tiempo que tarda un sonido en recorrer una viga de hierro de 360 m de longitud. Velocidad del sonido en el hierro: 5.000 m/s.
2. Un montañista se encuentra frente a la pared vertical de un gran desfiladero. Grita “¡Hola!” y, pasados 1,5 segundos, escucha el eco de su voz. ¿A qué distancia se encuentra de la pared?

**CUADERNO**

3. Una moto sale de Madrid a una velocidad constante de 68 km/h. Después de quince minutos sale otra moto en la misma dirección y sentido, y alcanza a la primera moto después de hora y media de circulación de la segunda moto. Halla la velocidad media de la segunda moto.
4. Dos coches salen simultáneamente desde dos ciudades A y B que distan entre sí 300 km, llevando la misma dirección y sentido contrario. Si uno de ellos lleva una velocidad de 90 km/h y el otro una velocidad de 110 km /h. ¿Dentro de cuánto tiempo se encontrarán? ¿A qué distancia de la ciudad A se produce el encuentro?
5. Una hormiga avanza en línea recta a una velocidad de 3 cm/s. Si el hormiguero se encuentra a una distancia de 0,0057 km, ¿cuánto tiempo tardará en llegar?
6. La velocidad del sonido en el aire es de 340 m/s. Ese valor se conoce como velocidad “Mach”. Un avión es supersónico cuando su velocidad es superior a un Mach. Si un avión vuela a 700 Km/h, ¿es supersónico?
7. La nadadora Mireia Belmonte ganó en los juegos olímpicos de Río 2016 la medalla de bronce en los 400 metros estilos, con unos últimos 50 metros espectaculares. Calcula su velocidad en km/h si recorrió esos 50 metros en 29 segundos con velocidad uniforme.
8. Calcula la longitud de un tren cuya velocidad es de 72 km/h y que ha pasado por un puente de 720 m de largo, si desde que entró la máquina hasta que salió el último vagón han pasado 0,75 minutos.

**4.6. Experimento a realizar: medir distancias con nuestros pasos**

Los materiales necesarios para la práctica son: regla, cronómetro y mapa a escala de la C/ Sócrates junto al colegio. Recuerda: **en el cuaderno personal de clase debe aparecer una descripción de 5-10 líneas de la práctica, además de las tablas que aparecen a continuación con todas las medidas realizadas.**

El profesor indicará una distancia en el patio del colegio que debe ser medida. ¿Cómo mediremos? Contando pisadas (un pie a continuación de otro pie).

Un miembro del grupo mide con una regla la longitud de su pie y luego cuenta el número de pies necesarios para cubrir la distancia indicada en el patio. La distancia final será el producto del número de huellas por la longitud de una huella.

Nombre del alumno	Longitud de huella (± 1 mm)	Número de huellas (± 1 pie)	Distancia total en el patio en mm y en m
			s =

Otro miembro del grupo recorre, a paso normal, la distancia indicada en el patio. Mide con un cronómetro el tiempo empleado y completa la siguiente tabla (la medida de tiempos se realiza tres veces, con objeto de calcular el tiempo medio de las tres medidas del mismo alumno).

Es aconsejable que el alumno realice las tres medidas a paso normal, al ritmo al que suele andar por la calle un día cualquiera.



Nombre del alumno:
Tiempo empleado (± 0,01 s)
Medida $t_1 =$
Medida $t_2 =$
Medida $t_3 =$

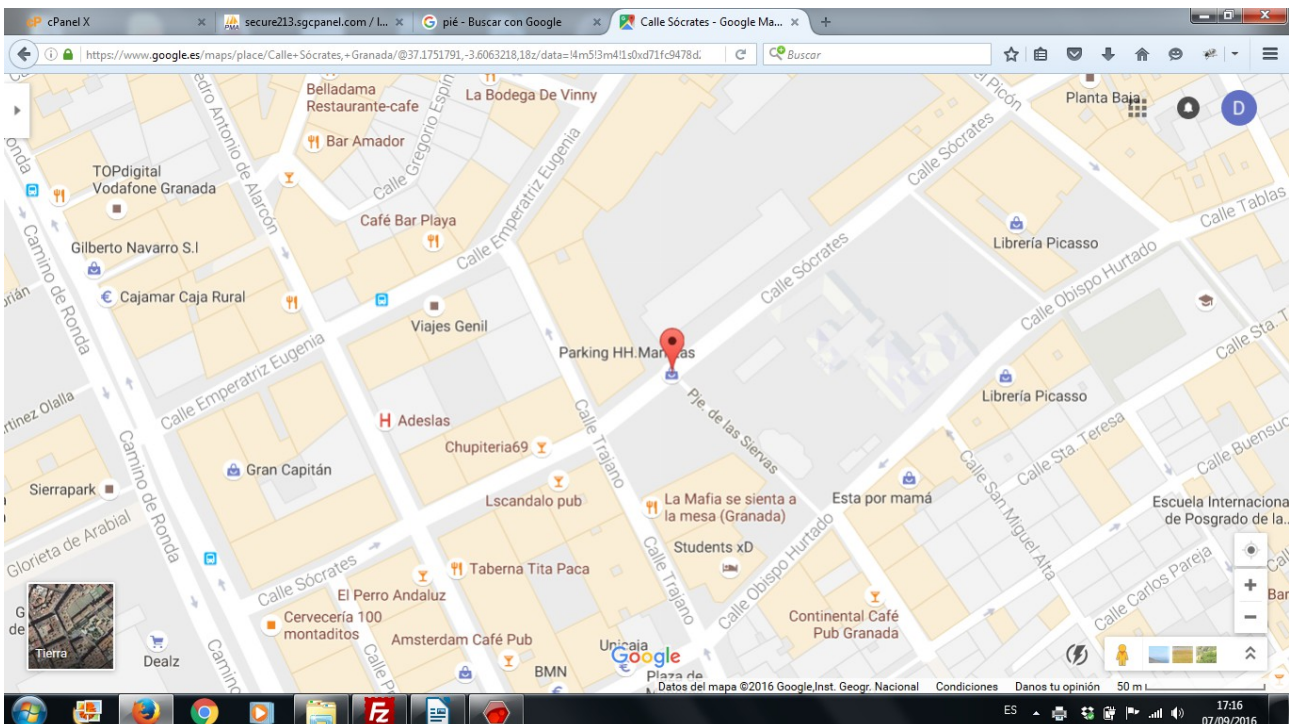
Calculamos el tiempo medio de las tres medidas con la expresión:

$$t_m = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3}$$

Con la distancia obtenida por el primer alumno y el tiempo medio del segundo alumno, podemos calcular la velocidad media del segundo alumno:

$$v_m = \frac{s}{t_m}$$

La segunda parte de la práctica la realizamos fuera del colegio. Salimos a la C/ Sócrates y con ayuda del mapa adjunto estimamos la distancia, en metros, de la C/ Sócrates desde la esquina con C/ Trajano hasta la esquina con C/ Carril del Picón.



En la parte inferior del mapa aparece la escala del mapa, por lo que podemos obtener la distancia de la calle según el mapa planteando una regla de proporcionalidad. A esa distancia la llamaremos  $s_{google}$ .

El segundo alumno del grupo que realizó las medidas de tiempo en el patio, recorre la calle y cronometra el tiempo empleado. Es recomendable que lo haga solo, para intentar mantener el mismo ritmo con el que anduvo en el patio. Así obtendrá un tiempo que llamaremos  $t_{calle}$ .

Con ayuda de la velocidad media obtenida anteriormente en el patio, el grupo debe estimar la distancia experimental de la calle a través de la fórmula:

$$S_{\text{experimental}} = v_m \cdot t_{\text{calle}}$$

El informe de esta práctica debe incluir los siguientes contenidos:

- **Portada.** Debe indicar el título del experimento, los autores y la fecha de realización.
- **Planteamiento del problema e hipótesis.** Explicar qué es lo que se quiere estudiar en la práctica y elaborar una hipótesis previa (antes de medir) de la velocidad media a la que andamos normalmente por la calle y del tiempo que creemos que tardaremos en recorrer la C/ Sócrates desde la esquina con C/ Trajano hasta la esquina con C/ Carril del Picón.
- **Fundamentos científicos.** Indicar los contenidos científicos en que se basa la práctica, definiendo conceptos como velocidad media y MRU. Si hemos consultado alguna fuente de información para documentarnos previamente sobre el asunto, debemos citarla y señalar explícitamente la información que hemos obtenido.
- **Procedimiento y material técnico.** Explicar paso a paso todo lo que se ha hecho. Indicar todos y cada uno de los materiales empleados. Describir especialmente cuál es el procedimiento seguido para obtener el valor  $S_{\text{google}}$ .

Si algún miembro del grupo dibuja bien, se puede ilustrar esta parte con sencillas imágenes ilustrativas.

- **Resultados experimentales.** Presentar de forma ordenada, clara y precisa los resultados experimentales, utilizando la tabla anteriormente indicada. Indicar claramente el tiempo medio de las tres medidas en el patio, el valor  $v_m$ , el valor  $S_{\text{google}}$ , el valor  $t_{\text{calle}}$  y el valor  $S_{\text{experimental}}$ .
- **Conclusiones.** Razonar, a partir de los resultados obtenidos, si nuestras hipótesis de partida han sido acertadas o no. Suponiendo que el valor  $S_{\text{google}}$  es el valor teórico de la longitud de la calle, obtener el error absoluto y el error relativo cometido con el valor  $S_{\text{experimental}}$ .

Indicar posibles causas de error introducidas a lo largo de toda la práctica.