

Pràctica: Força de Lorentz, comportament de càrregues en l'interior de camps elèctrics i magnètics

Introducció

Una càrrega és accelerada en entrar en una regió de l'espai on hi ha un camp elèctric. D'altra banda si aquesta càrrega entra en determinades condicions en una zona de l'espai on hi ha un camp magnètic, és desviada de la trajectòria inicial. Tots aquests canvis són conseqüència de l'acció de la força de Lorentz sobre la càrrega. L'espectrògraf de masses, els acceleradors de partícules, els oscil·loscopis, etc. es fonamenten en aquests principis.

Objectius

Determinar la velocitat dels electrons emesos per una font.

Comparar la influència d'un camp elèctric i un altre magnètic sobre el moviment d'electrons.

Trobar el valor del quocient q/m per a l'electró.

Qüestions prèvies

- a) Un electró entra amb una determinada velocitat perpendicular a les línies de camp elèctric d'una regió de l'espai. Dibuixa totes les forces que actuen sobre la càrrega (suposem negligible la força gravitatòria, per què?). Què li ocurrerà a la trajectòria de la partícula?
- b) Analitza els casos següents: b1) Deixem un electró en repòs dins d'un camp magnètic, quant val la força de Lorentz sobre la càrrega? b2) Un electró entra amb una determinada velocitat dins d'un camp magnètic, si la velocitat i el camp magnètic tenen la mateixa direcció, quant valdrà la força de Lorentz? b3) Un electró entra perpendicular a les línies de camp magnètic d'una regió, quant valdrà la força de Lorentz i quina direcció i sentit tindrà aquesta? b4) Com col·locaries simultàniament en una mateixa regió de l'espai un camp elèctric i un camp magnètic perquè la força elèctrica sobre un electró que hi entrara amb una determinada velocitat fóra perpendicular a la força magnètic? b5) Tracta d'entendre el raonament de l'annex I, el necessitaràs per mesurar el radi de curvatura dels electrons desviats en un camp magnètic

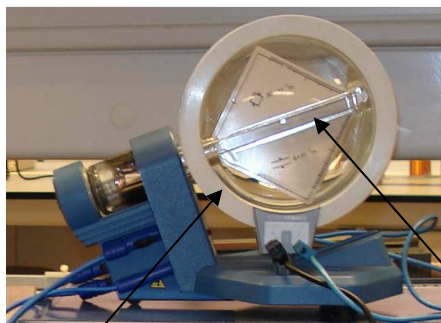
Hipòtesis

Utilitza la resposta a l'apartat b4 per determinar la velocitat dels electrons a partir del coneixement del camp magnètic, B , i elèctric, E , aplicats.

Raona quin radi, R , descriuran els electrons dins d'un camp magnètic B .

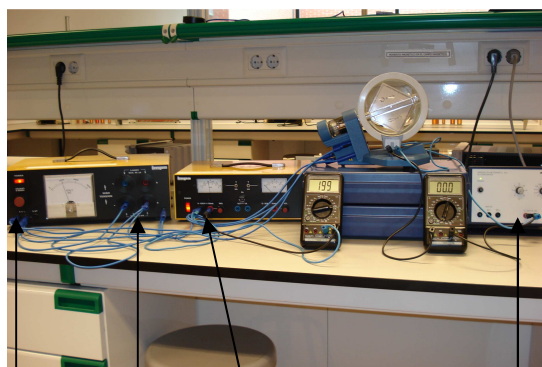
Materials

- 1 Tub de deflexió
- 1 Suport universal
- 1 Parell de bobines de Helmholtz
- 1 Font d'alimentació 0-15V CC
- 1 Font alta tensió (0-5000V CC y 6.3V CA)
- 1 Multímetre digital
- 7 Cables de seguretat
- 4 Cables normals



Bobines de Helmholtz

Plaques del condensador



Font $V_A=0-5000$ V CC
 Font 6,3 V CA
 Font $V_P=0-300$ V. A les plaques del condensador
 Font 0-15 V CC. A les bobines de Helmholtz

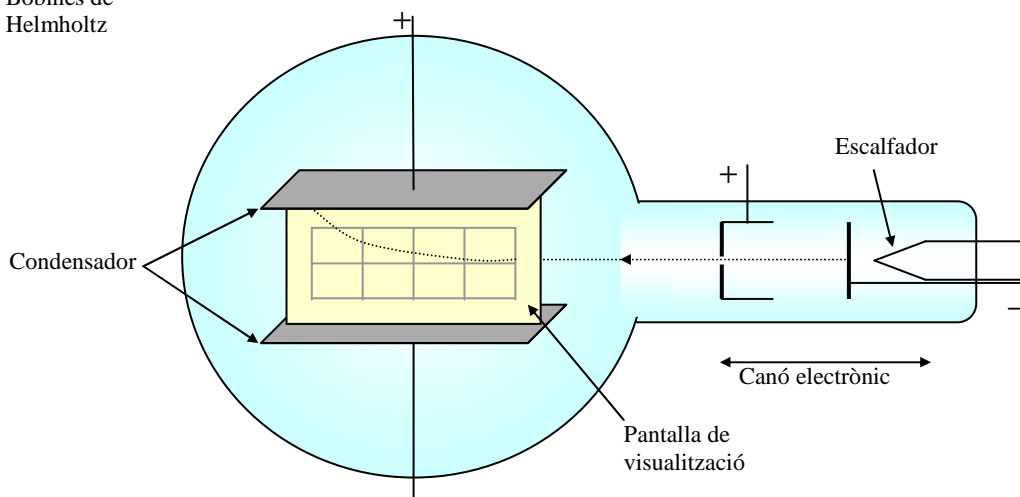


Figura 2. Representa l'esquema del tub a l'interior del qual es mouran els electrons

Procediment

Nota Important: Abans de connectar la font d'alimentació cal assegurar-se que els controls de potencial i corrent estan al mínim (selector de voltatge, botó "Ajust" de la font d'alta tensió a ZERO. Revisa atentament les connexions abans de fer passar el corrent. Connecta l'alimentació, 6,3 V AC, del filament de tungstè i espera dos minuts abans de connectar la resta dels components. No oblidis connectar a terra la font d'alta tensió (un cable negre s'ha de connectar al pol negatiu de la font amb el connector marcat amb el símbol de terra). **Atenció: no ultrapasses mai el valor de 1,5 A per a la intensitat de corrent de les bobines.**

L'amperímetre ha d'estar connectat en l'escala d'Ampère.

A) Determinació del camp magnètic

Nota sobre el funcionament de les bobines de Helmholtz: Les bobines de Helmholtz són dos bobines paral·leles separades una distància R_B . Cada bobina està formada per un fil conductor que recorre N voltes entorn d'un suport cilíndric el radi del qual coincideix amb la distància R_B entre les bobines (en el nostre cas, $N=320$ i $R_B=6,9\cdot 10^{-2}$ m). El fil de subjecció de cada bobina disposa de dos connectors femella que coincideixen amb l'inici (marcat amb 1) i el final del bobinatge (marcat amb 2). Les eixides 2 han d'estar connectades a la font d'alimentació mentre que les eixides 1 han d'estar connectades entre si. D'aquesta manera, les bobines estan connectades en sèrie i per elles circula un corrent elèctric d'intensitat I . Com a conseqüència, aquestes generen un camp magnètic que és pràcticament uniforme en l'espai comprès entre elles.

Per a determinar el valor del camp magnètic recordem que, en el cas d'una espira circular de radi R_B , la inducció magnètica, B , en un punt de l'eix de simetria i a una distància x del seu centre ve donada per:

$$B = \frac{\mu_0 R_B^2 I}{2(R_B^2 + x^2)^{3/2}} \quad (1)$$

sent $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Wb/A m.

Ja que, en compte d'una sola espira, disposem de dos bobines paral·leles amb N espires cada una, el camp magnètic en el punt mitjà entre bobines serà

$$B = \frac{\mu_0 R_B^2 IN}{2(R_B^2 + x^2)^{3/2}} \quad (2)$$

o bé, si tenim en compte que $x = R_B/2$:

$$B = \frac{8\mu_0 NI}{5\sqrt{5}R_B} \quad \text{o, en el nostre cas, } B = 4,17 \cdot 10^{-3} I \quad (3)$$

Coneguts N i R_B , la mesura de I amb un amperímetre, permet trobar el valor de la inducció magnètica, B , generada per les bobines.

B) Determinació del camp elèctric entre les plaques del condensador

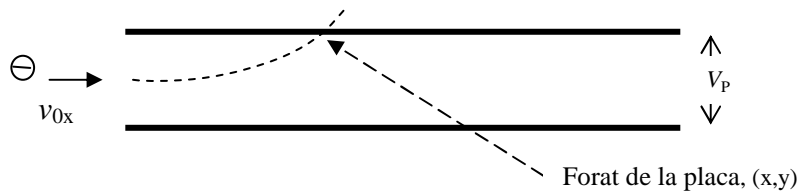
La diferència de potencial entre les plaques del condensador és coneguda, V_P , per altra banda la separació entre les plaques també la coneixem $d = 8 \cdot 10^{-3}$ m, En conseqüència podem deduir el valor del camp elèctric entre les plaques,

$$E = \frac{V_P}{d} \quad (4)$$

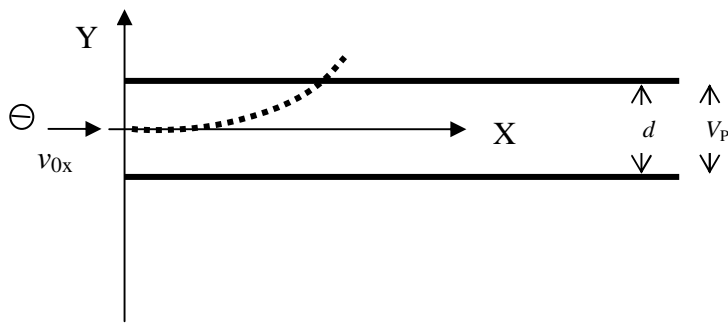
Aleshores el coneixement de la intensitat de corrent, I , aplicada a les bobines de Helmholtz i de la diferència de potencial, V_P , aplicada a les plaques del condensador ens permet conèixer els valors dels camps magnètics, B , i elèctrics, E , aplicats.

C) Deflexió d'electrons en un camp elèctric

Dona a V_A un valor proper a 4.000 V, sense passar corrent per les bobines del Helmholtz, és a dir $B = 0$; varia el valor de V_P fins que el feix d'electrons passa pel forat de la placa, aquest punt té un valor de les coordenades conegudes.



Els electrons són accelerats prèviament per la diferència de potencial V_A , i assoleixen la velocitat en la direcció X, v_{0x} .



Si tenim en compte que en l'eix X el moviment és uniforme, $x = v_{0x}t$ i en l'Y és uniformement accelerat,

$$y = \frac{1}{2} \frac{qE}{m} t^2 \quad (\text{demostra-ho}),$$

trobem que $y = \frac{1}{2} \frac{qE}{m} \frac{x^2}{v_{0x}^2}$.

Si, a més, tenim en compte que $\frac{1}{2} m v_{0x}^2 = q V_A$ i que $E = \frac{V_P}{d}$, s'arriba finalment a

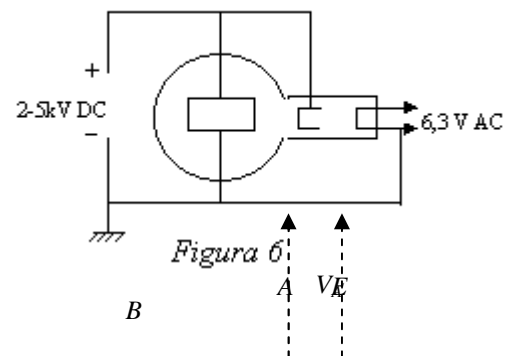
$$y = \frac{1}{4d} \frac{V_P}{V_A} x^2 \quad (5)$$

Tenint en compte que el forat de la placa té les coordenades $(47,00, 4,00) \cdot 10^{-3}$ m i que $d = 8 \cdot 10^{-3}$ m, dóna valors a V_A i V_P i comprova el compliment de l'expressió (5) anterior.

D) Deflexió d'electrons en un camp magnètic

Ara només actuarà el camp magnètic generat per les bobines de Helmholtz.

Si és E l'emissor d'electrons i entre E i A tenim una diferència de potencial V_A , es complirà quan els electrons passen d'E fins a A que



$$\frac{1}{2} mv^2 = qV_A \quad (6)$$

Quin principi de la física s'ha aplicat per escriure la igualtat anterior?

D'altra banda quan l'electró entre en la regió del camp magnètic B experimentarà una desviació, ja que actua la força magnètica perpendicular a la trajectòria de l'electró, i si tenim en compte que l'acceleració només té la component normal,

$$qvB = m \frac{v^2}{R} \quad (7)$$

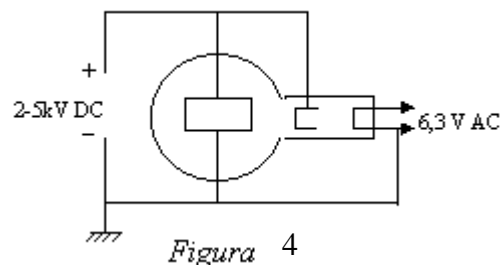
Combinant (6) i (7) s'arriba a

$$B^2 = \left[\frac{2}{R^2} \frac{m}{q} \right] V_A \quad (8)$$

Si $m_e = 9,109 \cdot 10^{-31}$ kg i $q_e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C (amb més precisió $q_e/m_e = (1,75888 \pm 0,00004) \cdot 10^{11}$ C kg⁻¹) en valor absolut per a l'electró, comprova que es compleix l'expressió (8). Ara $V_P = 0$. Per a una determinada V_A , modifiquem la intensitat de corrent, I , que passa per les bobines fins que el feix d'electrons passa pel forat de coordenades conegudes $(x, y) = (47,00, 4,00) \cdot 10^{-3}$ m, a partir d'aquestes coordenades i tenint en compte el resultat de l'annex I podem trobar el radi de la circumferència que descriurien el electrons, R , dins del camp magnètic, B . Una altra opció és la següent: fica V_A , al voltant de 3000 V i modifica I , és a dir, el camp B , fins que el feix d'electrons passa pel vèrtex inferior, G, del quadrat que forma la cartolina (veure annex II), en aquesta cas $L = 0$ i, per tant, $R^2 = 3,2 \cdot 10^{-3}$ m² (comprova-ho).

E) Determinar la velocitat del electrons

- a) Amb totes les fonts d'alimentació apagades, connecta la placa inferior del condensador al càtode (-) de la font d'alta tensió. Com que la placa superior del condensador està connectada a l'ànode (+), la diferència de potencial entre plaques és la mateixa que en el canó d'electrons. En conseqüència, en el condensador existirà un camp elèctric la força del qual s'oposa a la força magnètica. La distància entre les plaques del condensador és $d = 8 \cdot 10^{-3}$ m.



No oblidis fer la connexió a terra de la font d'alta tensió (un cable negre s'ha de connectar el polo negatiu de la font amb la clau marcada amb el símbol de terra: \perp).

Força de Lorentz, comportament de càrregues en camps elèctrics i magnètics

- b) Col·loca el selector de voltatge (botó “Ajust”) de la font d’alta tensió en l’extrem esquerre (voltatge nul), i connecta l’alimentació (6,3V AC) del filament de tungstè. Espera dos minuts abans de connectar la resta dels instruments.
- c) Connecta la font d’alta tensió escollint el voltatge de 3000 V (DC).
A partir d’ara, no modifiqui el voltatge de la font d’alta tensió.
- d) Connecta l’amperímetre en l’escala 0-2 A (DC)
- e) Connecta l’alimentació de les bobines (font de baixa tensió 0-15 V). Inicialment, el selector de voltatge de la font ha d’estar en 0V, de manera que la intensitat de corrent que passa per les bobines siga de 0A. La polaritat en el corrent de les bobines ha de ser tal que la força magnètica s’opose a la força elèctrica.
- f) Augmenta la intensitat del corrent que circula per les bobines fins que el camp magnètic generat equilibri la força elèctrica sobre els electrons. En aquest moment, no hi haurà desviació en la trajectòria dels electrons. **Atenció: no sobrepasses mai el valor de 1,5 A per a la intensitat del corrent en les bobines.**

Ara s’han igualat les forces elèctrica i magnètica

$$qvB = qE$$

on B és el camp de les bobines de Helmholtz trobat mitjançant l’expressió (3) i E el camp elèctric entre les plaques del condensador deduït a través de l’expressió (4), per tant la rapidesa dels electrons és

$$v = \frac{E}{B}$$

Troba la velocitat mitjançant l’expressió de la conservació de l’energia, (6), i compara els dos resultat.

F) Ampliació

Determinació del valor de q/m . Suposem que vols determinar el quocient q/m per a l'electró (o m/q). Tindríem en compte que (8) representa una recta, $y = ax$ si $y = B^2$, $x = V_A$ i $a = \left[\frac{2}{R^2} \frac{m}{q} \right]$.

Per tant si completem una taula de mesures de parelles de valors (V_A , B^2), mentre mantenim constant R . (Què caldria fer perquè R siga sempre igual encara que varie V_A ?)

Completa la taula de valors següent:

V_A (V)	I (A) Intensitat a les bobines de Helmholtz	B (T)	B^2
2000			
2400			
3000			
3400			
4000			
4400			

Anota el valor de R , recorda que es troba seguint el procediment dels annexos I i II. Fes que el feix d'electrons passe sempre pel mateix punt (x,y), per exemple el punt G (veure annex II) per a la qual cosa hauràs de modificar la intensitat, I , de les bobines de Helmholtz, si has variat V_A .

Representa els valors de B^2 front a V_A i ajusta mitjançant una recta. Recorda que el pendent de l'equació experimental que has trobar és igual a

$$\left[\frac{2}{R^2} \frac{m}{q} \right]$$

Ara podràs trobar el valor de q/m .

Qüestions

Per què és fa visible la trajectòria dels electrons?

Recursos d'Internet

Per a tenir una informació més ampla i visual sobre els continguts d'aquesta pràctica visita:
<http://surendranath.tripod.com/Applets/Electricity/MovChgEleMag/MovChgEleMagApplet.html>

<http://www.lon-capa.org/~mmp/kap18/RR4460app.htm>

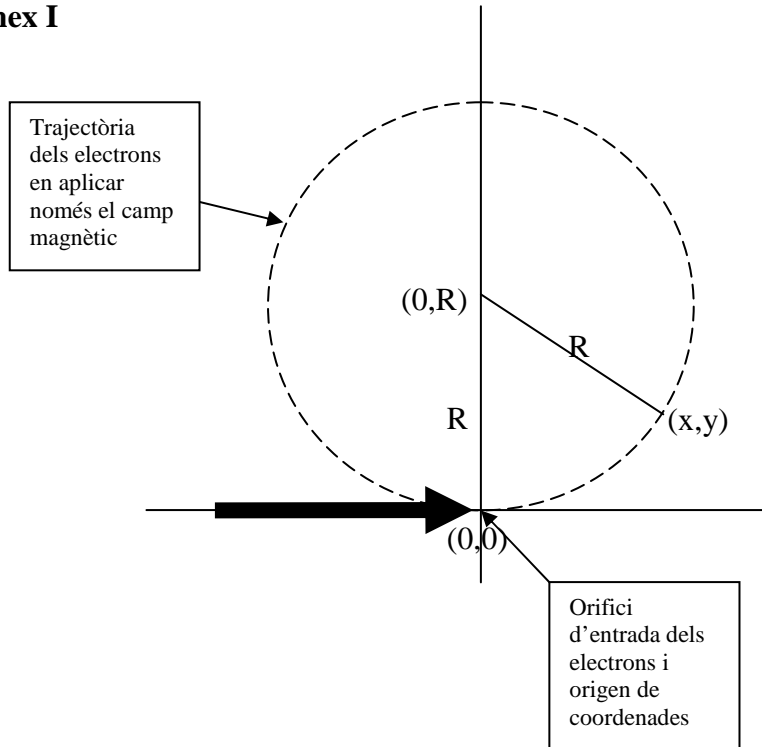
http://webphysics.davidson.edu/physlet_resources/bu_semester2/c12_force.html

http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/applets/Hwang/ntnujava/emField/emField_s.htm

Ciència, tècnica i societat

Investiga quins instruments d'ús quotidià es fonamenten en els principis estudiats en aquesta pràctica.

Annex I



Equació general de la circumferència:

$$(x-a)^2 + (y-b)^2 = R^2$$

En el nostre cas,

$$x^2 + (y-R)^2 = R^2$$

d'on

$$R = \frac{x^2 + y^2}{2y}$$

Per tant si mesurem les coordenades (x, y) per on passa el feix d'electrons en ser desviat, podem obtenir el radi de curvatura, R

Annex II

De la figura

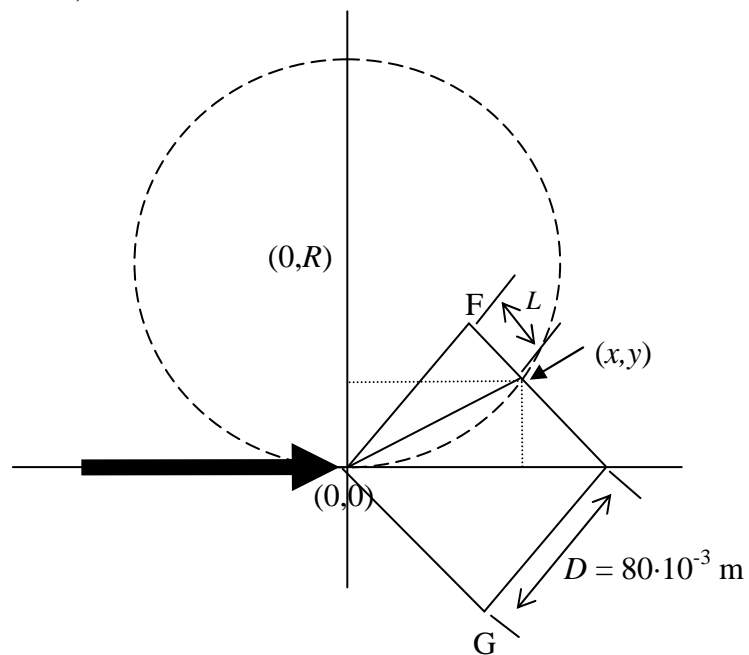
$$x^2 + y^2 = D^2 + L^2$$

i

$$(2y)^2 = 2(D-L)^2$$

Per tant

$$R^2 = \frac{1}{2} \left[\frac{D^2 + L^2}{D-L} \right]^2$$



Final

Elabora un informe final per a penjar-lo en la web de la universitat. Aquest ha d'incloure com a mínim el següent (les indicacions de l'annex et poden orientar):

Títol de l'experiència (curt i que indiqui clarament de què tracta).

Fotografia dels components del grup, noms i lloc on estudeu.

Introducció (objectiu, data, on heu fet l'experiència ...)

Fonament teòric (resum teòric del fenomen estudiat)

Hipòtesi (què espereu obtindre, quines variables considerareu i com espereu que es comporten...)

Disseny experimental (esquema del muntatge, fotografia, característiques, materials...)

Procediment (explicar les accions realitzades, incloent les observacions que considereu importants)

Mesures i càlculs (taules de valors, magnituds, unitats, i representacions gràfiques...)

Resposta a les qüestions finals

Conclusions (què s'ha demostrat, quines avantatges i inconvenients té vostre disseny experimental i el vostre mètode, altres qüestions relacionades que proposaríeu per a ampliar la investigació ...)

Bibliografia consultada en la forma següent:

Cognom, nom (any de publicació), títol del llibre en cursiva, Editorial, ciutat de publicació, pàgina on està la informació

Si la font d'informació és Internet, cal incloure l'adreça electrònica.

Annex II: ajuda per a elaborar l'informe final

Accions que he de fer	Estarà ben fet si...
1. Escollir un títol per a l'informe	està d'acord amb l'experiència resumeix l'objectiu principal és suggeridor
2. Identificar l'objectiu principal	2.1 està d'acord amb les finalitats del treball realitzat 2.2 comença amb un verb
3. Plantejar la hipòtesi	3.1 s'indiquen les variables dependent i independent 3.2 s'indiquen les variables que es controlen 3.3 es redacten utilitzant la forma: "Si..... aleshores....."
4. Indicar els materials i instruments utilitzats en l'experiència	4.1 s'anoten tots 4.2 s'anomenen correctament
5. Descriure el procediment seguit	5.1 està d'acord amb la hipòtesi 5.2 es descriuen els diferents passos en paràgrafs separats 5.3 els paràgrafs són curts, precisos i concisos 5.4 s'acompanya amb esquemes
6. Transcriure les	6.1 són sistemàtiques en relació amb la

observacions i les dades	variable independent 6.2 s'utilitzen taules i quadres 6.3 es visualitzen fàcilment 6.4 inclouen observacions sobre aspectes divergents o d'altres
7. Transformar les dades	7.1 si permeten visualitzar i arribar a conclusions en relació amb la hipòtesi plantejada 7.2 si s'utilitzen gràfics o esquemes
8. Redactar les conclusions	8.1 responen a la hipòtesi 8.2 es relacionen amb aspectes teòrics que expliquen els resultats obtinguts 8.3 es diferencien les interpretacions personals de les que són acceptades científicament 8.4 en la redacció s'utilitzen els termes científics adequats i sense errors 8.5 si les frases estan ben construïdes (atenció als connectors)
9. Revisar el text elaborat	9.1 es comprova que una persona que no ha fet l'experiment el pot repetir 9.2 la presentació permet llegir fàcilment el text 9.3 la puntuació i l'ortografia són correctes