# INTRODUCCIÓN AL LABORATORIO DE FÍSICA EXPERIMENTAL

# A. MEDIDA E INCERTIDUMBRE

## A- MEDIDA E INCERTIDUMBRE

### A.1. INCERTIDUMBRE EN LAS MEDIDAS

Medir consiste en comparar una magnitud con otra que utilizamos como patrón (unidad). Este proceso lleva siempre implícito una indeterminación, es decir siempre que medimos, por razones muy diversas y, en general, difíciles de evitar, corremos el riesgo de no "acertar" con el valor exacto de la magnitud que queremos conocer. Unas veces esto es debido a la imperfección de nuestros instrumentos, o al diseño del proceso de medida, o a factores ambientales, etc. De manera que cuando expresamos el valor "medido" de una magnitud debemos siempre hacer una estimación del grado de confianza con el que hemos realizado la medida.

De acuerdo con el origen de estos errores podemos clasificarlos en:

**Error humano:** Descuido al hacer las medidas, forma inadecuada de hacerlas, etc.

**Limitaciones de los aparatos:** Pueden ser debidas a estar estropeados, mal calibrados o tener poca precisión.

**Influencias ajenas al experimento:** Interferencias, variaciones de temperatura, etc.

### A.2. TIPOS FUNDAMENTALES DE ERROR

#### ERRORES SISTEMÁTICOS

Son los debidos a la presencia de un factor no considerado en el montaje experimental o al mal conocimiento de algún otro. Como consecuencia el valor medido está siempre por encima o por debajo del valor verdadero. Pueden tener su origen en deficiencias de los aparatos. Su existencia es difícil de detectar pero son los más fáciles de corregir pues sólo requieren de la adecuada calibración del aparato.

#### ERRORES ACCIDENTALES

Son los resultantes de la contribución de numerosas fuentes incontrolables que desplazan el valor medido por encima y por debajo del valor real. Idealmente puede considerarse que su contribución es absolutamente al azar, de forma que aunque son imposibles de eliminar totalmente, pueden ser estimados y de esta forma obtener el grado de confianza con el que hemos realizado la medida.

### A.3. ERRORES EN OBSERVACIONES DIRECTAS

Los errores estadísticos o aleatorios pueden ser estimados realizando un cierto número de veces, *n*, el experimento. A estas medidas repetidas de una cierta magnitud, $x_1$, $x_2$, $x_3$, … $x_n$, las llamaremos datos.

#### VALOR MEDIO

El mejor valor que podemos entonces ofrecer para la magnitud medida es la media, o valor medio de acuerdo con la expresión bien conocida:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

### DESVIACIÓN

Se define la desviación de cada medida como la diferencia entre el valor medido y el valor verdadero. Como el valor verdadero es imposible de medir, tomaremos como desviación de cada medida la diferencia entre su valor y el valor medio, y la denominaremos desviación estimada:

$$d_i = x_i - \overline{x}$$

### DESVIACIÓN ESTÁNDAR

Para estimar el error cometido en una serie de medidas se puede realizar una media de sus desviaciones. Como éstas se producen al azar para que no se compensen unas con otras lo mejor es promediar sus cuadrados. En estadística se llama desviación estándar a este promedio de desviaciones, de acuerdo con la expresión

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \overline{x})^2}{n}}$$

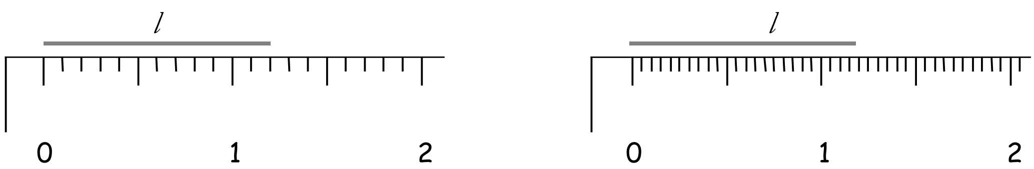
El cuadrado de la desviación estándar, $\sigma^2$, es la varianza y puede también obtenerse a partir de la relación:

$$\sigma^2 = \overline{x^2} - \overline{x}^2$$

### PRECISIÓN

Es la medida más pequeña que podemos realizar con un aparato. Cuando el número de medidas realizadas no sea significativo este valor es la mejor estimación del error cometido

Ejemplo:




La precisión de la regla de la izquierda es de 1mm. Si realizamos una sola medida de la longitud, $l$, del segmento escribiremos:

$l$ = 1.2cm ± 0.1cm =(1.2 ± 0.1)cm

Para la regla de la derecha la precisión es de 0.5mm. si realizamos una sola medida del mismo segmento escribiremos:

$l$ = 1.20cm ± 0.05cm = (1.20 ± 0.05)cm

### ERROR ABSOLUTO

Tomaremos como valor del error en la medida la mayor de sus estimaciones, es decir: o la desviación estándar o la precisión de los instrumentos. El error absoluto se expresa en las mismas unidades que la magnitud que se está midiendo en la forma

$$x = (\overline{x} \pm \delta\, x)\ unid.$$

Ejemplo:

Midiendo varias veces la longitud de un segmento con una regla milimetrada, hemos obtenido los siguientes valores:

TABLA 1

| | $l_i$(mm) | $D_i$(mm) | $d_i^2$($mm^2$) |
|---|---|---|---|
| | 255 | 0 | 0 |
| | 253 | -2 | 4 |
| | 256 | +1 | 1 |
| | 254 | -1 | 1 |
| | 257 | +2 | 4 |
| | 253 | -2 | 4 |
| | 256 | +1 | 1 |
| SUMA | 1784 | --- | 15 |

El valor medio será: $l$ = (1784/7)mm = 254.86mm, y la desviación estándar: $\sigma = \sqrt{\frac{15\,mm^2}{7}} \approx 1.46\,mm$

como este valor es mayor que la precisión del instrumento lo tomaremos como estimación del error absoluto

Así pues, $l$ = (255 ± 1)mm ó (254.9 ± 1.5)mm

### ERROR RELATIVO

Se define como el cociente entre el error absoluto estimado y el valor medido (o el valor medio de las medidas en caso de muchas medidas). Se expresa habitualmente como porcentaje ( %) :

$$\varepsilon = \frac{\delta x}{\bar{x}} \times 100$$

y se escribirá en la forma:

$$x = \bar{x} \pm \varepsilon \text{ (\%)}.$$

Ejemplo:

En el caso de la longitud medida (Tabla 1), teníamos los siguientes valores:

Valor medio = 255mm, y desviación estándar = 1.46mm

Así pues, el $\text{Error relativo} = \frac{1.46\,mm}{255\,mm} \times 100 = 06\,\%$

De modo que tendremos, $l$ = 255mm ± 0.6%

### NORMAS PARA ESCRIBIR LOS DATOS EXPERIMENTALES

Al hallar el valor medio, deben tomarse de este tan sólo las cifras exactas y la primera afectada de error, multiplicando por el factor $10^n$ que sea necesario.

Definiremos cifras exactas como aquellas que no están afectadas por el error.

Ejemplo: $R$ = (101 ± 2)Ω (Cifras exactas **10**1, Primera cifra afectada 10**1**)

Cuando sólo tenemos una medida de un valor procederemos de forma análoga al apartado anterior, pero tomando como valor medio el valor medido y como error absoluto estimado la precisión del aparato.

Ejemplo:

A) Medida de la capacidad con un Q-metro.

Valor medido = 504nF, Precisión de la medida en la escala de nF = 1nF

$C$ = (504 ± 1)nF

B) Medida de una resistencia con un óhmetro.

Valor medido = 10.3kΩ, Precisión de la medida en la escala de kΩ = 0.1kΩ

$R$ = (10.3 ± 0.1)kΩ

Cuando en nuestra medida hallamos obtenido más cifras a la derecha de la primera cifra afectada de error, deberemos redondear estas cifras a la primera afectada de error.

- Si estas cifras comienzan con un número menor de 5, se redondearán hacia abajo.

- Si comienzan con 5 o un número mayor de 5, se redondearán hacia arriba.

Ejemplos:

| MAL ESCRITA | BIEN ESCRITA |
|---|---|
| 1.28 ± 0.1 | 1.3 ± 0.1 |
| 1.82 ± 0.1 | 1.8 ± 0.1 |
| 2.43 ± 10% (= 2.43 ± 0.2) | 2.4 ± 10% (= 2.4 ± 0.2) |
| 25432 ± 408 | (2.54 ± 0.04) $10^4$ |
| 0.00358 ± 0.00023 | (3.6 ± 0.2) $10^{-3}$<br>ó 0.0036 ± 0.0002 |

Cuando dos cantidades tienen el mismo número de cifras significativas y sólo tienen ceros a la izquierda, tienen la misma precisión.

Ejemplo:

0.00082 → $8.2\times10^{-4}$

0.82 → $8.2\times10^{-1}$

82 → $8.2\times10^{1}$ ➔ Tienen la misma precisión

Sin embargo, los ceros a la derecha tienen valor significativo en cuanto al error, puesto que indican que conocemos el valor de esa cifra y que es cero (salvo error, naturalmente).

Ejemplo:

82 → $8.2\times10^{1}$ (2 cifras significativas)

820 → $8.20\times10^{2}$ (3 cifras significativas)

0.0820→ $8.20\times10^{-2}$ (3 cifras significativas) ➔ Así pues tienen diferente precisión.

Cuando el error empieza por 1 se permite escribir 2 cifras significativas de error:

Ejemplo: 4.50 ± 0.12

## A.4. ERRORES EN OBSERVACIONES INDIRECTAS

Es muy frecuente que el valor de una magnitud se obtenga a partir de una o varias medidas directas aplicando las correspondientes operaciones matemáticas. A esto le llamaremos observación indirecta y en este caso los errores cometidos en las observaciones directas de los datos influirán en el error con el que obtendremos el resultado en función de la fórmula utilizada.

**SUMA Y DIFERENCIA**

Al ser el error producto del azar, puede tener cualquier signo. Así pues, cuando sumemos o restemos dos cantidades medidas, deberemos considerar el error absoluto estimado del resultado como la suma de los errores absolutos estimados de cada medida.

$A = (5.2 \pm 0.2) + (3.8 \pm 0.1) = (9.0 \pm 0.3)$

$B = (5.3 \pm 0.1) - (3.3 \pm 0.2) = (2.0 \pm 0.3)$

**PRODUCTO Y COCIENTE**

Para las operaciones producto y cociente el error relativo será la suma de los errores relativos de las variables.

Ejemplo:

Supongamos que los valores medidos de intensidad (I) y de tensión (V) en un circuito, son los siguientes:

$I = (3.8 \pm 0.1)\ 10^{-3}A$

$V = (5.2 \pm 0.4)V$

y queremos calcular la potencia ($P$) y la resistencia ($R$), que vienen dadas por:

$$P = V \cdot I, \quad R = \frac{V}{I}$$

A) Potencia:

$P = IV$, de modo que $\delta P = I\,\delta V + V\,\delta I$

Si dividimos por $P = I\,V$, tendremos: $\dfrac{\delta P}{P} = \dfrac{\delta V}{V} + \dfrac{\delta I}{I}$

En este caso particular,

$$\frac{\delta P}{P} = \left(\frac{0.4\,V}{5.2\,V} + \frac{0.1 \cdot 10^{-3}\,A}{3.8 \cdot 10^{-3}\,A}\right) \times 100 = (0.08 + 0.03) \times 100 = 11\%$$

Así pues, $P = (20 \pm 11\%)mW = (20 \pm 2)mW$

B) Resistencia:

$R = \dfrac{V}{I}$ , lo que implica, $\delta R = \dfrac{I\,\delta V + V\,\delta I}{I^2}$

Como ya hemos dicho, el error es aleatorio y puede tener cualquier signo, así que debemos considerarlo aditivo:

Dividiendo todo por $R = V/I$ y operando obtendremos:

$$\frac{\delta R}{R} = \frac{\delta V}{V} + \frac{\delta I}{I}$$

En este caso, puesto que sumamos los errores relativos de I y de V, tendremos el mismo error relativo de antes.

$R = (1.37 \pm 11\%)k\Omega = (1.37 \pm 0.15)k\Omega$

NOTA IMPORTANTE: Obsérvese que los errores absolutos no son iguales en un caso y en otro y que el error absoluto de un producto (o de un cociente) no es la suma de los errores absolutos de los factores (o del dividendo y divisor en caso del cociente).

**OTRAS FUNCIONES**

Para otras funciones, utilizando un método similar, podemos obtener la siguiente tabla

| Relación | Error |
|---|---|
| $z = A\, x$ | $\delta z = \|A\|\ \delta x$ |
| $z = x^n$ | $\delta z / z = n\ \delta x / x$ |
| $z = \ln x$ | $\delta z = \delta x\ /\ x$ |
| $z = q(x)$ | $\delta z = \left\| \frac{dq(x)}{dx} \right\| \delta x$ |

## A.5 AJUSTES

Hasta ahora nos hemos referido a la manera de obtener el mejor valor de una magnitud a partir de una o varias medidas o conjuntos de medidas. Un problema más general es el de determinar una relación funcional entre dos magnitudes $x$ e $y$ como resultado de experimentos, de manera que son los parámetros de la función las magnitudes que realmente deseamos conocer.

El ajuste más sencillo de un conjunto de datos a una determinada función es el que se denomina *por mínimos cuadrados*, y que consiste en calcular los parámetros de una función conocida haciendo que la suma de las desviaciones de los datos experimentales respecto de la función sea mínima.

El caso más sencillo es el ajuste a una recta, en este caso también se le suele denominar correlación lineal.

Si disponemos de un conjunto de pares de puntos $(x_1,y_1)$, $(x_2,y_2)$, … $(x_n,y_n)$ obtenidos experimentalmente y que deberían corresponder a la expresión teórica $y = a\ x + b$ podemos estimar el mejor valor de los parámetros $a$ y $b$.

Suponiendo que las desviaciones de todos los datos son iguales se obtienen las ecuaciones:

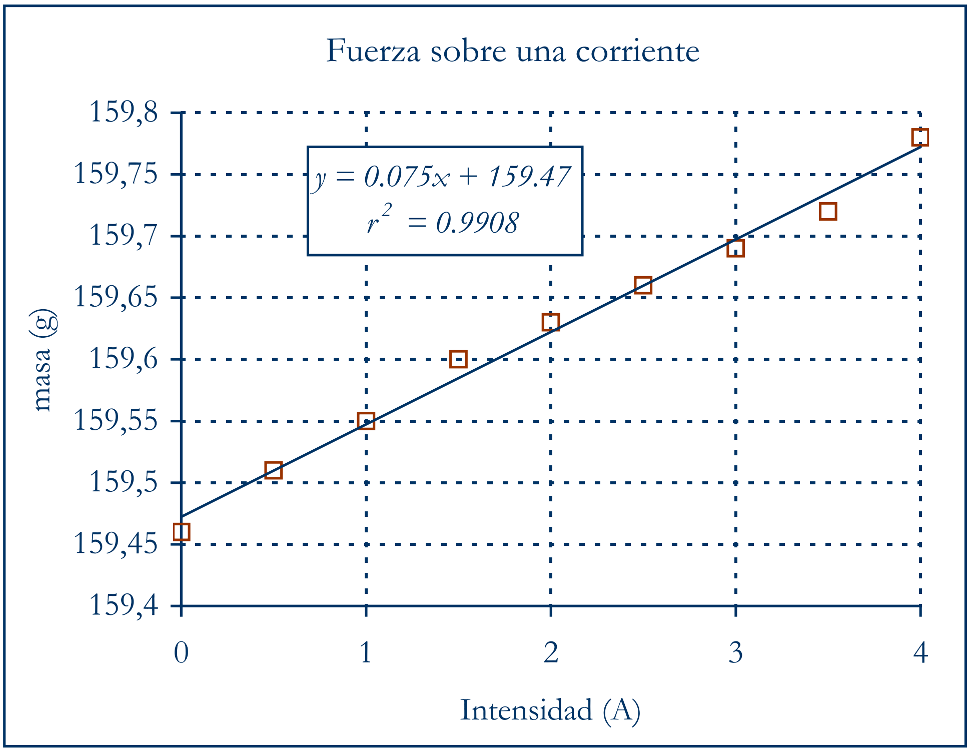
$$a\sum x_i^2 + b\sum x_i = \sum x_i y_i$$
$$a\sum x_i + b\,n = \sum y_i$$

de donde la solución para los parámetros $a$ y $b$ será:

$$a = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{n\sum x^2 - \left(\sum x\right)^2}, \qquad b = \frac{\sum y - a\sum x}{n}$$

Ejemplo:

| I (A) | masa(g) |
|---|---|
| 0,0 | 159,46 |
| 0,5 | 159,51 |
| 1,0 | 159,55 |
| 1,5 | 159,6 |
| 2,0 | 159,63 |
| 2,5 | 159,66 |
| 3,0 | 159,69 |
| 3,5 | 159,72 |
| 4,0 | 159,78 |




El número $r$ que figura al lado de los parámetros es el coeficiente de correlación y nos da idea de la bondad del ajuste. Cuanto más se aproxime a 1 mejor será la correlación entre los datos experimentales y la relación teórica, la expresión para su cálculo es

$$r^2 = \frac{\left(n\sum xy - \sum x \sum y\right)^2}{\left(n\sum x^2 - \left(\sum x\right)^2\right)\left(n\sum y^2 - \left(\sum y\right)^2\right)}$$

El caso de una relación lineal no es tan especial como podría pensarse porque muchas otras relaciones pueden linealizarse con algún ligero cambio, por ejemplo:

$$y = a\,e^{bx} \quad \rightarrow \quad \ln y = \ln a + b \cdot x$$

$$y = a\,b^{x} \quad \rightarrow \quad \ln y = \ln a + \ln b \cdot x$$

$$y = \frac{1}{a + b\,x} \rightarrow \quad {}^{1}\!/_{y} = a + b\,x$$

...

...

# INTRODUCCIÓN AL LABORATORIO DE FÍSICA EXPERIMENTAL

# B. REPRESENTACION DE DATOS

## B. REPRESENTACIÓN DE DATOS

Los datos obtenidos a partir de las medidas en un laboratorio deben presentarse de manera que los demás obtengan la mayor cantidad y calidad de información posible. Para lograr esto recurrimos a las tablas y las representaciones gráficas. Las tablas nos permiten ver el conjunto de los datos obtenidos sin tener que irlos persiguiendo a lo largo del informe. Con las gráficas no sólo conseguimos una información cuantitativa de la magnitud medida sino también su relación con los parámetros del experimento.

### B.1. TABLAS

Cuando sea posible se registrarán las medidas en forma de tablas, puesto, se trata de la forma más compacta y sencilla de presentar los resultados de acuerdo con las siguientes recomendaciones:

- En las tablas se representarán tanto los datos directos de las medidas del laboratorio como los pasos intermedios relevantes y resultados buscados.
- Las medidas de una misma magnitud se escribirán preferiblemente sobre una misma columna vertical, ya que el ojo puede comparar más fácilmente un conjunto de datos verticales.
- En la cabecera de cada columna se indicará el nombre de la magnitud y/o el símbolo seguido por las unidades. Al indicar en la cabecera las unidades ya no es necesario repetirlas después de cada medida, con esto se ahorra tiempo, energía y se hace más claro el informe.
- Es conveniente elegir las unidades (o las potencias de 10 adecuadas) para que los números queden expresados en el rango entre 0.1 y 1000.
- Los errores en la estimación de cada magnitud se pueden poner en la cabecera de la columna correspondiente, si son comunes a todas las medidas; si no, pueden ponerse detrás de cada medida usando comillas para no tener que repetir su escritura innecesariamente.

**EJEMPLO**

A modo de ejemplo se puede considerar la siguiente tabla

Determinación experimental del campo magnético de un solenoide

| Frec. (±10) (Hz) | $I_0$ (±0,01) (mA) | $V_{pp}$ (± 0,1 div) (medida) | $V_{pp}$ (V) | $B_{exp}$ (mT) |
|---|---|---|---|---|
| 400 | 9,62 | 5,0 div x 0,02 V/div | 0,10 ± 0,01 | 0,159 |
| 600 | 9,58 | 3,2 div x 0,05 " | 0,16 ± 0,03 | 0,160 |
| 800 | 9,52 | 4,0 div x 0,05 " | 0,20 " | 0,159 |
| 1000 | 9,46 | 4,8 div x 0,05 " | 0,24 " | 0,158 |
| | | | Media : | 0,159 ± 0,001 |

El título que aparece justo encima de la tabla nos permite identificar el tipo de experimento realizado, o la fase en la que nos encontramos del mismo.

En la tabla observamos que las tres primeras columnas corresponden a los datos obtenidos directamente de los aparatos, la cuarta columna a un cálculo intermedio y la última al resultado final buscado. La tercera y cuarta columnas representan la misma magnitud; al tomar los datos en el laboratorio siempre es preferible hacerlo tal y como aparecen en la tercera columna, ya que será mucho más fácil detectar cualquier posible error cometido, pero en el informe final podemos prescindir de esta columna.

La estimación del error que aparece en las cabeceras de las tres primeras columnas nos indica que el error absoluto es el mismo para todos los datos de la columna. El error correspondiente a la magnitud final, quinta columna, se ha obtenido sin embargo por medio de la estimación estadística y aparece junto a la media de la magnitud en la última fila. Esto puede hacerse así porque sabemos que los datos de la última columna deben representar un mismo valor obtenido en diferentes condiciones.

Las unidades de cada magnitud han sido elegidas para que los números que figuran en cada columna sean los más sencillos posibles.

## B.2. CRITERIOS GENERALES PARA LAS REPRESENTACIONES GRÁFICAS

### VARIABLES

En un experimento se suele variar una magnitud (*variable independiente*) con el fin de observar el efecto que se produce sobre otra (*variable dependiente*).

Por convenio se representa la variable independiente en abscisas (eje horizontal) y la variable dependiente en ordenadas (eje vertical).

### REPRESENTACIÓN DE LOS DATOS MEDIDOS

Las representaciones gráficas deben llevar claramente indicados los datos obtenidos experimentalmente, para ello es necesario señalarlos sobre la gráfica con un símbolo cuyo tamaño y forma permita apreciarlos (y distinguir unos de otros cuando correspondan a diferentes series).

### REPRESENTACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS MAGNITUDES

Los puntos obtenidos experimentalmente no son la única información que puede deducirse de un experimento, el "espacio" entre los puntos debe ser completado. Para ello en las representaciones gráficas hay que añadir una línea que indique la tendencia (la ley física) que rige el comportamiento de una magnitud frente a la otra. Esta línea debe tener en cuenta que los datos experimentales están afectados por errores, de los que ya hemos hablado, y que por tanto las líneas no tienen por que pasar por todos y cada uno de esos puntos experimentales. Como criterio general (el sentido común es aplicable siempre) debemos tener en cuenta que las variables no sufren casi nunca cambios bruscos, por lo que las líneas no están compuestas nunca por segmentos rectos, las inflexiones son siempre suaves, por lo que deben trazarse líneas curvas (o una única recta) que represente el comportamiento de las magnitudes involucradas en el experimento.

Cuando sea posible realizar un ajuste (como por ejemplo el de mínimos cuadrados) la línea del ajuste debe representarse sobre los datos experimentales.

### EJES Y ESCALAS

Como ya hemos dicho los ejes tienen, por convenio, una función predeterminada: sobre el eje horizontal se representa la variable independiente (la que nosotros variamos) y sobre el vertical la variable dependiente (la que nos muestra el efecto). Los ejes deben llevar claramente indicada la magnitud que representan, el intervalo de medida y las unidades en que se expresan los datos.

La elección de los intervalos no es arbitraria, el intervalo representado en el eje debe concordar con el intervalo de la medida, de manera que todos los datos figuren dentro de la gráfica y ocupen la mayor parte del área de ésta.

Los ejes deben llevar indicaciones del valor de magnitud a intervalos regulares, que no tiene por qué coincidir con los valores de los puntos experimentales. Los intervalos deben estar equiespaciados, una misma longitud de eje no puede corresponder a dos intervalos distintos de valores de la magnitud. No es necesario marcar el valor de todos y cada uno de los intervalos.

No es necesario que el origen, el punto de coordenadas (0,0) esté incluido en la gráfica, incluso puede llegar a ser contraproducente.

#### PAPELES ESPECIALES

En algunos casos la representación de la gráfica puede exigir la utilización de un papel especial por diversos motivos:

- La magnitud (o magnitudes) representada cubre un intervalo muy grande o afecta a distintas escalas (por ejemplo al medir el comportamiento de un sistema respecto de la frecuencia en distintos rangos de frecuencias desde los Hz hasta los MHz)
- Se quiere "linealizar" una curva (por ejemplo una variación exponencial)
- Se quiere representar una magnitud en función de la dirección en la que se mide.

En los dos primeros casos se utilizará un papel semilogarítmico o logarítmico. En el papel semilogarítmico el espaciado entre divisiones en uno de los ejes es proporcional al logaritmo decimal de la magnitud, así el espaciado entre 1 y 2 (o entre 1 y 10) es el mismo que entre 10 y 20 (o entre 10 y 100). En el papel logarítmico esto ocurre para los dos ejes.

Para el tercer caso se suele utilizar el "papel polar" en el que las divisiones corresponden a radios y circunferencias en lugar de líneas horizontales y verticales.

#### GRÁFICOS POR ORDENADOR

Con las herramientas informáticas se facilita bastante la tarea de realizar representaciones gráficas, pero no debe olvidase que todas las normas indicadas hasta aquí son aplicables también a las gráficas realizadas con ordenador.

En particular no se debe olvidar que:

- La representación científica se basa en pares de puntos, en los que cada uno representa una magnitud (el eje de abscisas no es <u>nunca</u> un eje de etiquetas sino de valores).

- Los datos indican sólo el comportamiento en puntos concretos y hay que indicar (con una curva) el comportamiento de las magnitudes en el espacio entre los puntos experimentales.
- Los puntos experimentales no deben nunca unirse por medio de segmentos.
- El tamaño de la gráfica debe ser el adecuado para que la representación sea "legible".
- Los ejes deben llevar siempre el nombre y las unidades de la magnitud que representan.

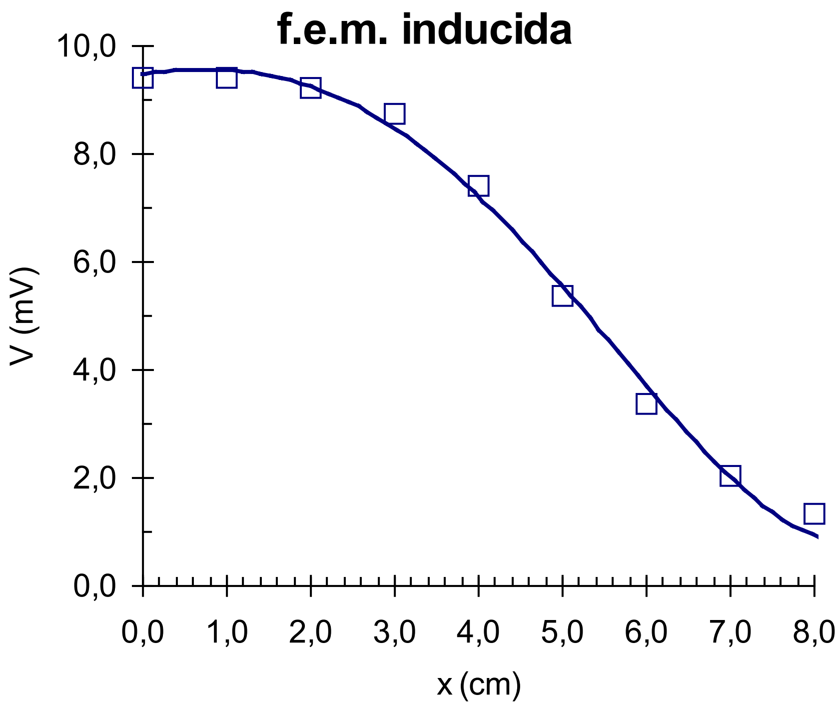
### B.3. EJEMPLOS Y ERRORES FRECUENTES

#### EJEMPLOS

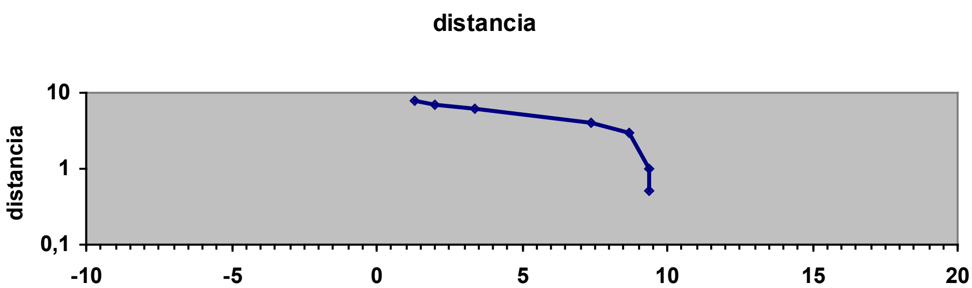
Utilizaremos un ejemplo para mostrar los aspectos mencionados en los apartados anteriores.

Intentaremos representar la curva de variación del campo magnético en interior de un solenoide. Para ello medimos la fuerza electromotriz, $V$, inducida en un carrete en función de su posición en el solenoide, $X$. Así, obtenemos los datos de la tabla que figura a continuación:

| X (cm) | V (mV) |
|---|---|
| 0 | 9,41 |
| 1 | 9,41 |
| 2 | 9,24 |
| 3 | 8,74 |
| 4 | 7,39 |
| 5 | 5,38 |
| 6 | 3,36 |
| 7 | 2,02 |
| 8 | 1,34 |




### ERRORES MÁS FRECUENTES




Puede tomarse esta gráfica realizada a partir de los mismos datos de la anterior como modelo de las cosas que **NO** deben hacerse:

- No todos los puntos experimentales están representados en la figura.
- Los puntos experimentales no figuran o no se distinguen.
- Los puntos experimentales han sido tomados con espaciado aleatorio entre ellos
- Los puntos están unidos por líneas (segmentos) que no corresponden a un comportamiento lógico de un sistema.
- El espacio ocupado por los puntos experimentales dentro de la gráfica representan una parte mínima del espacio total debido a una mala elección del intervalo de representación.
- El color añadido al fondo estorba al restar claridad a la representación.
- Los ejes X e Y tienen longitudes muy dispares. El tamaño del eje vertical es demasiado pequeño.

- El título de la gráfica no da ninguna información sobre lo que se pretende representar, y es redundante ya que "dice" lo mismo que el rótulo del eje Y.
- Falta el rótulo del eje X. Faltan las unidades del eje Y.
- Los intervalos entre marcas en el eje Y no están equiespaciados ni representan intervalos iguales entre datos.
- La abundancia de marcas en el eje X, y la falta de ellas en el eje Y hacen que sea imposible estimar sobre la gráfica los valores de los puntos experimentales.