

Gráficos y figuras

- **Finalidad** Explicar al estudiante la manera correcta de dibujar gráficos representando datos experimentales con errores en uno o en ambos ejes.

Representar gráficamente los datos y/o fotos o representaciones esquemáticas de los experimentos y equipos es un modo de transmitir al lector una gran cantidad de información. Los gráficos que se emplean en los textos científicos y técnicos son fundamentalmente de dos tipos.

- **Representaciones gráficas de datos** experimentales y/o teóricos que normalmente constituyen la información principal.
- **Esquemas o diagramas** que proporcionan información adicional.

En esta nota nos vamos a centrar principalmente en la representación gráfica de datos científicos.

Aunque los ejemplos de gráficos que discutiremos en esta nota han sido realizados con un programa comercial, no es necesario emplear para las prácticas de laboratorio programas gráficos⁽¹⁾ profesionales. Será suficiente con presentar los gráficos necesarios correctamente dibujados en papel milimetrado. También hemos de advertir que, aunque muchas hojas de cálculo permiten manejar cómodamente grandes cantidades de datos, no proporcionan en cambio representaciones de datos con las características necesarias para un escrito científico técnico que discutiremos a continuación⁽²⁾

Dato	t_i (s)	V_i (cm/s)
1	5.85×10^{-2}	108
2	9.75 "	151
3	1.37×10^{-1}	192
4	1.76 "	236
5	2.15 "	300
6	2.54 "	287
7	2.93 "	356

Fig. 1: Datos originales del ejemplo práctico del ajuste por mínimos cuadrados que emplearemos también para ilustrar cómo hacer un gráfico correctamente.

A la hora de plantearse qué gráficos o diagramas son precisos hay que seguir siempre una regla básica; *lo va a leer otra persona que muchas veces no es experta*. En cuanto al número y tipo de gráficos hay que alcanzar un equilibrio; demasiados abruman al lector, pues no le ayudan a diferenciar la información esencial de la accesorio. Muy pocos pueden no ser suficientes para explicar con claridad nuestros resultados.

En cuanto a los esquemas, diagramas de equipos y/o dibujos de cualquier tipo, no hay normas específicas excepto que sirvan para alcanzar su propósito; explicar y aclarar al lector algún punto importante. Ejemplos de distintos diagramas pueden encontrarse en los guiones de las prácticas, por ejemplo, fotos señalando cada elemento del experimento, diagramas de circuitos eléctrico, etc.

Por el contrario, normalmente hay que seguir unas pautas fijas muy estrictas en los escritos científicos y técnicos para representar datos en un gráfico con calidad profesional. Los buenos gráficos científicos tienen algo de arte, pues han de conseguir que el lector capte de un vistazo una gran cantidad de información.

Como hemos mencionado en el apartado "consejos" de esta página web, *antes de comenzar a tomar datos es importante planificar* qué vamos a hacer con ellos. No se trata sólo de tomar un gran

número de medidas, sino también determinar qué vamos a hacer con ellas después. Además de *medir una serie de cantidades*, luego hay que efectuar *una serie de cálculos*, y también *estimar los errores*.

Para ilustrar este proceso utilizaremos un ejemplo. Supongamos que hemos medido en el laboratorio la velocidad de un cuerpo movido por una fuerza constante de modo que será en este caso $V(t) = V_0 + A t$ donde V_0 es la velocidad inicial y $A = F_0/m$ su aceleración. Nuestros *datos originales*, las medidas tal y como las tomaríamos en el laboratorio pueden ser una tabla manuscrita como la que muestra la figura 1.

Para presentar correctamente dicha información, tendremos que añadir el error con que medimos el tiempo, que en un cronómetro común de los empleados en el laboratorio podría ser por ejemplo $\Delta t = 0.01$ segundos. Además, algunos valores anteriores habrían de ser redondeados y también la medida de la velocidad $V(t)$ tendrá un error ΔV que habrá que calcular.

Dato	Tiempo (s)	Δt (s)	Velocidad (cm/s)	ΔV (cm/s)
1	$5.9 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-3}$	110	30
2	9.8 "	$8 \cdot 10^{-3}$	150	20
3	$1.4 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-2}$	190	40
4	1.8 "	$3 \cdot 10^{-2}$	240	50
5	2.2 "	$1 \cdot 10^{-2}$	300	60
6	2.5 "	$3 \cdot 10^{-2}$	290	40
7	2.9 "	$3 \cdot 10^{-2}$	360	70

Tabla 1: Medidas de la velocidad de un cuerpo de masa m que se mueve bajo la acción de una fuerza constante.

Partiendo de los datos de la figura 1 confeccionamos la tabla 1 con toda esta información adicional antes de comenzar el gráfico. Para ilustrar el manejo de las barras de error en los gráficos (que veremos a continuación) en la tabla 1 *se ha exagerado arbitrariamente el error absoluto ΔV* cometido en la medida de la velocidad y también en el tiempo Δt diferentes para cada medida.

N	$m_0 = 50$ g			$m_0 = 100$ g			$m_0 = 150$ g		
	T (s)	V (cm/s)	ΔV (cm/s)	T (s)	V (cm/s)	ΔV (cm/s)	T (s)	V (cm/s)	ΔV (cm/s)
1	0.058	110	30	0.045	172	20	0.030	230	30
2	0.098	150	20	0.087	250	30	0.090	350	20
3	0.140	190	40	0.130	330	20	0.120	470	20
4	0.180	240	50	0.150	410	30	0.170	590	30
5	0.220	300	60	0.210	490	30	0.230	710	40
6	0.250	290	40	0.242	570	50	0.242	830	30
7	0.290	360	70	0.305	650	70	0.293	960	50

Tabla 2: Medidas de la velocidad de un cuerpo que se mueve bajo la acción de varias fuerzas constantes. El error absoluto en el tiempo es de $\Delta t = 0.001$ ssegundo.

Cuando tenemos varias series de datos de un mismo experimento podemos condensarlas en una única tabla. Por ejemplo, las medidas de la tabla 2 corresponderían a diferentes aceleraciones (ficticias) $A_0, A_1, A_3 \dots$ producidas por tres masas de 50, 100 y 150 gramos que al tirar de un carro lo mueven con aceleración creciente. Para simplificar, hemos hecho en la Tabla 2 igual el error absoluto de todas las medidas del tiempo $\Delta t = 0.001$ s para todos los datos.

Como vemos, las Tablas 1 y 2 anteriores recogen las principales características de una buena

tabla de datos:

1. **La cabecera** describe las magnitudes que van en cada columna y sus unidades. Puesto que lo que sigue debajo no es más que una columna de números, éstos carecen de sentido si no se especifica claramente qué representan y cuáles son sus unidades.
2. **El cuerpo** de la tabla son los valores numéricos ordenados en tantas filas y columnas como sean necesarias. Es conveniente que queden correctamente alineadas para facilitar su lectura y la comprobación de los cálculos.
3. **El pié** de la tabla donde un texto breve describe el contenido de esta con objeto de identificarla y proporcionar información complementaria.

Todas las tablas y gráficos de un informe se numeran (Tabla 1, Tabla 2, ...) y pueden incluirse en el informe de la práctica de dos modos; a lo largo del texto de esta o en forma de una serie de hojas independientes separadas al final. Se citan en el texto mencionando su número "... los datos de la tabla 1 muestran como la velocidad aumenta en el tiempo en la figura 3...". Este método es práctico, pues permite corregir errores sin efectuar muchos cambios en el manuscrito.

Hemos representado los datos de las tablas 1 y 2 de modo correcto en las figuras 2a y 2b siguientes. Ambos gráficos tienen unas características comunes y podemos observar que:

1. Se ha utilizado una escala adecuada en ambos ejes de modo que los datos queden uniformemente distribuidos sobre el dibujo. El primer punto dibujado está cerca de la esquina inferior derecha y el último en la esquina superior derecha, de modo que se aprovecha todo el espacio del gráfico.
2. Los dos ejes, divididos en intervalos regulares tienen una etiqueta que expresa la magnitud representada (tiempo, velocidad) y sus unidades (segundos, cm/s).
3. Las mediciones se resaltan mediante un punto grueso para subrayar dónde se encuentran los datos que corresponden a medidas reales.
4. También se ha dibujado la recta del ajuste de mínimos cuadrados de los datos, como se indica en la función recuadrada y los parámetros del ajuste. En este caso, la velocidad inicial V_0 la aceleración A_0 y los errores de estos ⁽³⁾ están también indicados. Además, puede incluirse información complementaria, por ejemplo, la fórmula teórica.

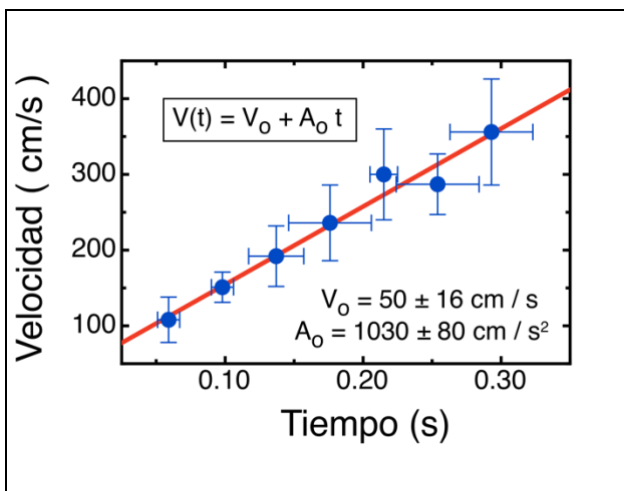


Fig. 2a: Los datos de la figura 1 y tabla 1 representados con sus errores en ambos ejes junto con su ajuste por el método de los mínimos cuadrados.

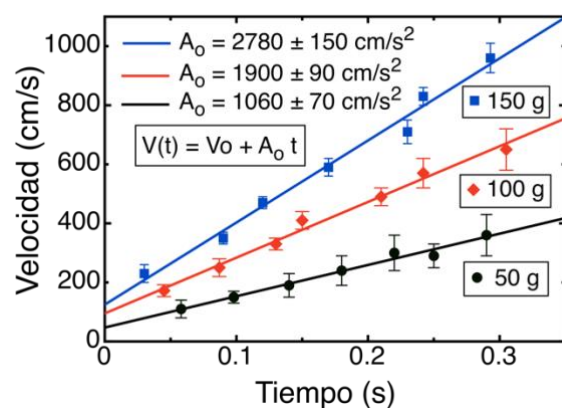


Fig. 2b: Las tres series de datos de la tabla 2 con sus correspondientes barreras de error y ajustes por el método de mínimos cuadrados.

Además, un gráfico correcto debe también recoger el error de cada medida, que puede ser diferente para cada dato. El error absoluto de la medida de la velocidad ΔV_i de cada par de datos (t_i, V_i) se ilustra dibujando una línea vertical (llamada *barra de error*) que va desde el valor inferior $V_i - \Delta V_i$ hasta el $V_i + \Delta V_i$ superior como se muestra en las figuras 2a y 2b. En la figura 2a, también tenemos que considerar en la figura 2a el error absoluto Δt_i en la medida del tiempo, dibujando la correspondiente línea horizontal entre $t_i - \Delta t_i$ y $t_i + \Delta t_i$. No lo hemos hecho en la figura 2b pues sus valores (en la Tabla 2 $\Delta t = 0.001$ segundos) son muy pequeños para la escala de tiempo de esta figura.

Evidentemente toda magnitud medida tiene un error, pero cuando *no aparecen las barras de error* estamos diciendo al lector que *los errores son tan pequeños que no merece la pena dibujarlos*.

Los datos de la tabla 2 están representados en la figura 2b que ilustra como compactar una gran cantidad de información en un único gráfico. Empleamos un símbolo distinto (puntos, rombos, cuadrados) para diferenciar cada serie de datos, con su leyenda al lado para transmitir al lector la idea de que la pendiente aumenta con la masa indicada. Cuando las barras de error son muy pequeñas no se dibujan, pues se confunden con el punto experimental, mientras que aparecen donde el error absoluto es importante. De nuevo hemos dibujado los ajustes por mínimos cuadrados de cada serie de medidas y las pendientes se han reflejado en el espacio libre del gráfico.

Finalmente, el propósito de un buen gráfico es que el lector comprenda de un vistazo *donde hemos medido realmente* —los puntos experimentales— (pintados más gruesos), *sus intervalos de confianza* (las barras de error) y *las interpolaciones* (recta de mínimos cuadrados) y/o *cálculos teóricos*.

Notas:

- (1) No tenemos inconveniente en que nuestros alumnos empleen programas comerciales (*Origin, ProFit, etc*) para realizar las gráficas de las prácticas. Sin embargo, queremos subrayar que no es necesario a efectos de la calificación final, pues el mismo resultado (o calificación) se obtiene con una gráfica manuscrita en papel si correctamente realizada siguiendo las normas de la presente nota.
- (2) Muchos de nuestros estudiantes tienen práctica con hojas de cálculo (*Open Office* o comerciales del tipo *Excel, Numbers, etc*) pero **los gráficos que producen no suelen ser de calidad técnica**. Se trata de herramientas pensadas para el mundo de los negocios donde es difícil introducir la mayor parte de los elementos que discutimos en esta nota. Dichos gráficos de barras, en forma de tarta, etc **no son aceptables en escritos científico técnicos para representar datos** y tampoco lo serán en los informes de prácticas.
- (3) Como puede observarse en los gráficos, hemos incluido el error en la estimación del punto de corte con el eje y la pendiente del ajuste; **esto no es necesario en el presente curso**. Si comparamos el valor de la pendiente del gráfico con el que obtuvimos en la nota veremos que hay pequeñas diferencias dentro del margen del error. Estas desviaciones son debido a los redondeos de las cifras.