Realització de les pràctiques

Notes experimentals

El propòsit primordial de les notes és la preservació de les dades i de les observacions que formen part de qualsevol investigació científica.

Durant l'experiment convé centrar-se a consignar la informació de la manera més completa possible i deixar per a més tard la interpretació, ja que en un altre moment serà irrecuperable la visió de la situació amb tots els seus detalls que gaudim en plena experimentació.

Les notes han de ser clares, concises i, sobretot, completes: s'hi consigna tota aquella informació necessària per a comprendre i interpretar posteriorment les dades, tant pel que fa a les accions realitzades, com al resultat de les mesures.

És molt important consignar les dades experimentals de forma ordenada, utilitzant **taules** sempre que es faça un experiment canviant una variable determinada. El format de taula permet analitzar les dades conjuntament, veure les tendències de les dades, i localitzar errors si n'hi havia.

Memòria

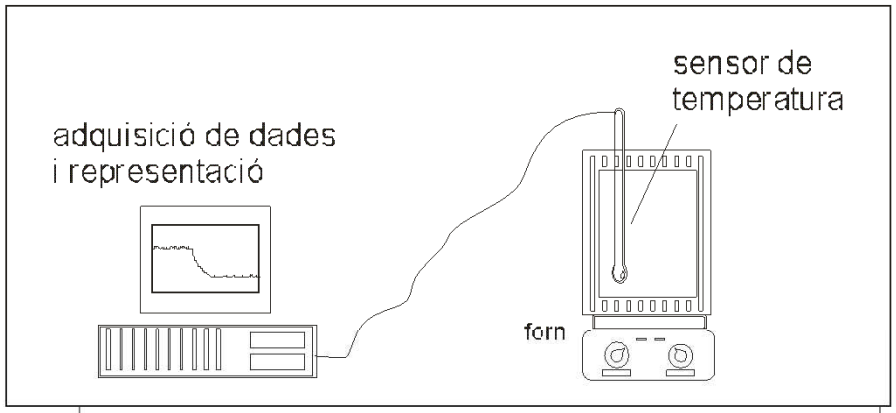
Memòria de l'experiment

La presentació de resultats d'una pràctica s'efectua en una memòria que te la següent estructura de parts.

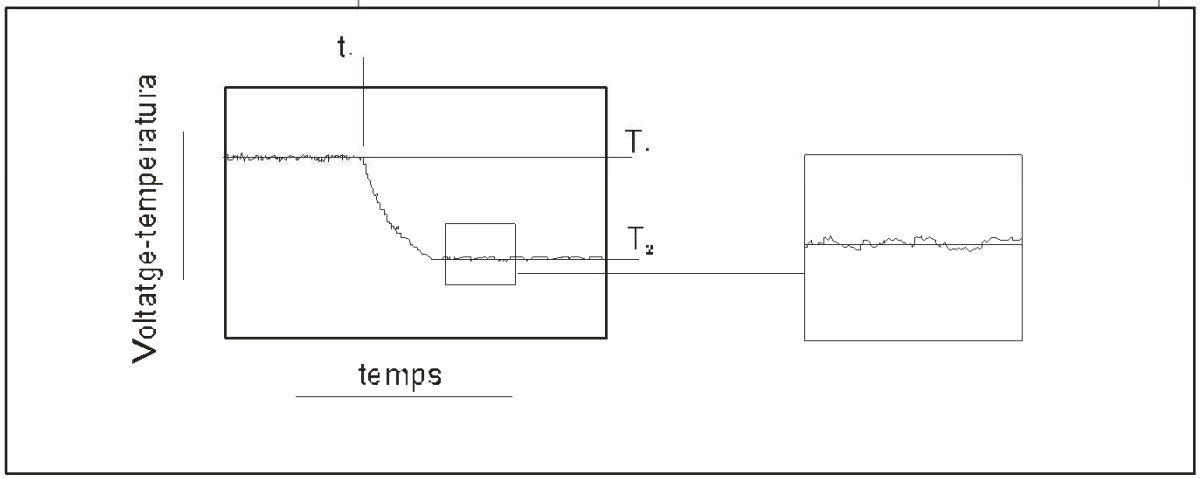
Títol i autors	
Resum	És una síntesi de la memòria. S'exposa l'objectiu principal del treball i es donen els resultats finals així com les conclusions més importants. El resum d'una memòria ha de ser molt breu, no més de 10 línies.
Introducció	Comencem el text amb una introducció on s'exposa el propòsit de l'experimentació, els antecedents del tema, i altres consideracions de caràcter general. La introducció juga un paper important en l'articulació del text, ja que posa el lector en situació i li permet formar-se una expectativa sobre el contingut de la resta. La introducció d'una memòria serà molt breu, no més de 10 línies.
Secció Experimental	La Secció experimental conté un informe sobre els procediments i les tècniques de mesura utilitzats, que permet entendre la metodologia pràctica del nostre experiment. (Evitarem estendre'ns sobre llocs comuns i detalls ben coneguts per tothom.) Observem que la finalitat de la Secció experimental és dir com hem procedit, no quins resultats hem obtingut.
Resultats Discussió	Aquesta és la part principal on reportem les mesures realitzades, presentem els gràfics corresponents i comentem les característiques principals de les observacions realitzades. Per a la discussió s'expliquen breument els fonaments físics o models teòrics que s'utilitzen i es mostren els ajusts de les dades segons la teoria. També s'efectua la interpretació física dels resultats experimentals i es comenta la seua significació general. S'han de ressaltar amb claredat els resultats principals, com ara les quantitats físiques que s'han determinat.
Conclusions	Aquesta secció conté una breu síntesi de la investigació i les determinacions principals.

Enregistrament de dades

- Monitorització de la temperatura en un forn



- Fluctuacions de la lectura

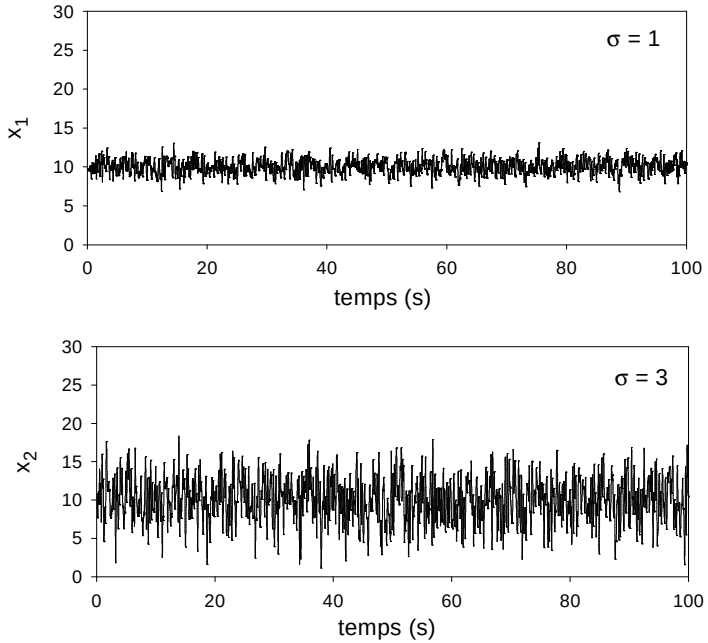


Variables aleatòries

- Variables aleatòries amb valor quadràtic mitjà diferent

$$\bar{x} = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^{T} x(t)dt$$

$$\sigma_x{}^2 = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^{T} (x(t)-\bar{x})^2 dt$$

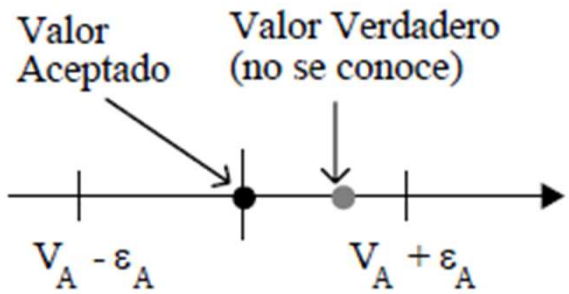


Concepte d'error

ERROR: Incertidumbre que surge al realizar una medida en el laboratorio

Una medida se expresa mediante 3 elementos:

$$R = (V_A \pm \varepsilon_A) \text{ unidades}$$



Ejemplo: Si decimos que una longitud vale

$$L = (36.5 \pm 0.7) \text{ cm}$$

indicamos que el valor verdadero tiene una gran probabilidad de encontrarse en algún punto del intervalo $V_A - \varepsilon_A = 35.8$ cm, $V_A + \varepsilon_A = 37.2$ cm

Error absoluto de una medida

El error absoluto proporciona los límites del intervalo centrado en el valor aceptado, V_A, entre los cuales existe gran probabilidad de que se encuentre el valor verdadero, V_V

Quantificació del error

A l'hora de donar el resultat d'una mesura és de la màxima importància quantificar el màxim error del valor acceptat, proporcionant un interval de delimitació del resultat, que podem anomenar *incertesa*, i que també rep el nom d'*interval d'error*.

- **Error absolut**

Sovint, en compte de donar els límits de l'interval de delimitació, el resultat s'expressa per mitjà del valor central de l'interval i la meitat de la seua amplària (*error absolut*).

$$x_{\mathrm{m}} \pm \varepsilon(x).$$

Escriptura de quantitats mesurades

- Escrivim l'error:
- amb 2 xifres significatives si la primera és menuda (menor que 3), i
- amb 1 xifra significativa si la primera és gran (mantenim 0,29 però arrodonim 0,31 $\rightarrow$ 0,3).

- Exercici: Expresseu correctament, i amb totes les xifres significatives, les quantitats següents:
- *a*) 17,923 ± 1,691;
- *b*) $0{,}00005432 \pm 3{,}68 \times 10^{-6}$;
- *c*) 9789,8 ± 10,3;
- *d*) 3,3923 ± 0,1240;
- *e*) $(22{,}34 \times 10^{-6}) \pm (5{,}12 \times 10^{-7})$;
- *f*) 99,9 ± 1,02;
- *g*) 5398342,32 ± 824,54.

Error relatiu

L'*error relatiu* és un índex d'error molt útil, perquè expressa directament la *qualitat* de la mesura, pel que fa a la seua precisió.

$$\varepsilon_r(x) = \frac{\varepsilon(x)}{x_{\mathrm{m}}}.$$

Una manera corrent d'expressar l'error d'una mesura és donar l'error relatiu en tant per cent, %, i també en parts per cent (o mil, o deu mil, etc.)

Si ε_r = 0,004, l'error de *x* és de 4 parts per mil (4 ppm).

Exemple

Suposem que mesurem amb un regle que aprecia mil·límetres, dues longituds, i obtenim

x = 1000,0 $\pm$ 0,1 cm

y = 10,0 $\pm$ 0,1 cm

Quina mesura és més precisa?

Càlcul d'errors (I)

Error de escala de una medida directa

Supongamos que hemos eliminado los errores sistemáticos y que **los errores accidentales son despreciables**. De este modo, la única fuente de error a considerar será la precisión del instrumento empleado para realizar la medida.

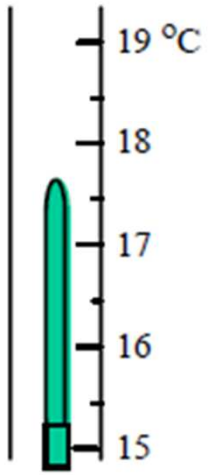
Cualquier aparato o dispositivo de medida tiene una precisión limitada. Así pues, al efectuar una medida tenemos, como mínimo, una incertidumbre que corresponde a la sensibilidad del dispositivo, que denominamos **error de escala**, ε_{esc}.

En los **dispositivos más simples**, el error de escala corresponde a la menor división de la escala (en algunas ocasiones puede asignarse como error la mitad de este valor).

Ejemplo: Se dispone de un termómetro de mercurio de 0.5 ºC de sensibilidad, y al hacer una medida nos encontramos con la lectura que aparece en la figura adjunta.

En la figura vemos que el error de escala es 0.5 ºC, y la lectura es 17.5 ºC. Luego la medida la expresamos como:

$$T = (17.5 \pm 0.5)\ ºC$$



Càlcul d'errors (II)

Error de escala de una medida directa

En **dispositivos más complejos**, tales como instrumentos electrónicos, pueden intervenir diversos factores en el error de una medida. En tales casos, el fabricante suministra una serie de especificaciones para determinar el error de escala.

Por ejemplo, en el caso de polímetros eléctricos se tienen dos fuentes de error: el **error de imprecisión** del instrumento y **error de redondeo** debido a que la pantalla presenta un número de dígitos limitado.

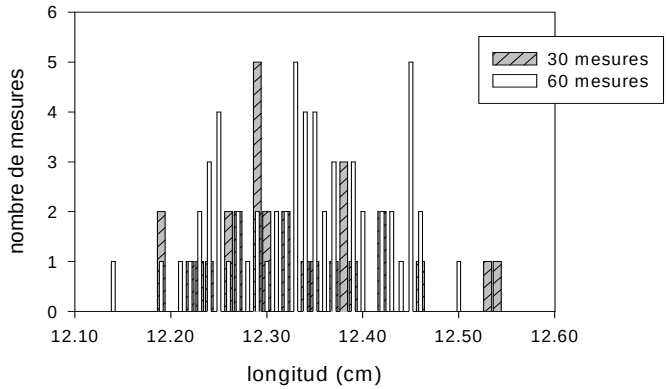
Escala	Resolución	Precisión
320 Ω	100 mΩ	±(2,0 % lect. + 3 dig.)
3,2 kΩ	1 Ω	
32 kΩ	10 Ω	±(1,5 % lect. + 3 dig.)
320 kΩ	100 Ω	
3,2 MΩ	1 kΩ	±(2,5 % lect. + 3 dig.)
30 MΩ	10 kΩ	±(5 % lect. + 5 dig.)

Ejemplo: Polímetro Promax ® leemos R = 47,37 kΩ, ¿error?

$$\varepsilon = \frac{1{,}5}{100} \times 47{,}37 + 3 \times 0{,}1 = 1{,}01\ \text{k}\Omega = 1{,}0\ \text{k}\Omega$$

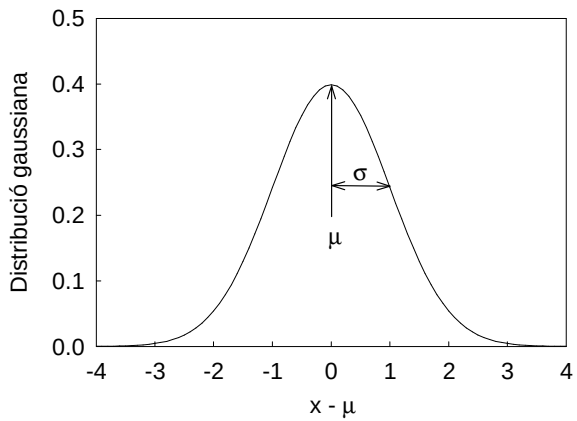
Dispersió de les dades

- Histograma d'una mesura múltiple



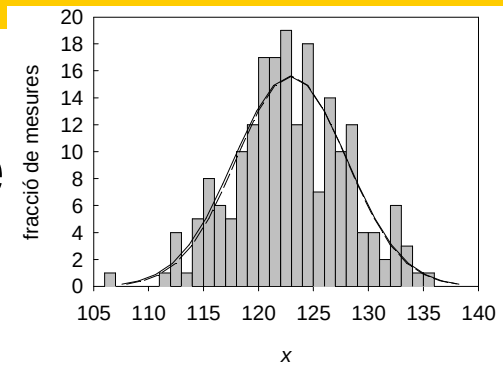
- Distribució gaussiana, definida per μ i σ

$$P_G(x;\mu;\sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right]$$



Estimació de paràmetres

- Aplicació de la distribució gaussiana a una mesura múltiple



- Paràmetres :
- mitjana x_m, desviació estàndard s o σ_{n-1}, error estàndard de la mitjana $\varepsilon(x_m)$

$$x_m = \frac{1}{n}\sum x_i \qquad \sigma_{n-1}{}^2 = \frac{1}{n-1}\sum (x_i - x_m)^2 \qquad \varepsilon(x_m) = \frac{2s}{\sqrt{n}}$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum (x_i - x_m)^2}$$

Propagació d'errors

$$z = f(x, y, \ldots)$$

$$\varepsilon_z = \left|\frac{\partial f}{\partial x}\right| \varepsilon_x + \left|\frac{\partial f}{\partial y}\right| \varepsilon_y + \ldots$$

- Exercici: A l'hora de mesurar la potència que una font de tensió contínua (una pila o una bateria, per exemple) subministra a una càrrega resistiva *R* podem utilitzar mètodes diferents, ja que la potència subministrada *P* es pot expressar com
- $P = I\,V = I^2 R = V^2/R$
- on *V* i *I* representen el voltatge aplicat i el corrent que hi circula, respectivament. Si els instruments de què disposem: voltímetre, amperímetre i ohmímetre presenten el mateix error relatiu en la mesura de cada magnitud, quin dels tres mètodes resultarà més exacte?

Propagació d'errors

Exercici

A l'hora de mesurar la potència P que una font de tensió contínua (una pila o una bateria, per exemple) subministra a una càrrega resistiva, tenim

$$P = I\,V$$

on *V* i *I* representen el voltatge aplicat i el corrent que hi circula, respectivament. Si hem obtingut els següents valors

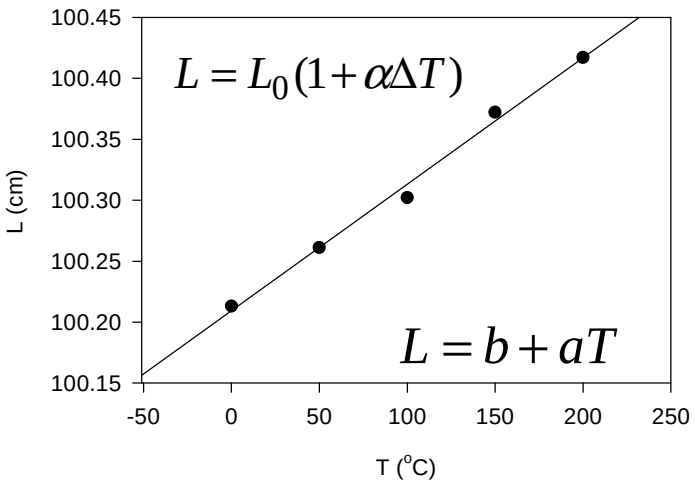
$$I = 1.53 \pm 0.05 \text{ A}$$

$$V = 4.21 \pm 0.01 \text{ V}$$

¿Quin és el valor de la potència, amb el seu error?

Regressió lineal

- Dilatació tèrmica
- d'una vareta



- Paràmetres de la regressió

$$y = ax + b$$

$$a = \frac{n\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n\sum x_i^2 - \left(\sum x_i\right)^2} \qquad b = \frac{\sum y_i - a\sum x_i}{n}$$

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\left\{\left[\sum (x_i - \bar{x})^2\right]\left[\sum (y_i - \bar{y})^2\right]\right\}^{1/2}}$$

$$\varepsilon_a = \frac{|a|}{\sqrt{n-2}} \tan\left[\arccos(r)\right]$$

$$\varepsilon_b = \varepsilon_a \sqrt{\frac{1}{n}\sum x_i^2}$$

Regressió lineal

- Un pèndol de torsió respon a les pertorbacions angulars aplicades d'acord amb l'expressió:
- $\tau = \kappa\theta$
- on τ és el moment restaurador, κ la constant elàstica i θ l'angle de gir. S'han fet els següents mesuratges

τ (Nm)	29,4	59,3	88,6	118,4
θ (^{o})	2	4	6	8

- Feu la representació gràfica de les dades i la recta d'ajust.
- Determineu el valor de κ (en Nm rad^{-1}) amb 3 xifres significatives.

Taules

Table 1. Antagonism of release of TNF-α induced by LPSs from different species of bacteria. Antagonism of LPS-induced release of TNF-α by E5531 was evaluated in adherent human monocytes-macrophages (1×10^6 to 2×10^6 per well) in the presence of 1% human serum in RPMI 1640 medium. Addition of E5531 was followed immediately by 10 ng/ml of the indicated LPS. After 3 hours of incubation, media were centrifuged and the resulting supernatants were assayed for TNF-α by an enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA). Values given are the average ± SE for three assays, each assay being measured in triplicate.

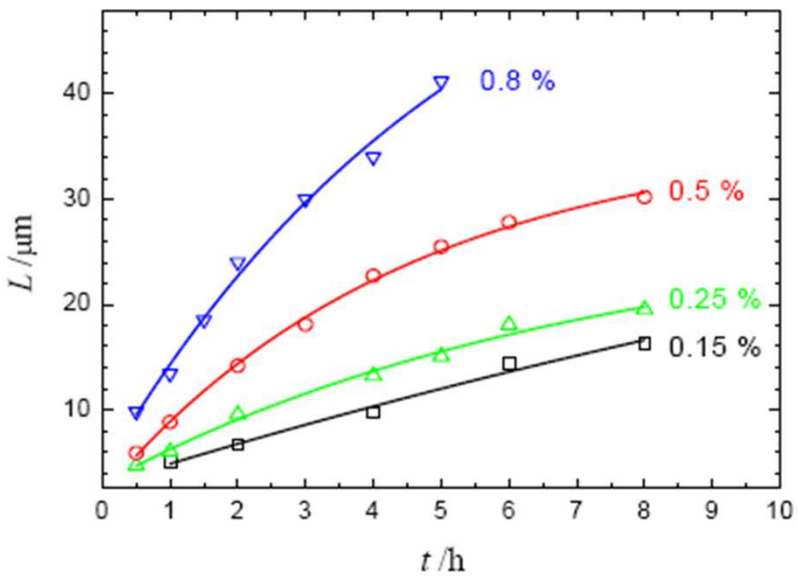
Source of LPS	TNF-α released (pg/ml)	Antagonism by E5531 (IC_{50} in nM)
Escherichia coli	657 ± 144	1.22 ± 0.66
Klebsiella pneumonia	615 ± 185	1.82 ± 0.79
Pseudomonas aeruginosa	475 ± 119	2.73 ± 1.79
Salmonella minnesota	898 ± 141	0.14 ± 0.06

Table 2. Inversion for rupture properties. Four subevents identified in waveforms for which rupture properties were determined (see text). X and ϕ are the distance and azimuth (clockwise from north) referenced to onset E_0. τ is origin time of subevent and V is apparent rupture velocity X/τ. Rupture plane assumed to be near-horizontal nodal plane (*15*). Uncertainties are 1σ. N is number of observations.

Event	X (km)	ϕ (deg)	τ (s)	V (km s^{-1})	N
E_1	29 ± 3	90 ± 5	11.1	2.6 ± 0.2	26
E_3	34 ± 3	35 ± 5	28.0	1.2 ± 0.2	25
E_{4a}	35 ± 7	30 ± 13	35.1	1.0 ± 0.2	25
E_{4b}	52 ± 9	15 ± 10	36.8	1.4 ± 0.3	25

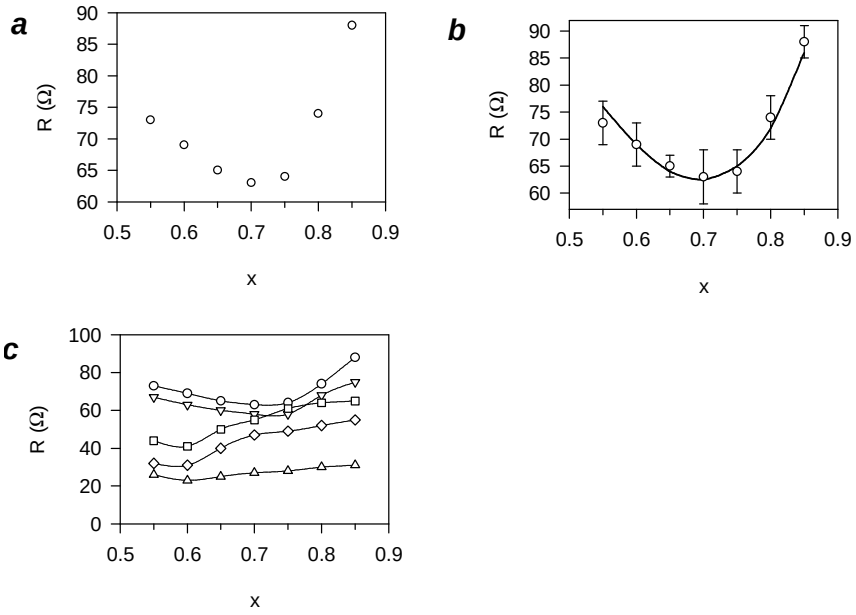
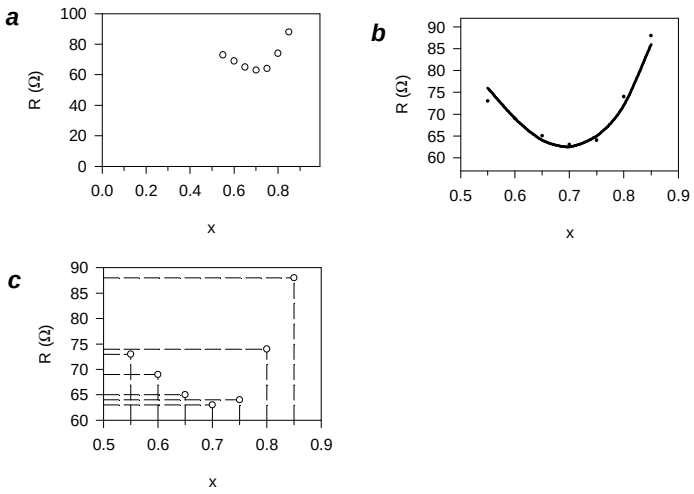
Gràfics

- Inclou els eixos, amb divisions, i un titol de cada eix, amb la magitud representada i la seua unitat
- Ajusta els eixos adequadament perque no quede espai buit.
- Identifica les multiples corbes o conjunts de punts



Gràfics

- Alternatives de representació



- Formes incorrectes