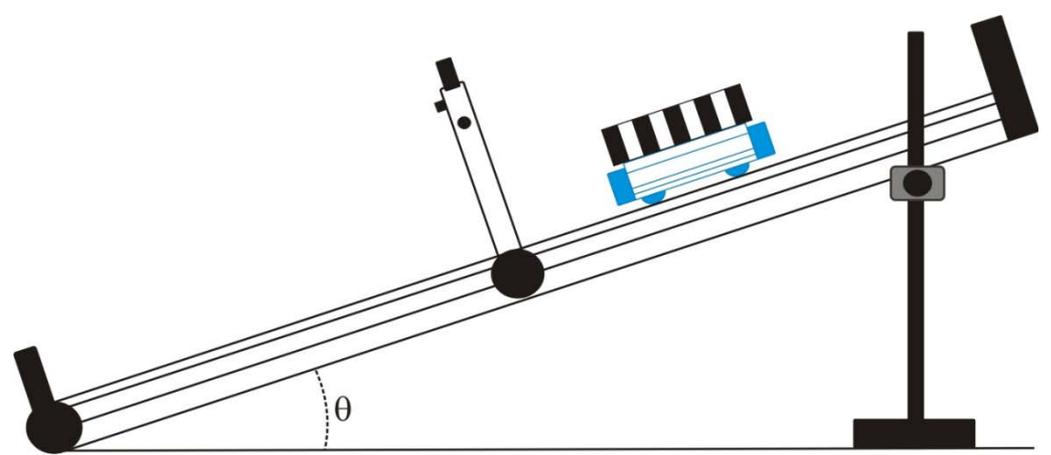


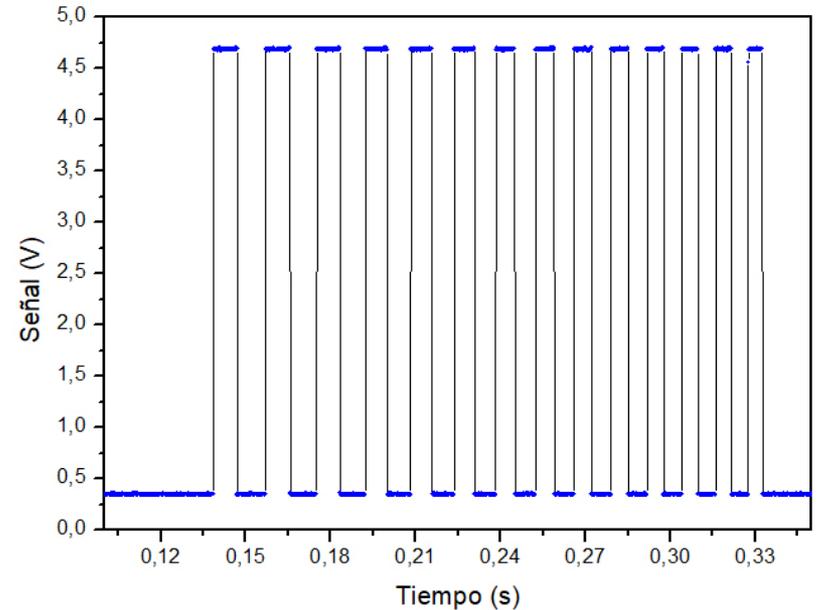
Photogates: Cálculo de la velocidad de un móvil



Supongamos que se tiene un móvil (con una cebrá) que se desliza por una pista y que un photogate detecta su paso por un punto de la pista. Para este ejemplo consideramos que la cebrá tiene las siguientes distancias características L_1 y L_2 :



Si graficamos los datos experimentales observamos:



1- ¿Cómo obtenemos la frecuencia de muestreo a partir de nuestros datos experimentales?

La señal se muestrea cada T segundos (T : tiempo característico de muestreo) siendo $f_m = 1/T$ la frecuencia de muestreo. Para determinar f_m tengo que hallar el valor de T .

Esto se puede hacer de la siguiente manera:

Si **Col(A)** es el tiempo y **Col(B)** es el voltaje medido, voy a **Set Colum Values** y calculo el tiempo transcurrido entre dos medidas consecutivas: $\text{Col(A)}[i+1] - \text{Col(A)}[i]$

| | A(X) | B(Y) | C(Y) |
|------------|--------|----------|------|
| Long Name | | | |
| Units | | | |
| Comments | | | |
| Sparklines | | | |
| 1 | 0 | 4,734868 | |
| 2 | 0,0002 | 4,732356 | |
| 3 | 0,0004 | 4,73989 | |
| 4 | 0,0006 | 4,732356 | |
| 5 | 0,0008 | 4,727334 | |
| 6 | 0,001 | 4,734868 | |
| 7 | 0,0012 | 4,734868 | |
| 8 | 0,0014 | 4,73989 | |
| 9 | 0,0016 | 4,734868 | |
| 10 | 0,0018 | 4,729845 | |
| 11 | 0,002 | 4,734868 | |
| 12 | 0,0022 | 4,732356 | |
| 13 | 0,0024 | 4,737379 | |
| 14 | 0,0026 | 4,732356 | |
| 15 | 0,0028 | 4,729845 | |
| 16 | 0,003 | 4,732356 | |
| 17 | 0,0032 | 4,742401 | |



| | A(X) | B(Y) | C(Y) |
|------------|--------|----------|--------|
| Long Name | | | |
| Units | | | |
| Comments | | | |
| Sparklines | | | |
| 1 | 0 | 4,734868 | 0,0002 |
| 2 | 0,0002 | 4,732356 | 0,0002 |
| 3 | 0,0004 | 4,73989 | 0,0002 |
| 4 | 0,0006 | 4,732356 | 0,0002 |
| 5 | 0,0008 | 4,727334 | 0,0002 |
| 6 | 0,001 | 4,734868 | 0,0002 |
| 7 | 0,0012 | 4,734868 | 0,0002 |
| 8 | 0,0014 | 4,73989 | 0,0002 |
| 9 | 0,0016 | 4,734868 | 0,0002 |
| 10 | 0,0018 | 4,729845 | 0,0002 |
| 11 | 0,002 | 4,734868 | 0,0002 |
| 12 | 0,0022 | 4,732356 | 0,0002 |
| 13 | 0,0024 | 4,737379 | 0,0002 |
| 14 | 0,0026 | 4,732356 | 0,0002 |
| 15 | 0,0028 | 4,729845 | 0,0002 |
| 16 | 0,003 | 4,732356 | 0,0002 |
| 17 | 0,0032 | 4,742401 | 0,0002 |

Cuando hacemos esto vemos que las mediciones se registraron cada 0.0002 s (ver columna C).

Entonces,
$$f_m = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.0002 \text{ s}} = 5000 \text{ Hz}$$

Y la incerteza en el tiempo es $\Delta t = 0.0002 \text{ s}$

2- Variación de la velocidad en el tiempo

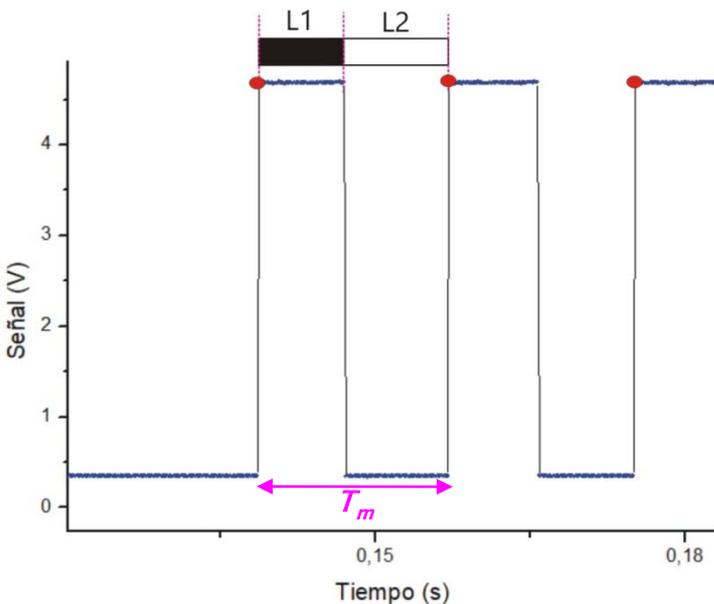
Sabemos que la velocidad es $v = \frac{\partial x}{\partial t}$. ¿Cómo estimo v a partir de mis datos experimentales?

Experimentalmente es posible estimar la velocidad media de la siguiente manera:

$$v = \frac{L}{T_m} = \frac{\text{desplazamiento}}{\text{intervalo de tiempo}}$$

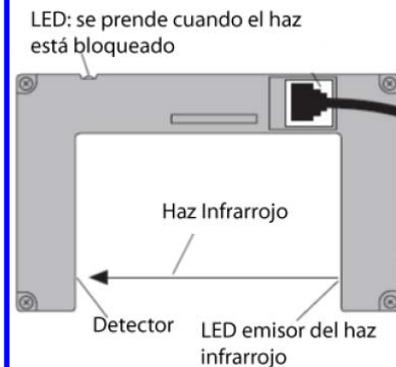
Siendo T_m el intervalo de tiempo correspondiente al desplazamiento L del móvil.

Hay varias formas de estimar la velocidad: Puedo considerar $L = L1 + L2$.



Señal entre 0 y 5 V.

¿Por qué convendría hacerlo de esta forma en vez de considerar por separado $L1$ y $L2$?

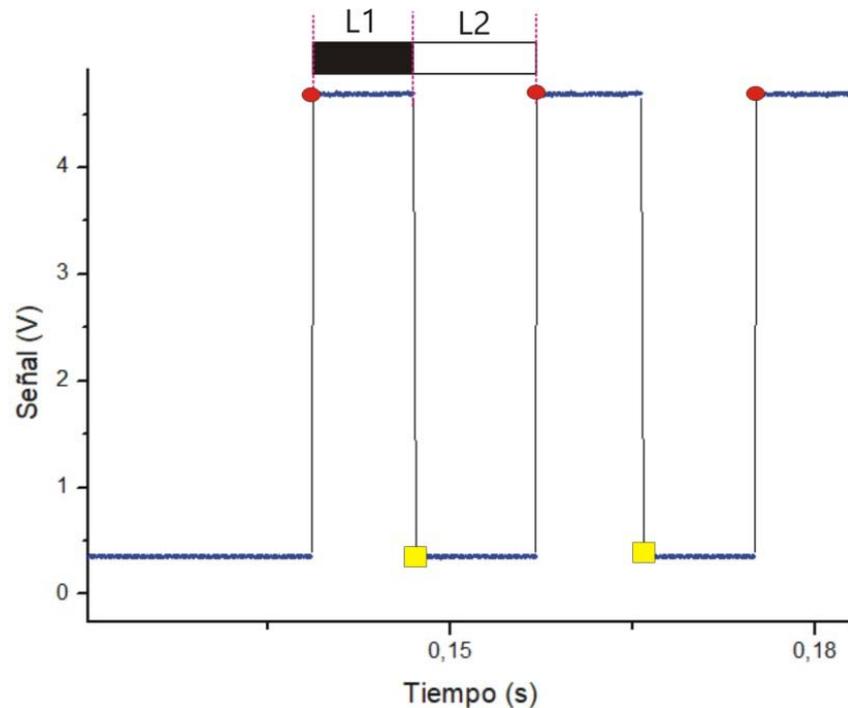


Vimos que el photogate tiene un sensor de luz (detector) y un led emisor. Si un objeto obtura el haz del led cambia el valor de voltaje (de 0 a 5 V).

El led tiene un cierto tamaño y su haz diverge rápidamente. Estas características podrían afectar la medición de los tiempos dependiendo de si la rendija está en la zona $L1$ (obstrucción) o la zona $L2$ (ventana). Para evitar este problema consideramos $L = L1 + L2$.

Variación de la velocidad en el tiempo

Si considero $L = L1 + L2$. En este caso T_m será el intervalo de tiempo definido por los círculos rojos.



Señal entre 0 y 5 V.

¿Cómo obtengo T_m ?

Una posibilidad es usar la opción *Worksheet Query* de Origin. Dada una lista de datos, esta opción permite extraer (o filtrar) aquellos datos que cumplan con alguna condición específica.

1- Seleccionar la columna Voltaje.

2- Ir a [Worksheet > Worksheet Query](#) > Seleccionar las columnas que se quieren usar y escribir la condición:

$$\mathbf{Col(B)[i] - Col(B)[i-1] > 4}$$

Supongo que en la columna B están los datos de voltaje.

¿Por qué escribo esta condición?

Si hago la operación: $i - (i-1) > 4$

- La mayoría da cero (o cercano a este valor considerando los datos reales).
- En los flancos de subida (datos marcados con círculos rojos): $i - (i+1) \sim 5$
- En los flancos de bajada (datos marcados con cuadrados amarillos): $i - (i+1) \sim -5$
- El programa guarda los datos del elemento i que cumplen la condición dada.

Esta operación genera una nueva tabla de datos con la información filtrada (Origin se queda con el elemento i).

| | A(X) | B(Y) | C(Y) | D(Y) |
|-----------|---------|---------|---------|---------|
| Long Name | tiempo | Señal | Tm | t_prom |
| Units | | | | |
| Comments | | | | |
| 1 | 0,13871 | 4,68178 | 0,01843 | 0,14793 |
| 2 | 0,15714 | 4,69433 | 0,018 | 0,16614 |
| 3 | 0,17514 | 4,67676 | 0,01714 | 0,18371 |
| 4 | 0,19229 | 4,68931 | 0,01614 | 0,20036 |
| 5 | 0,20843 | 4,6868 | 0,01528 | 0,21607 |
| 6 | 0,22371 | 4,68429 | 0,01472 | 0,23107 |
| 7 | 0,23843 | 4,68178 | 0,014 | 0,24543 |
| 8 | 0,25243 | 4,68178 | 0,01357 | 0,25921 |
| 9 | 0,266 | 4,68931 | 0,01314 | 0,27257 |
| 10 | 0,27914 | 4,6868 | 0,01271 | 0,2855 |
| 11 | 0,29186 | 4,68429 | 0,01229 | 0,298 |
| 12 | 0,30414 | 4,68429 | 0,012 | 0,31014 |
| 13 | 0,31614 | 4,6868 | 0,01143 | 0,32186 |
| 14 | 0,32757 | 4,55879 | -- | -- |
| 15 | | | | |
| 16 | | | | |

De los datos filtrados (flanco de subida) solo me interesa la columna A que corresponde a los tiempos.

- Calculo el tiempo transcurrido entre dos **tiempos filtrados** consecutivos (1 y 2, 2 y 3, 3 y 4,...):

$$T_m = tiempo(i + 1) - tiempo(i)$$

En Origin:

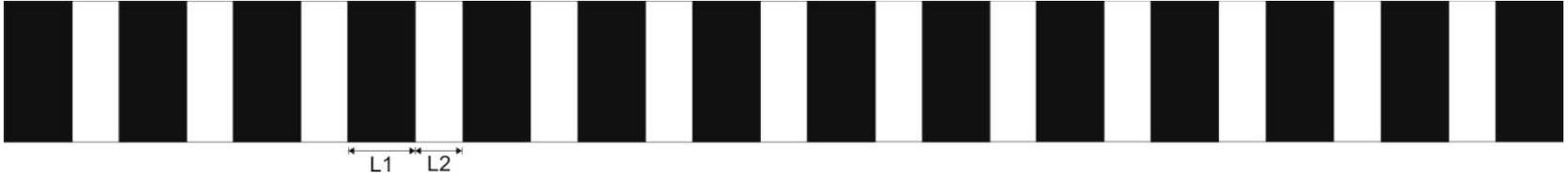
Set Colum Values → Col(A)[i+1] - Col(A)[i]

De esta manera obtengo el intervalo de tiempo T_m .

- t_{prom} es el tiempo medio transcurrido entre 2 valores consecutivos de **tiempo filtrado** (1 y 2, 2 y 3, 3 y 4,...). En Origin:

Set Colum Values → (Col(A)[i+1] + Col(A)[i])/ 2

¿Cómo obtengo $L = L1 + L2$?



Supongamos que en la columna A tenemos las mediciones de L1 y L2. Queremos calcular (1 y 2, 3 y 4, 5 y 6,...).

En Origin: Set Colum Values → $\text{Col(A)}[2*i] + \text{Col(A)}[2*i-1]$

¿Cómo obtengo la velocidad media? $v = \frac{L}{T_m}$

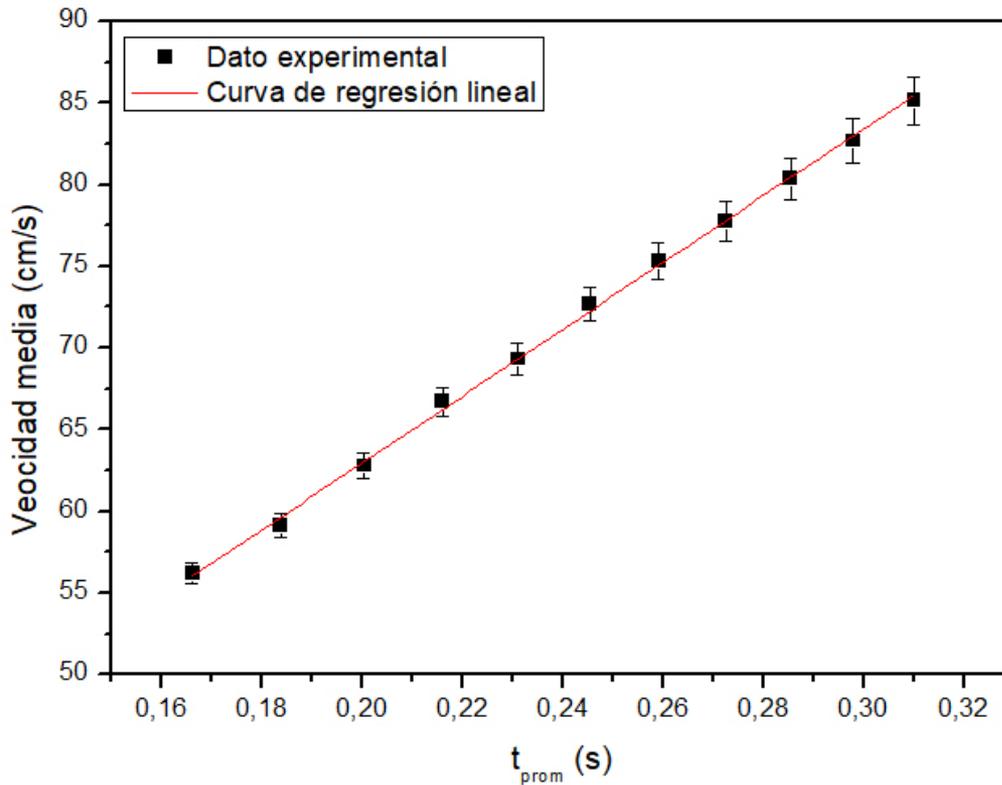
¿Qué tiempo le asocio a cada velocidad?

Para responder esta pregunta tengo que ver que tiempos usé para calcular la velocidad.

t_{prom} es el tiempo medio transcurrido entre 2 valores consecutivos de **tiempo** (1 y 2, 2 y 3, 3 y 4,...).

¿Cómo calculo los errores de L y v ? Hay que propagar errores.

Comentario: supongamos que midieron $L1$ Y $L2$ con calibre y consideraron asignar un error = **0,02** mm. Si grafican velocidad en cm/s entonces el error es **0,002** cm. Tengan cuidado con las unidades!! ESTO AFECTA SIGNIFICATIVAMENTE EL ERROR DE v .



Esta tabla no va en el informe

| | | | |
|-------------------------|---------------------|----------|----------------|
| Equation | $y = a + b \cdot x$ | | |
| Weight | Instrumental | | |
| Residual Sum of Squares | 1,25581 | | |
| Pearson's r | 0,99937 | | |
| Adj. R-Square | 0,9986 | | |
| | | Value | Standard Error |
| veloc | Intercept | 22,03622 | 0,53985 |
| veloc | Slope | 204,6009 | 2,41812 |



Figura 1: Variación de la velocidad en función del tiempo. Parámetros de la curva de ajuste: $a = (22,03 \pm 0,54)$ cm/s y $b = (204,6 \pm 2,4)$ cm/s², siendo $y = a + b \cdot x$. Coeficiente de Pearson: 0,999. χ^2 reducido = 0,14.

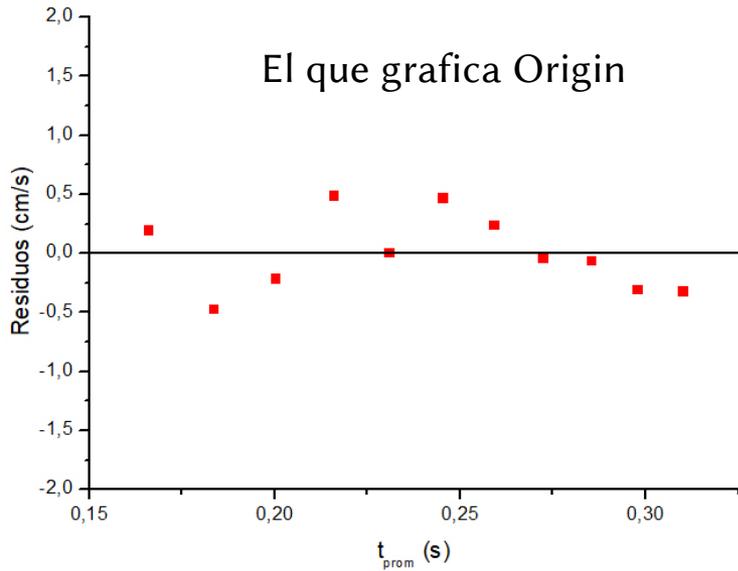
Sigue valiendo lo que vimos en las clases anteriores:

- 1- Grafico el error en las dos variables.
- 2- Para aplicar cuadrados mínimos ubico en el **eje x** la **variable medida con mayor precisión (menor error relativo)**.
- 3- Nombre en todos los ejes con sus respectivas unidades.
- 4- No dejar en el gráfico la tabla con los valores del ajuste. Reescribir esa información en el cuerpo del informe o en el epígrafe con sus respectivas unidades y respetando el criterio de cifras significativas.

Gráfico de residuos

Pero Origin también me informa los valores (ver solapa [FitLinearCurve1](#))

El que grafica Origin



| | A1(X1) | A2(Y1) | A3(X2) | A4(Y2) |
|------------|----------------------|----------------------------|----------------------|----------------------------------|
| Long Name | Independent Variable | Linear Fit of Sheet1 veloc | Independent Variable | Regular Residual of Sheet1 veloc |
| Parameters | Fitted Curves Plot | | | |
| 1 | 0,16614 | 56,02923 | 0,16614 | 0,193 |
| 2 | 0,1676 | 56,32683 | 0,18371 | -0,47486 |
| 3 | 0,16905 | 56,62443 | 0,20036 | -0,21594 |
| 4 | 0,17051 | 56,92203 | 0,21607 | 0,48745 |
| 5 | 0,17196 | 57,21963 | 0,23107 | 0,00337 |
| 6 | 0,17342 | 57,51723 | 0,24543 | 0,46307 |
| 7 | 0,17487 | 57,81483 | 0,25921 | 0,2359 |
| 8 | 0,17632 | 58,11244 | 0,27257 | -0,04457 |
| 9 | 0,17778 | 58,41004 | 0,2855 | -0,06595 |
| 10 | 0,17923 | 58,70764 | 0,298 | -0,31154 |
| 11 | 0,18069 | 59,00524 | 0,31014 | -0,32509 |
| 12 | 0,18214 | 59,30284 | | |

Copio los datos en una nueva tabla y agrego el error de la variable del eje y (en este caso la velocidad).

| | A(X) | B(Y) | C(yEr±) |
|-----------|---------|----------|---------|
| Long Name | t_prom | Residuos | error |
| Units | | | |
| Comments | | | |
| 1 | 0,16614 | 0,193 | 0,64074 |
| 2 | 0,18371 | -0,47486 | 0,70677 |
| 3 | 0,20036 | -0,21594 | 0,79582 |
| 4 | 0,21607 | 0,48745 | 0,89169 |
| 5 | 0,23107 | 0,00337 | 0,96135 |
| 6 | 0,24543 | 0,46307 | 1,059 |
| 7 | 0,25921 | 0,2359 | 1,13074 |
| 8 | 0,27257 | -0,04457 | 1,20495 |
| 9 | 0,2855 | -0,06595 | 1,28698 |
| 10 | 0,298 | -0,31154 | 1,36955 |
| 11 | 0,31014 | -0,32509 | 1,44351 |



En el informe voy a presentar este gráfico

