

## 1. Medida de la característica de un diodo de vacío.

Mediremos la variación de la corriente del diodo  $I$  con el potencial de polarización  $V_A$  para varias corrientes de calefacción del filamento. El potencial de polarización abarcara el intervalo (0,20) volts para corrientes del filamento comprendidas en el intervalo (1,2) amperios. Construiremos las tablas de  $I$  frente a  $V_A$  para distintas  $I_F$  (intensidad de corriente que circula por el filamento).

Nuestro objetivo consiste en interpretar los resultados que se obtengan a partir de las ecuaciones (1) y (9). A partir de estas relaciones podremos obtener la relación carga / masa del electrón.

$$J_T = AT^2 \exp(-F/KT) \quad (1)$$

$$I \propto (2q/m)^{1/2} V_A^{3/2} \quad (9)$$

Construyendo las tablas  $I-V_A^{3/2}$ , ajustando rectas por mínimos cuadrado y teniendo en cuenta la ecuación (9) podremos calcular mediante el conocimiento de la pendiente de esas rectas ajustadas la relación carga / masa del electrón. Representaremos  $I-V_A^{3/2}$ , de forma que  $V_A^{3/2}$  es  $x$  en nuestra recta. Por tanto la pendiente de esa recta será igual a la multiplicación de ese factor de proporcionalidad por el término  $(2q/m)^{1/2}$ . Solo tenemos que despejar  $(q/m)$  y obtener así la relación carga / masa del electrón.

El factor de proporcionalidad depende de la geometría del diodo y de la constante dieléctrica  $\epsilon$  (en nuestro caso  $\epsilon_0$  por tratarse de un diodo de vacío).

Es importante notar que en la ecuación (9) no se contempla la posibilidad de que los electrones posean una energía cinética al abandonar el filamento por efecto termoiónico, es decir, supondremos que la energía inicial de los electrones es solo debida a su energía potencial.

Calcularemos la relación carga / masa del electrón para cada una de las intensidades de corriente  $I_F$  que circulan por el filamento. Escribiremos la tablas de datos, dibujaremos las graficas correspondientes y calcularemos la pendiente y la ordenada en el origen (con su error). A partir del valor de la pendiente de la recta calcularemos la relación carga /masa del electrón.

### 1.1 Medidas.

Tabla 1,  $I_F = 1.0$  amperes;

$V_A(\text{volts}^{3/2})$	$I(\text{amperes})$
0.8538	2.30E-04
1.3145	6.20E-04
1.8371	1.15E-03
2.4149	1.67E-03
3.2631	2.61E-03
3.9528	3.22E-03
4.4365	3.78E-03
5.1961	4.53E-03
6.8305	5.98E-03
7.7018	6.65E-03
8.3018	7.15E-03

9.2295	7.68E-03
10.189	8.33E-03
11.1803	9.00E-03
12.5484	1.00E-02
13.6085	1.06E-02
14.6969	1.14E-02
15.8128	1.19E-02
17.3425	1.28E-02
18.5202	1.34E-02
19.7235	1.39E-02
21.3666	1.46E-02
22.6274	1.50E-02
25.2201	1.56E-02
26.5512	1.59E-02
27.9049	1.60E-02
29.7445	1.63E-02
33.0564	1.66E-02
35.0006	1.68E-02
37.9854	1.70E-02
41.0506	1.72E-02
43.1377	1.73E-02
45.7946	1.74E-02
47.9579	1.75E-02
50.7085	1.76E-02
53.5097	1.77E-02
56.9367	1.79E-02
60.4339	1.80E-02
62.8037	1.82E-02
65.8084	1.83E-02
68.8595	1.84E-02
71.3333	1.85E-02
73.8361	1.86E-02
77.0048	1.87E-02
78.2846	1.88E-02
80.8653	1.89E-02
84.1301	1.90E-02
88.1044	1.91E-02
92.1393	1.92E-02

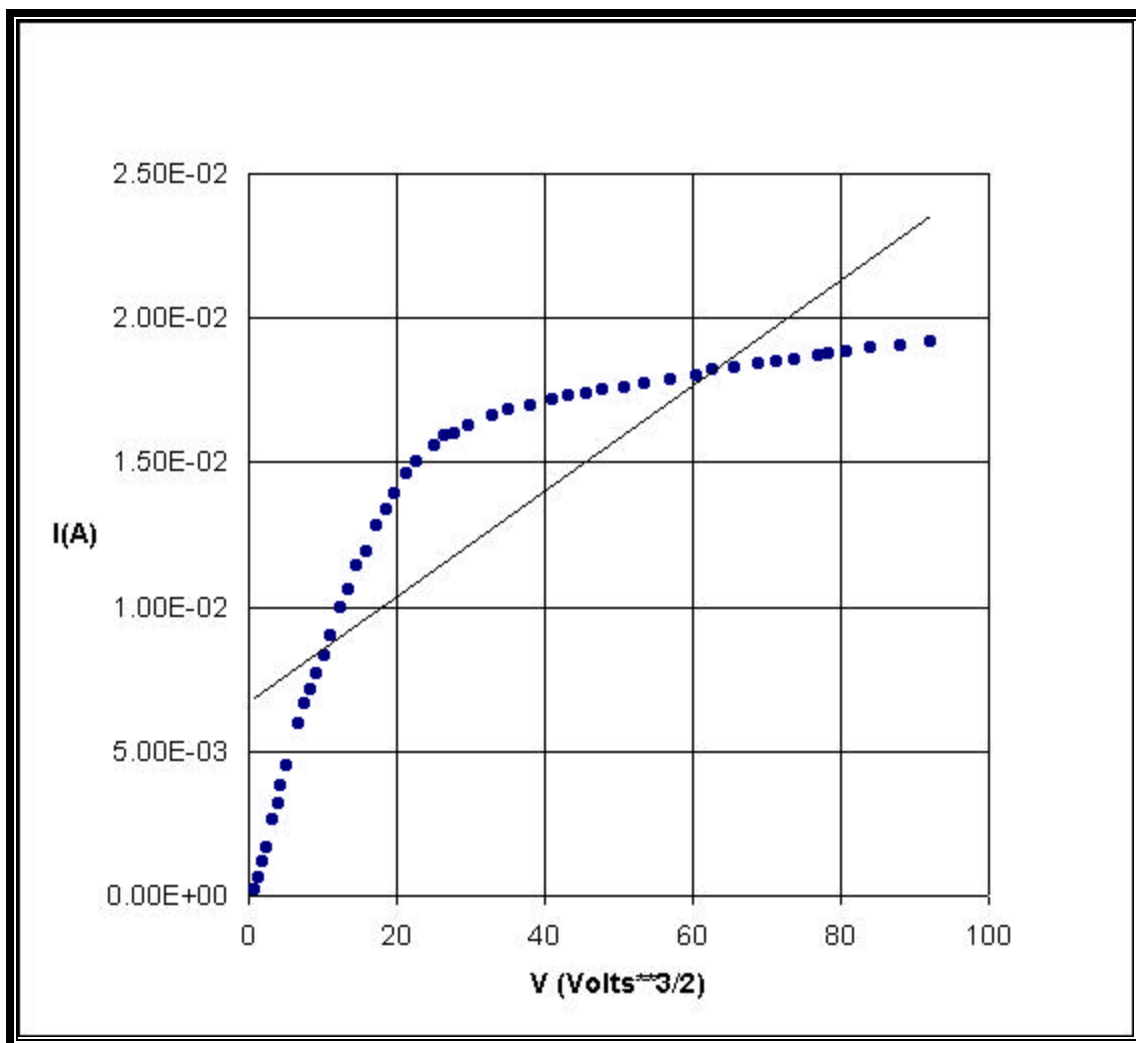


Figura 1; Intensidad de corriente del filamento  $I_F = 1.0$  ampere.

Resultado del ajuste por mínimos cuadrados, recta  $y = mx + n$  ;

$$m = 1.83115704E-4$$

$$n = 6.68960446E-3$$

$$e(m) = 8.859321773E-6$$

$$e(n) = 2.743598917E-3$$

$$r = 0.8436892019$$

$$(q/m) = 5.335977807E10 \text{ C/Kg}$$

Tabla 2,  $I_F = 1.15$  amperes;

$V_A(\text{volts}^3/2)$	$I(\text{amperes})$
1.4822	1.10E-03
3.4881	3.30E-03
6.5479	6.90E-03

10.8466	1.09E-02
15.0658	1.47E-02
20.5395	1.91E-02
25.6613	2.27E-02
30.2104	2.57E-02
34.511	2.82E-02
37.9854	2.99E-02
41.0506	3.13E-02
45.259	3.29E-02
52.9454	3.61E-02
58.6766	3.80E-02
64	3.97E-02
66.4149	4.06E-02
71.3333	4.20E-02
76.3675	4.36E-02
82.1661	4.52E-02
86.7728	4.65E-02
92.8176	4.79E-02
98.3035	4.95E-02
106.7268	5.12E-02
114.6484	5.30E-02

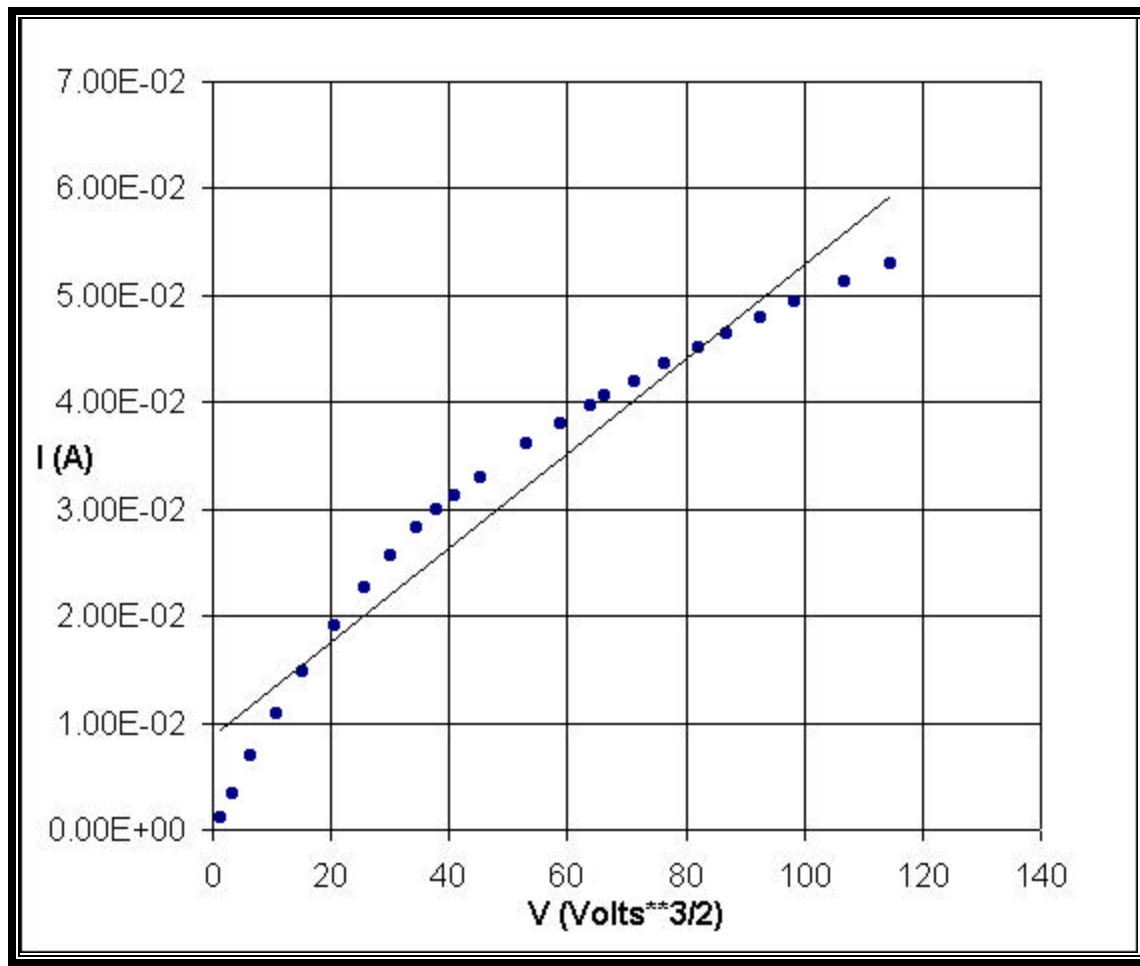


Figura 2; Intensidad de corriente del filamento  $I_F = 1.15$  ampere.

Resultado del ajuste por mínimos cuadrados, recta  $y = mx + n$  ;

$$m = 4.414777735E-4$$

$$n = 8.786676455E-3$$

$$e(m) = 1.052043663E-5$$

$$e(n) = 3.18285108E-3$$

$$r = 0.9674267227$$

$$(q/m) = 3.101562377E11 \text{ C/Kg}$$

Tabla 3,  $I_F = 1.2$  amperes;

$V_A(\text{volts}^{3/2})$	$I(\text{amperes})$
0.4647	1.50E-04
0.8538	5.90E-04
1.1536	9.50E-04
1.8371	1.85E-03
2.8284	2.80E-03

3.4881	3.57E-03
4.1923	4.47E-03
4.6852	5.12E-03
5.4581	5.79E-03
6.8305	7.50E-03
7.7018	8.21E-03
8.6074	9.17E-03
10.5162	1.12E-02
11.8578	1.27E-02
13.252	1.40E-02
14.331	1.52E-02
15.8128	1.68E-02
17.3425	1.83E-02
18.5202	1.97E-02
20.5395	2.29E-02
22.6274	2.55E-02
23.912	2.68E-02
25.6613	2.87E-02
27.4512	3.10E-02
29.2809	3.29E-02
31.6227	3.55E-02
34.0238	3.81E-02
36.4828	4.06E-02
37.9854	4.24E-02
39.5081	4.36E-02
41.0506	4.50E-02
43.6649	4.77E-02
46.8721	5.05E-02
49.052	5.29E-02
52.9454	5.65E-02
55.7865	5.90E-02
59.2605	6.22E-02
61.615	6.44E-02
64	6.44E-02
68.2456	7.01E-02
71.3333	7.27E-02
75.732	7.66E-02
78.2846	7.92E-02
82.819	8.34E-02
85.4481	8.55E-02
88.1044	8.79E-02
90.7877	9.04E-02

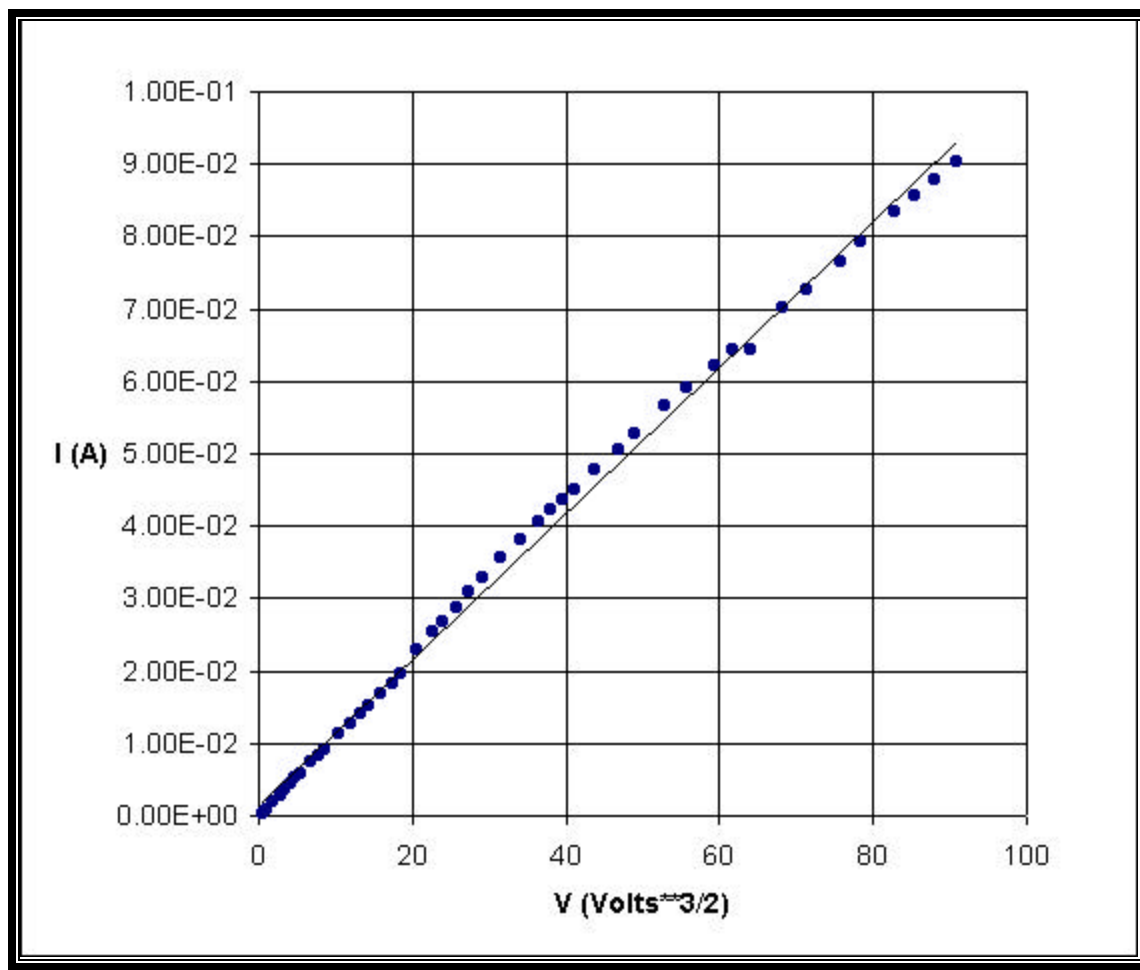


Figura 3; Intensidad de corriente del filamento  $I_F = 1.2$  ampere.

Resultado del ajuste por mínimos cuadrados, recta  $y = mx + n$  ;

$$m = 1.012271218E-3$$

$$n = 1.353174187E-3$$

$$e(m) = 4.558093119E-6$$

$$e(n) = 1.362542985E-3$$

$$r = 0.9984743524$$

$$(q/m) = 1.630634438E12 \text{ C/Kg}$$

Tabla 4,  $I_F = 1.4$  amperes;

$V_A(\text{volts}^{3/2})$	$I(\text{amperes})$
1	1.19E-03
1.8371	2.41E-03
3.4881	4.58E-03
4.9385	6.15E-03
6.5479	7.95E-03

7.117	8.79E-03
8.3018	1.02E-02
10.5162	1.25E-02
12.8986	1.54E-02
12.8986	1.54E-02
14.331	1.67E-02
16.5718	1.95E-02
18.1248	2.22E-02
19.3196	2.38E-02
21.3666	2.63E-02
22.6274	2.80E-02
25.6613	3.15E-02
27	3.28E-02
29.2809	3.58E-02
32.0983	3.92E-02
33.5389	4.08E-02
37.4823	4.49E-02
41.0506	4.88E-02
44.1941	5.21E-02
47.414	5.54E-02
51.8229	5.97E-02
55.2143	6.31E-02
60.4339	6.87E-02
64.6009	7.29E-02
68.8595	7.77E-02
71.9563	8.10E-02
75.732	8.51E-02
79.5715	8.98E-02
84.7883	9.53E-02
87.4378	9.82E-02
92.8176	1.05E-01
98.3035	1.11E-01
101.7852	1.15E-01
108.153	1.23E-01
112.4692	1.28E-01
118.3111	1.35E-01
125	1.42E-01



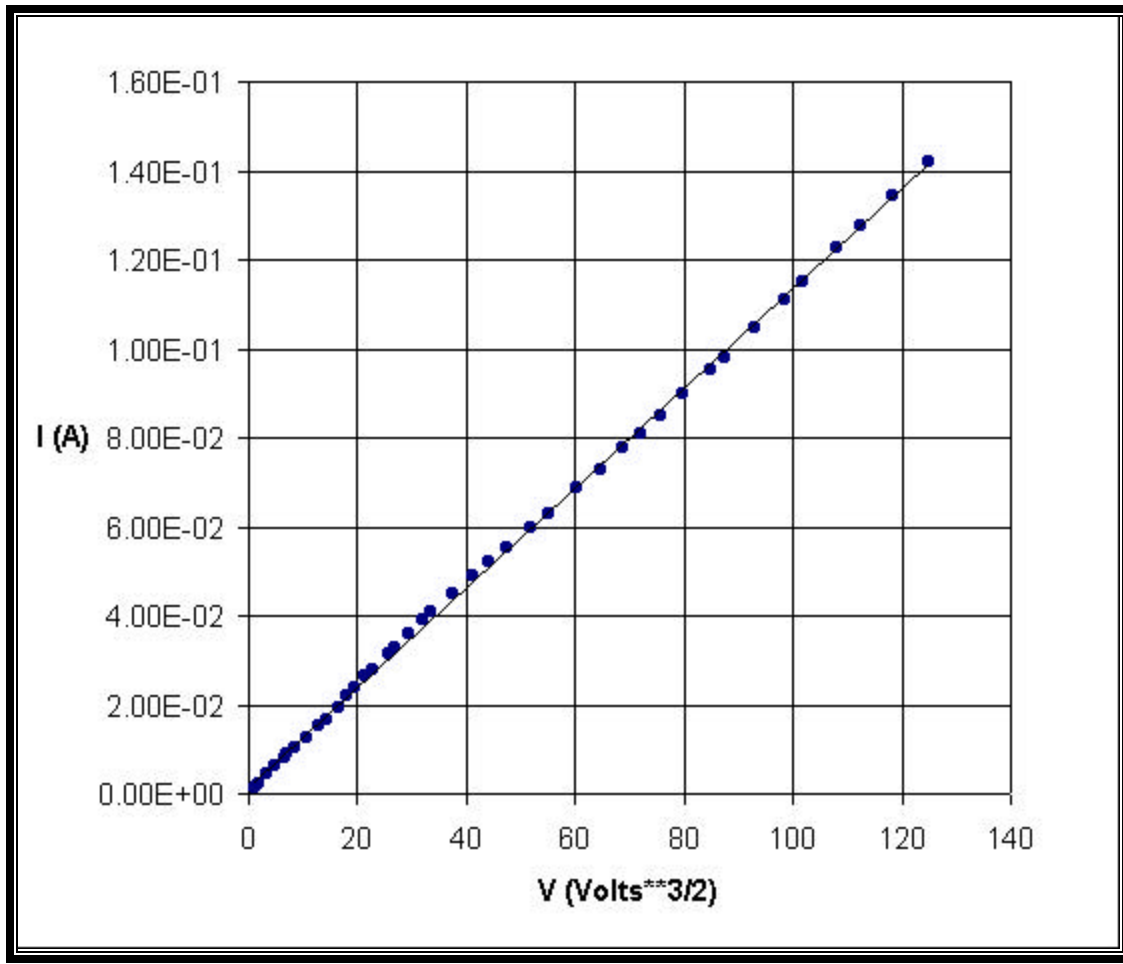


Figura 4; Intensidad de corriente del filamento  $I_F = 1.4$  ampere.

Resultado del ajuste por mínimos cuadrados, recta  $y = mx + n$  ;

$$m = 1.118857116E-3$$

$$n = 1.488064136E-3$$

$$e(m) = 2.093240044E-6$$

$$e(n) = 8.03860837E-4$$

$$r = 0.9997329371$$

$$(q/m) = 1.9921043768E12 \text{ C/Kg}$$

Tabla 5,  $I_F = 1.6$  amperes;

$V_A(\text{volts}^{3/2})$	$I(\text{amperes})$
1.3145	2.14E-03
3.2631	4.93E-03
4.9385	7.07E-03
7.4075	9.80E-03
9.5459	1.26E-02
11.8578	1.51E-02

13.6085	1.73E-02
14.6969	1.85E-02
16.9557	2.25E-02
19.7235	2.57E-02
23.053	3.01E-02
27.4512	3.53E-02
30.2104	3.87E-02
32.5761	4.17E-02
36.9814	4.66E-02
40.0201	4.95E-02
43.1377	5.30E-02
47.9579	5.82E-02
52.9454	6.40E-02
56.3606	6.74E-02
59.8462	7.10E-02
63.4009	7.49E-02
65.8084	7.72E-02
70.7121	8.34E-02
75.732	8.88E-02
80.2175	9.46E-02
85.4481	1.01E-01
91.4627	1.08E-01
98.3035	1.16E-01
103.1891	1.22E-01
109.5855	1.30E-01
114.6484	1.37E-01
129.5268	1.54E-01
137.1899	1.63E-01

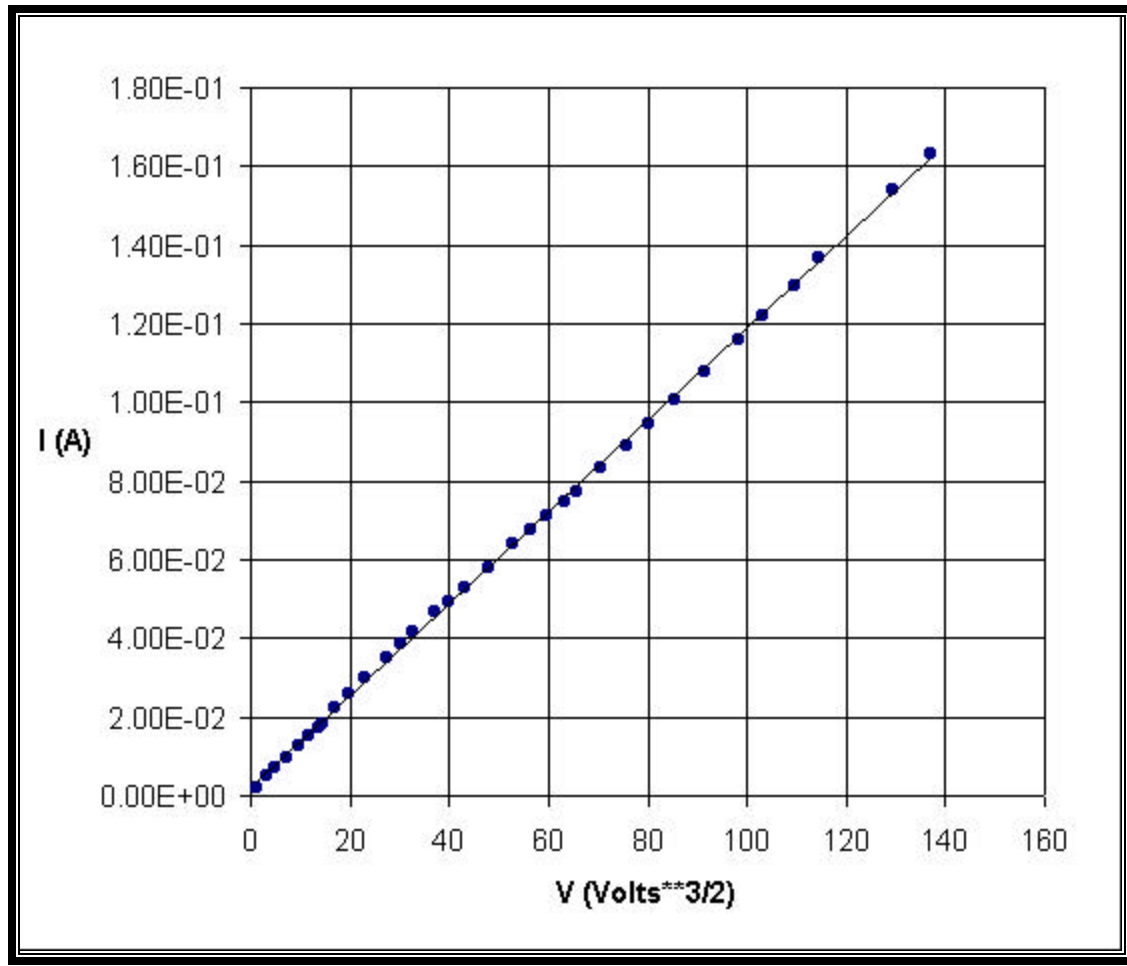


Figura 5; Intensidad de corriente del filamento  $I_F = 1.6$  ampere.

Resultado del ajuste por mínimos cuadrados, recta  $y = mx + n$  ;

$$m = 1.168094335E-3$$

$$n = 1.840839531E-3$$

$$e(m) = 2.189195839E-6$$

$$e(n) = 8.29593058E-4$$

$$r = 0.9997677315$$

$$(q/m) = 2.171294179E12 \text{ C/Kg}$$

Tabla 6,  $I_F = 1.8$  amperes;

$V_A(\text{volts}^{3/2})$	$I(\text{amperes})$
0	0.12E-03
1	2.18E-03
2.6189	4.25E-03
4.1923	6.69E-03
5.4581	8.21E-03

7.7018	1.13E-02
12.2015	1.65E-02
14.331	1.90E-02
16.5718	2.28E-02
20.1301	2.77E-02
23.053	3.17E-02
26.5512	3.56E-02
31.1496	4.19E-02
36.4828	4.77E-02
41.5692	5.31E-02
45.259	5.76E-02
47.9579	6.07E-02
55.7865	6.88E-02
58.6766	7.23E-02
62.8037	7.67E-02
69.4752	8.45E-02
73.2077	8.88E-02
77.6438	9.44E-02
83.4737	1.02E-01
88.7727	1.08E-01
94.1793	1.15E-01
98.3035	1.20E-01
103.1891	1.27E-01
108.153	1.32E-01
116.8414	1.43E-01
123.503	1.51E-01
130.2865	1.60E-01
136.417	1.67E-01

Observamos que, incluso cuando la diferencia de potencial es nula ( $V_A = 0$ ) hay paso de corriente. La intensidad de corriente que circula por el filamento dota a los electrones emitidos por efecto termoiónico de una energía cinética que les permite llegar hasta el ánodo sin necesidad de que exista una diferencia de potencial  $V_A$ .

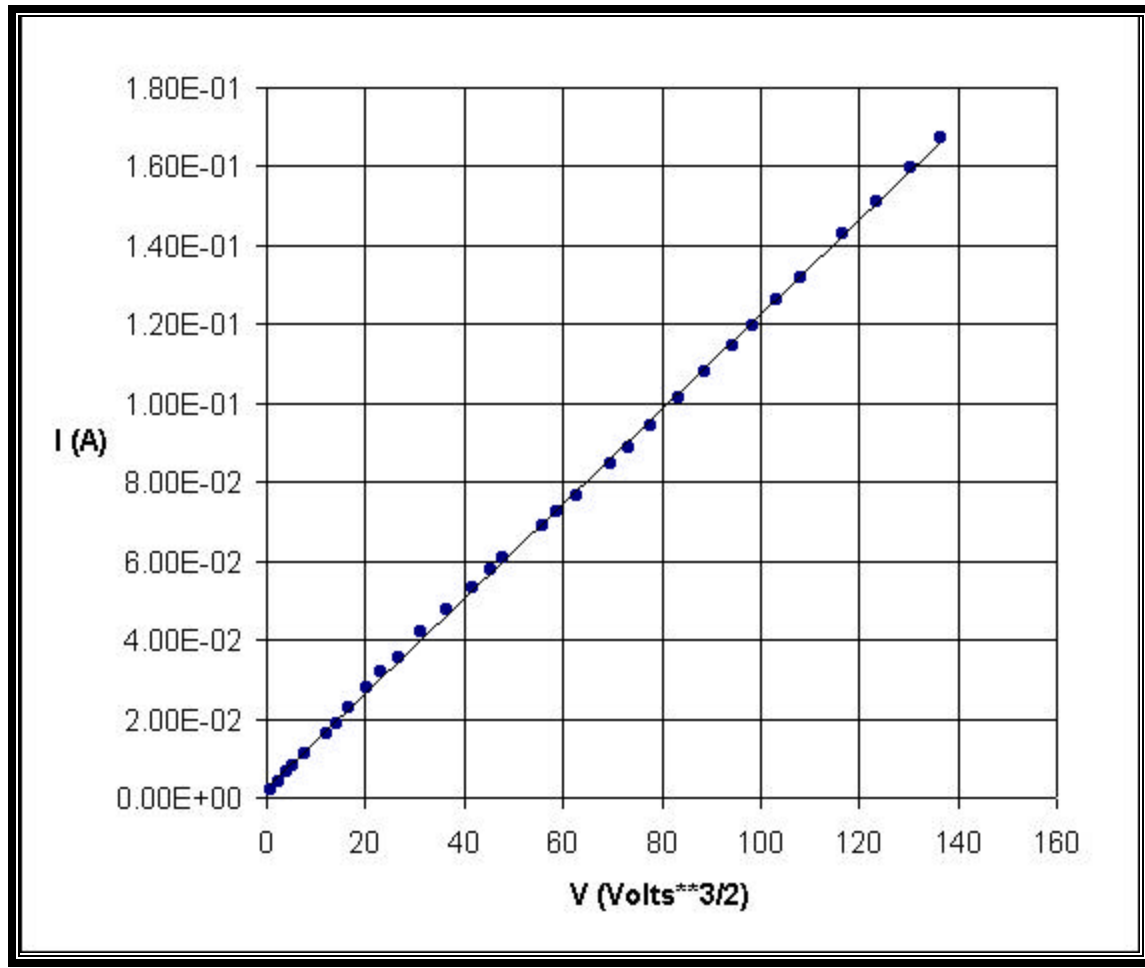


Figura 6; Intensidad de corriente del filamento  $I_F = 1.8$  ampere.

Resultado del ajuste por mínimos cuadrados, recta  $y = mx + n$  ;

$$m = 1.201361118E-3$$

$$n = 2.288000089E-3$$

$$e(m) = 2.283398438E-6$$

$$e(n) = 9.067503801E-4$$

$$r = 0.9997917058$$

$$(q/m) = 2.296730413E12 \text{ C/Kg}$$

Tabla 7,  $I_F = 2.0$  amperes;

$V_A(\text{volts}^{3/2})$	$I(\text{amperes})$
0	0.36E-03
1.4822	3.57E-03
3.2631	6.26E-03
4.6852	8.35E-03
7.7018	1.19E-02

9.8659	1.48E-02
12.8986	1.85E-02
16.1908	2.41E-02
20.9517	3.06E-02
23.912	3.44E-02
27.4512	3.86E-02
29.7445	4.16E-02
31.6227	4.40E-02
34.0238	4.65E-02
35.9865	4.86E-02
39.5081	5.26E-02
42.0899	5.58E-02
45.259	5.94E-02
50.7085	6.53E-02
52.9454	6.77E-02
56.9367	7.23E-02
62.8037	7.92E-02
66.4149	8.37E-02
69.4752	8.68E-02
77.0048	9.65E-02
80.2175	1.01E-01
84.1301	1.05E-01
88.7727	1.12E-01
93.4976	1.17E-01
99.6913	1.25E-01
109.5855	1.38E-01
112.4692	1.42E-01
119.0482	1.50E-01

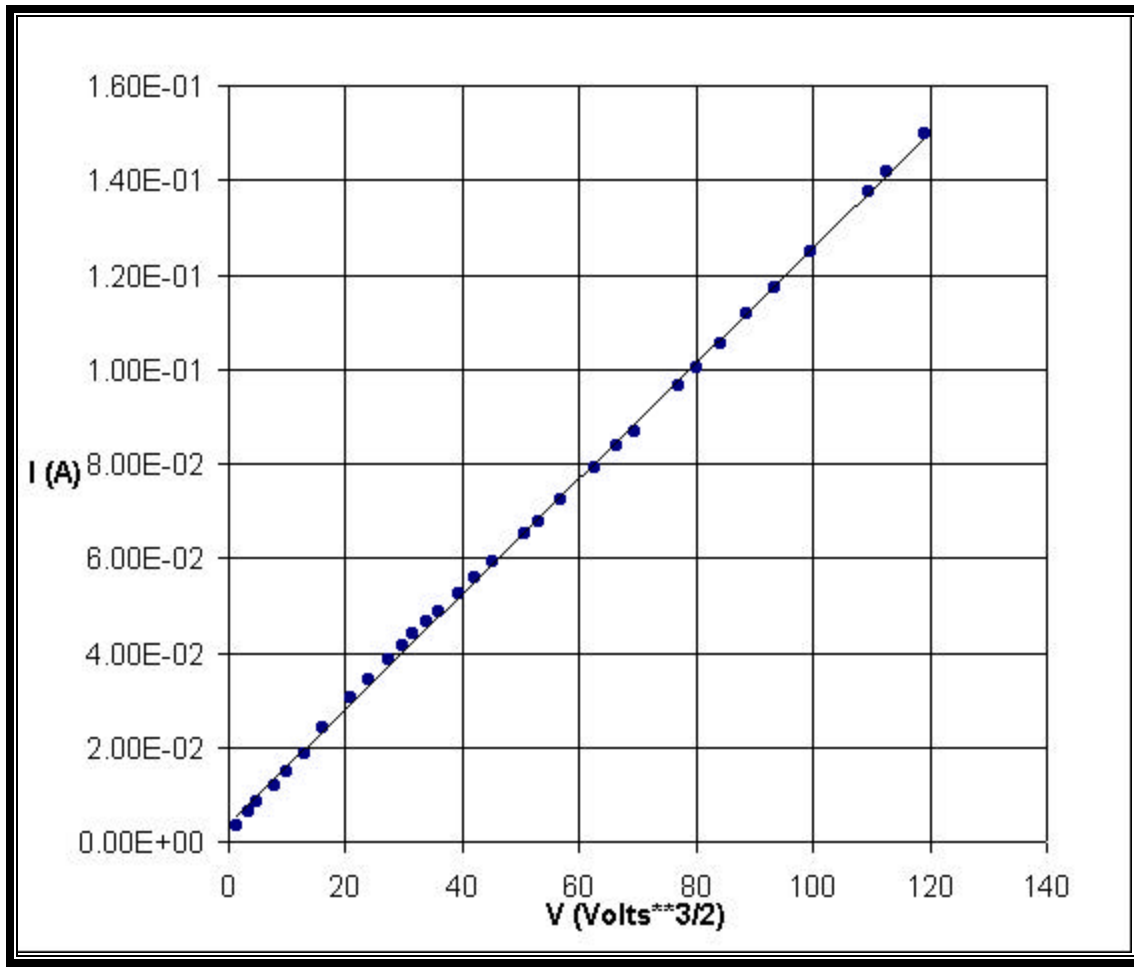


Figura 7; Intensidad de corriente del filamento  $I_F = 2.0$  ampere.

Resultado del ajuste por mínimos cuadrados, recta  $y = mx + n$  ;

$$m = 1.219412222E-3$$

$$n = 3.623494271E-3$$

$$e(m) = 2.667197519E-6$$

$$e(n) = 9.190616771E-4$$

$$r = 0.9996638489$$

$$(q/m) = 2.366267941E12 \text{ C/Kg}$$

## 2.2 Análisis.

A partir de los datos obtenidos en el apartado anterior y teniendo en cuenta la ecuación (9) hemos calculado la relación carga / masa del electrón. Esta relación no depende, a priori, de la intensidad de corriente que circule por el filamento.

Observamos que para intensidades de corriente que circulan por el filamento bajas, la relación entre la intensidad de corriente del diodo de vacío y  $V_A$  no es una línea recta (cuando  $I_F = 1.0$  amperes).

Por la ecuación (1) sabemos que la emisión termoiónica de electrones del filamento depende de la temperatura  $T$ .

Cuanto menor sea el valor de  $I_F$  menor será la temperatura del filamento y por tanto menor será la densidad de la nube electrónica a su alrededor. En el caso en que  $I_F = 1.0$  amperes observamos (Figura 1) el comportamiento de la grafica  $I - V_A$  se aleja de una línea recta. Si seguimos observando las representaciones graficas notamos que, a medida que la intensidad de corriente que circula por el filamento aumenta también aumenta la linealidad de la representación  $I - V_A$ , de tal forma que obtenemos correlaciones bastantes buenas a partir de  $I_F \geq 1.15$  amperes. Por tanto nuestra suposición inicial no era del todo correcta. A partir de los resultados experimentales podemos concluir que la intensidad de corriente que circule por el filamento, su temperatura  $T$ , son determinantes a la hora de calcular correctamente la relación carga / masa del electrón a partir de este montaje experimental.

Todo este razonamiento esta contenido en la ecuación (1). La temperatura (o la intensidad de corriente  $I_F$ ) tiene que ser la adecuada para que existan suficiente cantidad de electrones alrededor del cátodo, dando así validez a la ecuación (9), es decir, no podemos calcular correctamente la relación carga / masa del electrón con un diodo de vacío para cualquier  $I_F$ . A medida que aumenta  $I_F$ , mayor es la energía cinética inicial de los electrones al abandonar el filamento, por tanto, mayor es el error que cometemos al despreciar esta energía.

Mas tarde, cuando  $I_F \approx 1.8$  amperes observamos paso de corriente incluso cuando  $V_A$  es nulo. Esto es debido a la temperatura del filamento. Cuando la temperatura es suficientemente grande ( $I_F \approx 1.8$  amperes) los electrones poseen suficiente energía cinética para llegar al ánodo sin necesidad de una diferencia de potencial  $V_A$ .

La temperatura parece tener mucha mas importancia de lo que podríamos pensar en un primer momento. La ecuación (9) no tiene en cuenta la energía cinética inicial de los electrones al abandonar el filamento. La energía cinética de la partículas que forman la nube de electrones alrededor del filamento esta directamente relacionada con su temperatura.

Si observamos el resultado de calcular la relación carga / masa del electrón para distintas  $I_F$  podemos concluir que la temperatura es una factor determinante a la hora de calcular esta relación que la ecuación (9) no tiene en cuenta.

Por una parte, si la temperatura del filamento es demasiado pequeña, los electrones que se emiten por efecto termoiónico alcanzan un equilibrio dinámico con el cátodo que los mantiene ligeramente ligados al sistema cátodo / filamento. Esa es la razón de que la relación carga / masa del electrón que obtenemos para  $I_F$  pequeñas sea menor de lo esperado.

Por otra parte, si la temperatura del filamento es demasiado alta, los electrones no necesitan de una diferencia de potencial  $V_A$  para alcanzar el ánodo, la energía cinética inicial que obtienen al abandonar el filamento es suficientemente alta para que exista una intensidad de corriente entre cátodo y ánodo.

Por tanto, debemos elegir una  $I_F$  intermedia que nos permita evitar los efectos descritos debidos a la baja / alta temperatura del filamento. Para obtener un resultado mejor de la relación carga / masa del electrón debemos elegir el valor de  $I_F$  que nos permita aproximarnos mejor a su valor real.

Recordemos el valor de la relación carga / masa del electrón;

$$(q/m) = 1.758819196 \times 10^{-11} \text{ C/Kg}$$



Ese valor lo obtenemos cuando  $I_F = 1.15$  amperes.

$$(q/m) = 3.101562377_{E11} \text{ C/Kg}$$

Eso significa que el mejor intervalo para obtener la relación carga / masa del electrón con este montaje experimental es para  $I_F$  comprendidas entre  $1.1 \leq I_F \leq 1.2$  amperes.

Calculamos el error de esta magnitud como el error de la pendiente, ya que no conocemos los errores cometidos al medir las características geométricas del diodo de vacío.

Finalmente obtenemos que la relación carga / masa del electrón calculada experimentalmente es;

$$(q/m) = 3.101562377_{E11} \pm 7.44407741_{E7} \text{ C/Kg}$$

El resultado final es casi el doble del valor real y el error es demasiado pequeño para incluirlo. Pese a haber elegido el valor de  $I_F$  mas adecuado posible no he obtenido el valor de la relación carga / masa del electrón mas deseable.

Hay que notar que el error ha sido calculado a partir del error la pendiente sin tener en cuenta ningún otro tipo de error asociado al montaje experimental, por eso es tan pequeño. Una medida mas realista de los errores cometidos en el montaje experimental hubiese incluido el valor real de la relación carga / masa del electrón.

## 2. Medida del efecto magnetrón.

El efecto magnetrón consiste en el confinamiento magnético de un gas de partículas cargadas, en nuestro caso, electrones.

Mediremos el paso de corriente o intensidad  $I$  frente a el campo magnético  $\mathbf{b}$ , inicialmente con una intensidad  $I_F$  fija (intensidad de corriente que circula por el filamento) para distintos valores del  $V_A$  (diferencia de potencial entre ánodo y cátodo). Representaremos gráficamente la variación de la intensidad de la corriente  $I$  con la intensidad de corriente que circula por la bobina  $I_b$  creadora del campo magnético  $\mathbf{b}$ . Recordemos que esta dos magnitudes son directamente proporcionales;

$$\mathbf{b} = 12.0_{E-3} I_b \text{ (Tesla, si } I_b \text{ en amperes)} \quad (23)$$

Después utilizaremos la relación carga / masa del electrón calculada en el apartado anterior para determinar el campo critico  $\mathbf{b}$  para el cual el paso de corriente  $I$  es nulo y comprobaremos en la representación grafica  $I-I_b$  que el resultado es correcto. El campo magnético  $\mathbf{b}$  y  $q/m$  están relacionados por la ecuación (22);

$$q/m = a V_A / \mathbf{b}^2 \quad (22)$$

El factor de proporcionalidad depende de la geometría del diodo.

En este apartado también supondremos que la velocidad inicial de los electrones al abandonar el filamento debido al efecto termoiónico es despreciable.

## 2.1 Medidas.

Intensidad fija  $I_F = 1.5 \text{ amperes}$  para diferentes  $V_A$ ;

Tabla 1;  $V_A = 0.2 \text{ volts}$ ;

$I_B(\text{amperes})$	$I(\text{amperes})$
0	1.50E-05
0.27	1.49E-05
0.34	1.49E-05
0.41	1.48E-05
0.47	1.48E-05
0.52	1.47E-05
0.56	1.46E-05
0.66	1.39E-05
0.71	1.34E-05
0.76	1.28E-05
0.8	1.22E-05
0.86	1.12E-05
0.92	1.02E-05
0.99	8.99E-06
1.05	8.22E-06
1.11	7.54E-06
1.15	7.09E-06
1.2	6.65E-06
1.27	6.11E-06
1.31	5.76E-06
1.36	5.41E-06
1.42	5.09E-06
1.48	4.72E-06
1.58	4.25E-06
1.71	3.72E-06
1.79	3.46E-06
1.91	3.10E-06
2.02	2.83E-06
2.12	2.64E-06
2.29	2.39E-06
2.36	2.29E-06
2.54	2.06E-06
2.68	1.90E-06
2.8	1.77E-06
2.94	1.63E-06
3.1	1.47E-06
3.32	1.27E-06
3.69	9.70E-07

3.85	8.60E-07
4.02	7.50E-07
4.22	6.40E-07
4.39	5.60E-07
4.75	4.30E-07
5.01	3.60E-07
5.2	3.10E-07

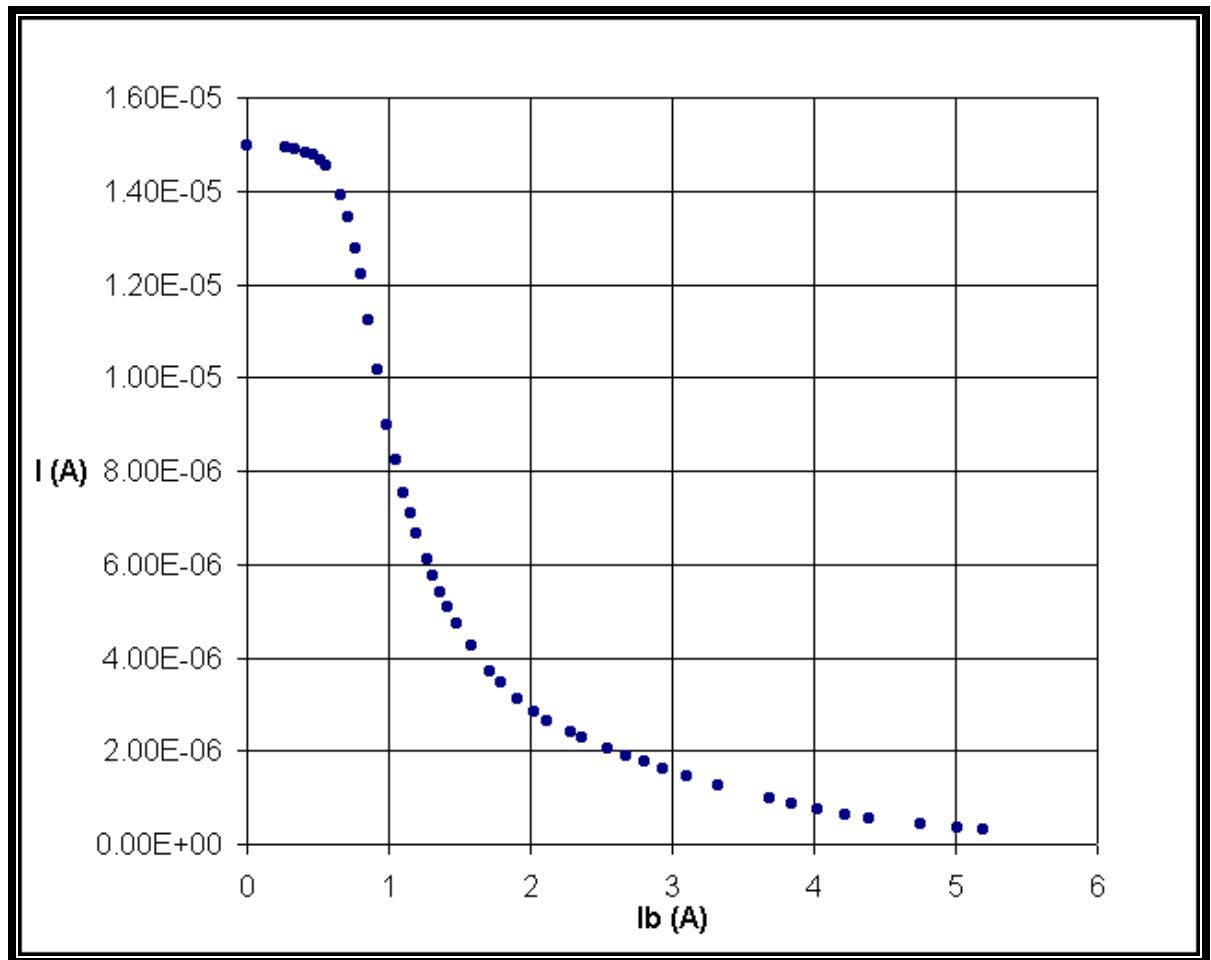


Figura 1;  $V_A = 0.2$  volts para una  $I_F$  fija.

Nuestro objetivo es calcular el campo  $b$  crítico para el cual la  $I$  de corriente es nula. Vemos que se no se trata de una relación lineal, así que no podemos hacer un ajuste por mínimos cuadrados. La curva no corta al eje  $x$  en un punto determinado. A medida que aumentamos el valor de  $I_b$  la intensidad de corriente  $I$  es mas y mas pequeña.

Esta curva descendente se parece mucho a una exponencial decreciente, sobre todo cuando nos acercamos a cero.

Ajustaremos estas curvas  $I-I_b$  a curvas exponenciales para tener una relación que nos permita comprobar cual es el valor de la  $I$  en función del campo magnético aplicado y estimaremos el valor del campo crítico  $b$  a partir de la relación carga / masa del electrón.

En este primer caso obtenemos que;

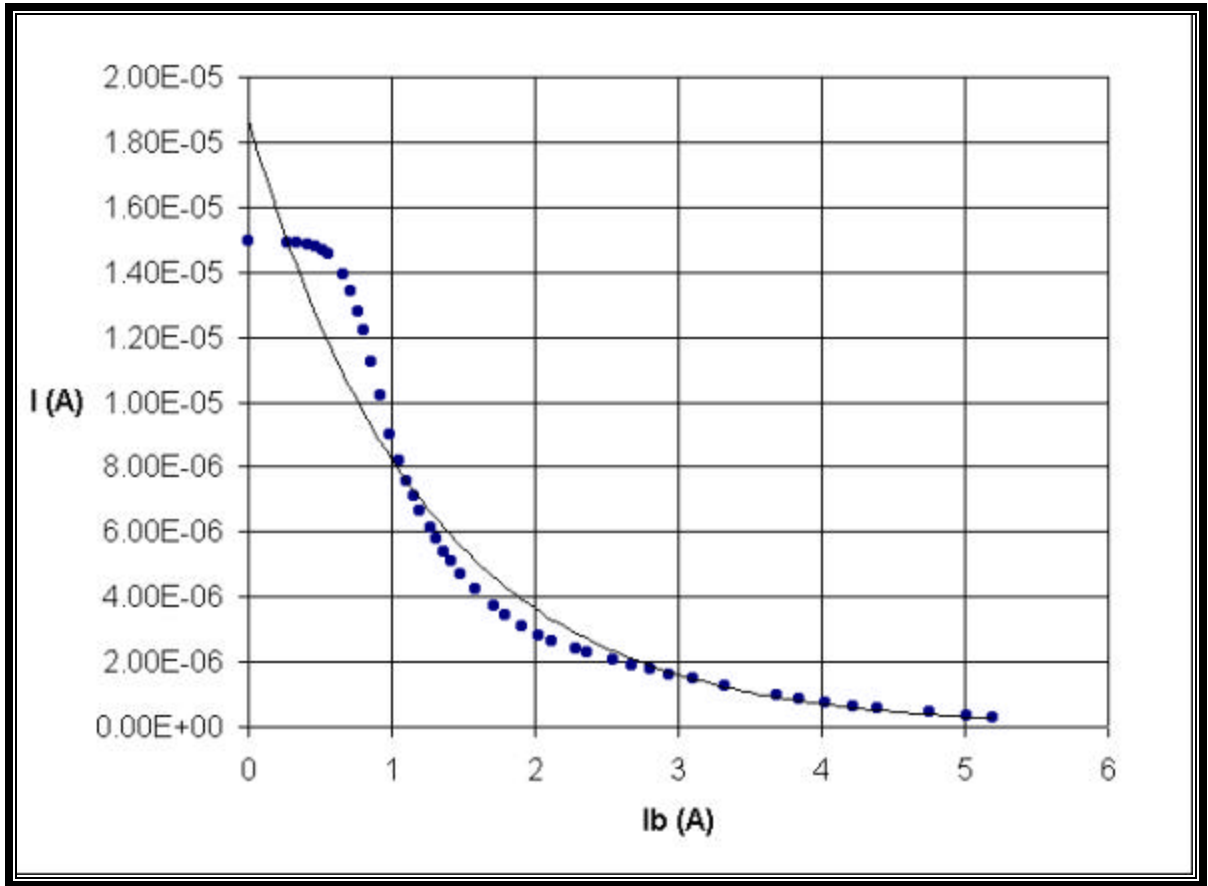


Figura 2;  $V_A = 0.2$  volts para una  $I_F$  fija ajustada mediante una exponencial.

A simple vista podemos comprobar que el resultado se ajusta bastante mejor a medida que aumenta el valor del campo magnético y disminuye la intensidad de corriente  $I$ , es decir, en la zona que mas nos interesa conocer la magnitud de  $\mathbf{b}$ .

Resultado del ajuste a una exponencial del tipo  $y = a \exp(bx)$ ;

$$a = 2.0E-5$$

$$b = -0.8178$$

$$r = 0.991463$$

$$\mathbf{b} = 2.220043E-3 \text{ Teslas } \mathbf{P} I_B = 0.1850036 \text{ amperes.}$$

Tabla 2;  $V_A = 1.0$  volts;

$I_B(\text{amperes})$	$I(\text{amperes})$
0	1.19E-03
0.61	1.18E-03
0.73	1.14E-03
0.79	1.11E-03
0.84	1.07E-03

0.9	9.63E-04
0.94	8.91E-04
0.97	8.19E-04
1.01	7.43E-04
1.06	6.46E-04
1.11	5.68E-04
1.14	5.24E-04
1.17	4.89E-04
1.2	4.49E-04
1.24	4.10E-04
1.27	3.80E-04
1.31	3.53E-04
1.34	3.25E-04
1.37	3.09E-04
1.41	2.83E-04
1.46	2.56E-04
1.51	2.34E-04
1.56	2.09E-04
1.61	1.90E-04
1.65	1.76E-04
1.71	1.59E-04
1.76	1.45E-04
1.8	1.33E-04
1.85	1.21E-04
1.89	1.13E-04
1.94	1.04E-04
1.99	9.60E-05
2.04	8.80E-05
2.11	7.90E-05
2.22	6.70E-05
2.33	5.80E-05
2.44	5.20E-05
2.57	4.60E-05
2.73	4.00E-05
2.87	3.60E-05
3.02	3.20E-05
3.19	2.80E-05
3.27	2.70E-05
3.39	2.50E-05
3.59	2.20E-05
3.87	1.90E-05
4.11	1.70E-05
4.23	1.60E-05
4.48	1.40E-05
4.76	1.30E-05
5.02	1.10E-05
5.2	1.10E-05

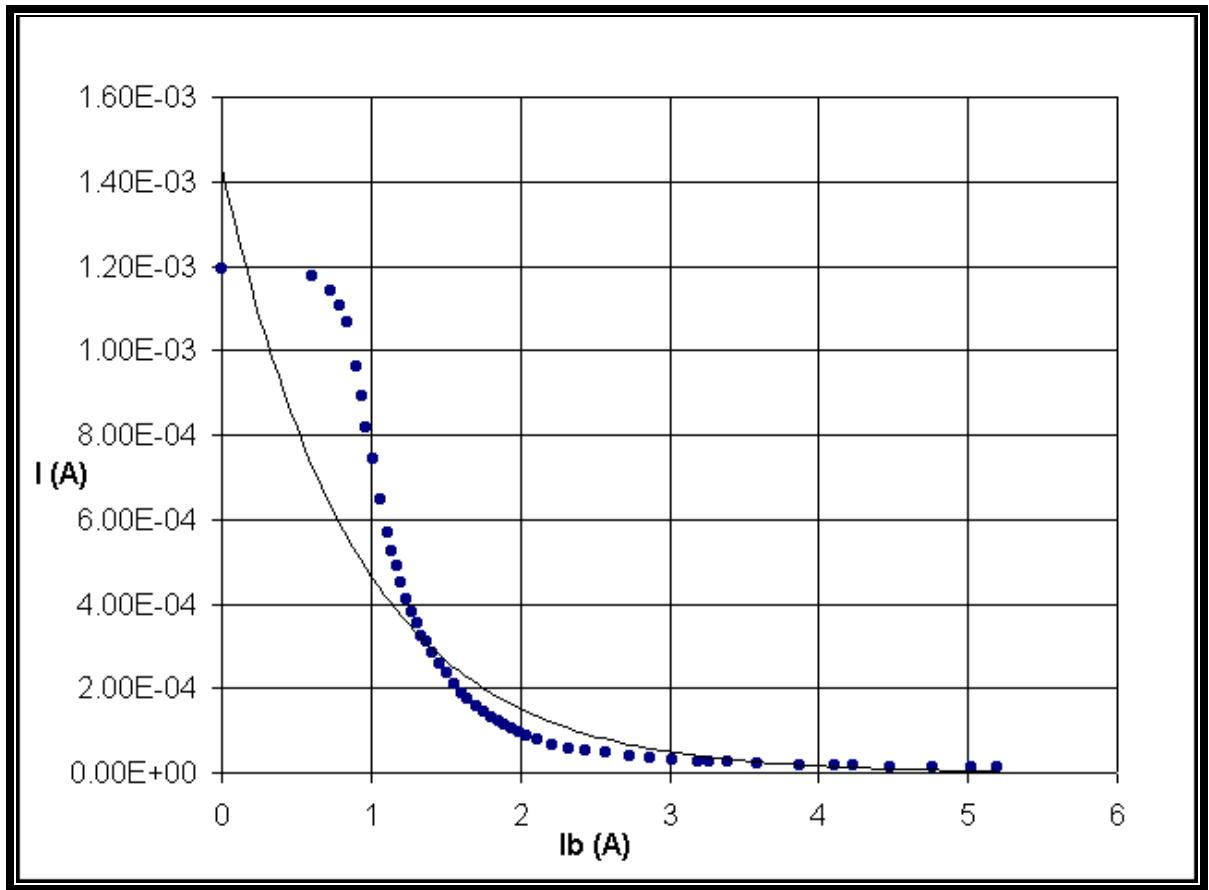


Figura 3;  $V_A = 1.0$  volts para una  $I_F$  fija ajustada mediante una exponencial.

Resultado del ajuste a una exponencial del tipo  $y = a \exp(bx)$ ;

$$a = 1.4_E-3$$

$$b = -1.1228$$

$$r = 0.956085$$

$$\mathbf{b} = 4.964351288_E-3 \text{ Teslas } \mathbf{P} I_B = 0.4136959406 \text{ amperes.}$$

Tabla 3;  $V_A = 2.0$  volts;

$I_B(\text{amperes})$	$I(\text{amperes})$
0	3.89E-03
0.42	3.88E-03
0.58	3.87E-03
0.67	3.85E-03
0.72	3.83E-03
0.77	3.80E-03
0.8	3.78E-03
0.82	3.77E-03
0.85	3.74E-03
0.86	3.72E-03

0.88	3.71E-03
0.91	3.66E-03
0.94	3.64E-03
0.95	3.61E-03
0.98	3.56E-03
1	3.52E-03
1.05	3.42E-03
1.09	3.26E-03
1.14	2.99E-03
1.21	2.53E-03
1.26	2.22E-03
1.28	2.09E-03
1.3	1.98E-03
1.33	1.86E-03
1.37	1.67E-03
1.4	1.55E-03
1.45	1.35E-03
1.49	1.22E-03
1.52	1.13E-03
1.55	1.06E-03
1.59	9.60E-04
1.63	8.80E-04
1.66	8.40E-04
1.7	7.70E-04
1.73	7.20E-04
1.76	6.90E-04
1.8	6.40E-04
1.83	6.00E-04
1.88	5.50E-04
1.92	5.20E-04
1.94	5.00E-04
1.96	4.70E-04
2	4.40E-04
2.04	4.20E-04
2.06	4.00E-04
2.09	3.80E-04
2.13	3.60E-04
2.18	3.30E-04
2.23	3.00E-04
2.29	2.70E-04
2.34	2.50E-04
2.4	2.30E-04
2.45	2.20E-04
2.52	2.00E-04
2.62	1.70E-04
2.77	1.50E-04
2.89	1.30E-04
3.08	1.10E-04
3.26	9.00E-05

3.47	8.00E-05
3.64	7.00E-05
3.81	6.00E-05
4.14	5.60E-05
4.54	4.80E-05
5.05	3.70E-05
5.2	3.40E-05

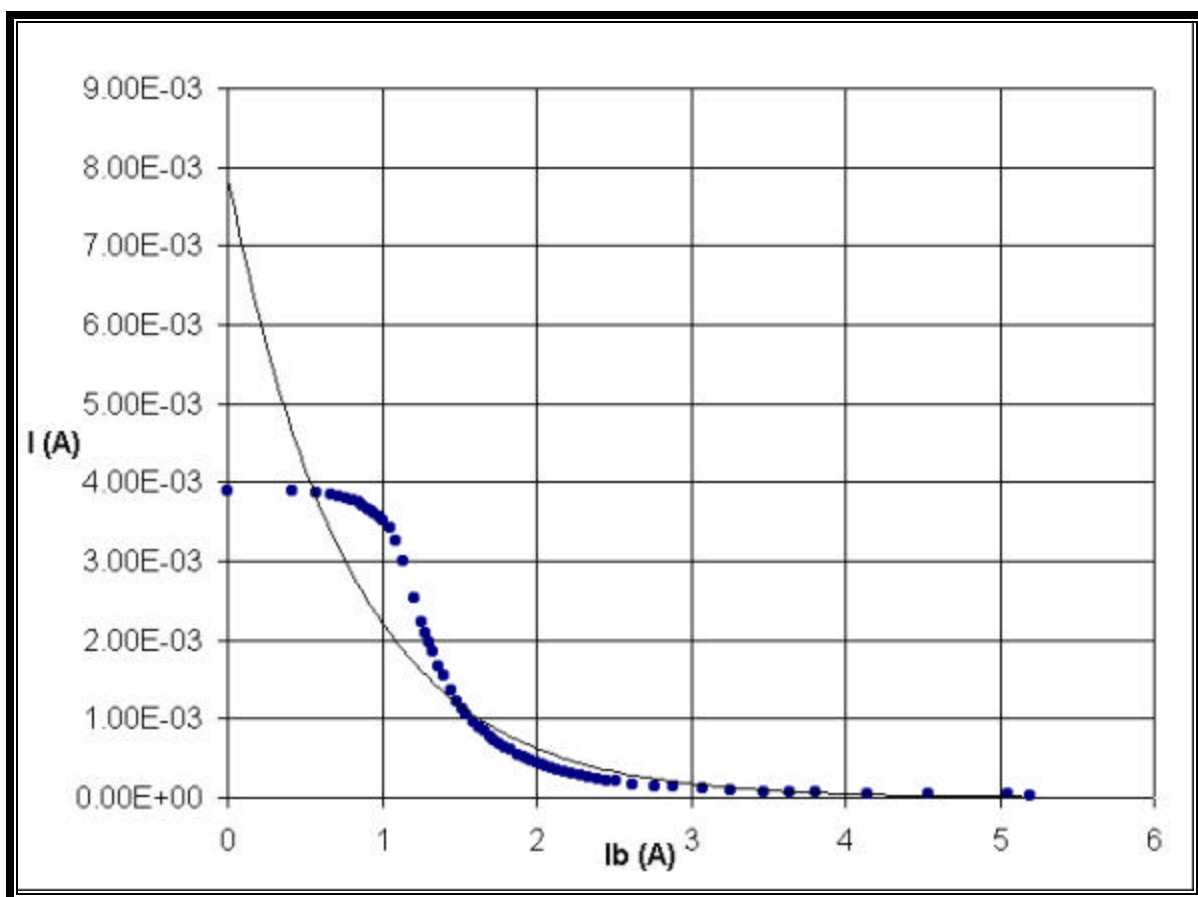


Figura 4;  $V_A = 2.0$  volts para una  $I_F$  fija ajustada mediante una exponencial.

Resultado del ajuste a una exponencial del tipo  $y = a \exp(bx)$ ;

$$a = 7.9_{E-3}$$

$$b = -1.267$$

$$r = 0.961249$$

$$\mathbf{b} = 7.020393294_{E-3} \text{ Teslas } \mathbf{P} I_B = 0.5850327745 \text{ amperes.}$$

Tabla 4;  $V_A = 4.0$  volts;



$I_B(\text{amperes})$	$I(\text{amperes})$
0	1.00E-02
0.58	9.99E-03
0.71	9.97E-03
0.78	9.94E-03
0.83	9.92E-03
0.87	9.89E-03
0.91	9.85E-03
0.94	9.82E-03
0.97	9.78E-03
1.01	9.73E-03
1.05	9.66E-03
1.09	9.57E-03
1.14	9.47E-03
1.17	9.39E-03
1.21	9.27E-03
1.25	9.17E-03
1.29	8.98E-03
1.32	8.85E-03
1.35	8.69E-03
1.37	8.54E-03
1.4	8.19E-03
1.43	7.85E-03
1.46	7.35E-03
1.49	6.76E-03
1.52	6.27E-03
1.57	5.68E-03
1.59	5.45E-03
1.62	5.05E-03
1.67	4.55E-03
1.72	4.11E-03
1.75	3.82E-03
1.78	3.57E-03
1.81	3.30E-03
1.83	3.10E-03
1.86	2.93E-03
1.89	2.76E-03
1.91	2.62E-03
1.95	2.42E-03
1.98	2.28E-03
2.02	2.11E-03
2.05	1.99E-03
2.09	1.83E-03
2.12	1.76E-03
2.15	1.67E-03
2.17	1.60E-03
2.19	1.54E-03
2.23	1.46E-03

2.26	1.39E-03
2.31	1.27E-03
2.35	1.19E-03
2.39	1.12E-03
2.42	1.07E-03
2.47	9.80E-04
2.5	9.40E-04
2.58	8.30E-04
2.64	7.60E-04
2.68	7.20E-04
2.73	6.70E-04
2.81	6.00E-04
2.91	5.30E-04
3.02	4.30E-04
3.32	3.50E-04
3.72	2.50E-04
4.24	1.70E-04
4.54	1.40E-04
4.99	1.10E-04
5.2	1.10E-04

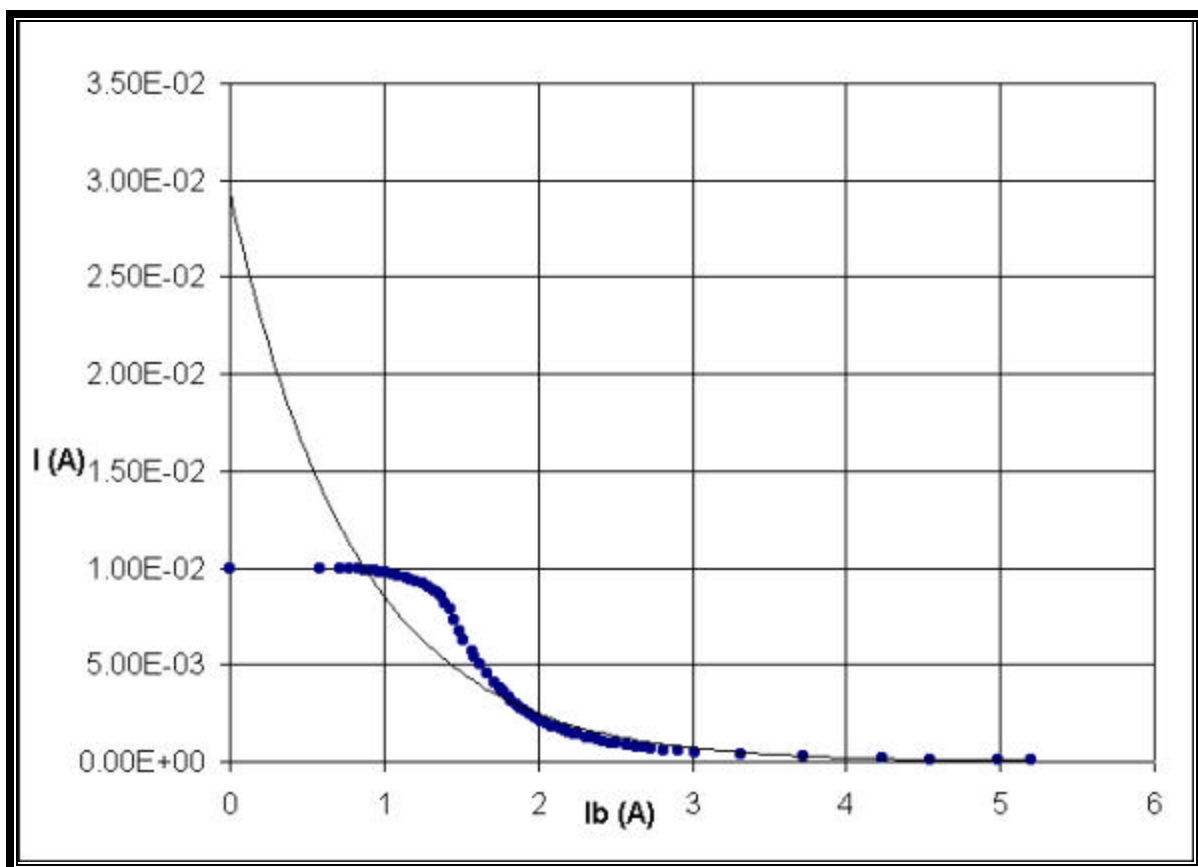


Figura 5;  $V_A = 4.0$  volts para una  $I_F$  fija ajustada mediante una exponencial.

Resultado del ajuste a una exponencial del tipo  $y = a \exp (bx)$ ;

$$a = 2.94_{E-2}$$

$$b = -1.2383$$

$$r = 0.9654014$$

$$\mathbf{b} = 9.92833541_{E-3} \text{ Teslas } \mathbf{P} I_B = 0.8273612841 \text{ amperes.}$$

Tabla 5;  $V_A = 6.0$  volts;

$I_B(\text{amperes})$	$I(\text{amperes})$
0	1.79E-02
0.67	1.79E-02
0.76	1.79E-02
0.82	1.79E-02
0.87	1.78E-02
0.91	1.78E-02
0.95	1.78E-02
1.01	1.77E-02
1.05	1.77E-02
1.08	1.76E-02
1.12	1.76E-02
1.16	1.75E-02
1.19	1.74E-02
1.23	1.74E-02
1.27	1.72E-02
1.32	1.71E-02
1.37	1.69E-02
1.41	1.67E-02
1.45	1.65E-02
1.5	1.63E-02
1.54	1.60E-02
1.6	1.55E-02
1.67	1.39E-02
1.72	1.27E-02
1.74	1.20E-02
1.78	1.10E-02
1.83	1.00E-02
1.88	8.97E-03
1.94	7.99E-03
1.98	7.36E-03
2.04	6.60E-03
2.09	5.98E-03
2.12	5.42E-03
2.17	4.85E-03
2.22	4.35E-03
2.27	3.97E-03
2.33	3.49E-03
2.38	3.19E-03

2.43	2.92E-03
2.47	2.73E-03
2.53	2.49E-03
2.57	2.35E-03
2.61	2.21E-03
2.65	2.08E-03
2.69	1.95E-03
2.75	1.78E-03
2.79	1.68E-03
2.86	1.52E-03
2.93	1.36E-03
2.99	1.27E-03
3.05	1.17E-03
3.11	1.09E-03
3.16	1.02E-03
3.21	9.60E-04
3.28	8.80E-04
3.35	8.20E-04
3.42	7.60E-04
3.49	7.00E-04
3.55	6.60E-04
3.59	6.40E-04
3.66	6.00E-04
3.8	5.40E-04
3.9	4.90E-04
4.01	4.50E-04
4.09	4.30E-04
4.3	3.70E-04
4.83	2.60E-04
5.18	2.20E-04

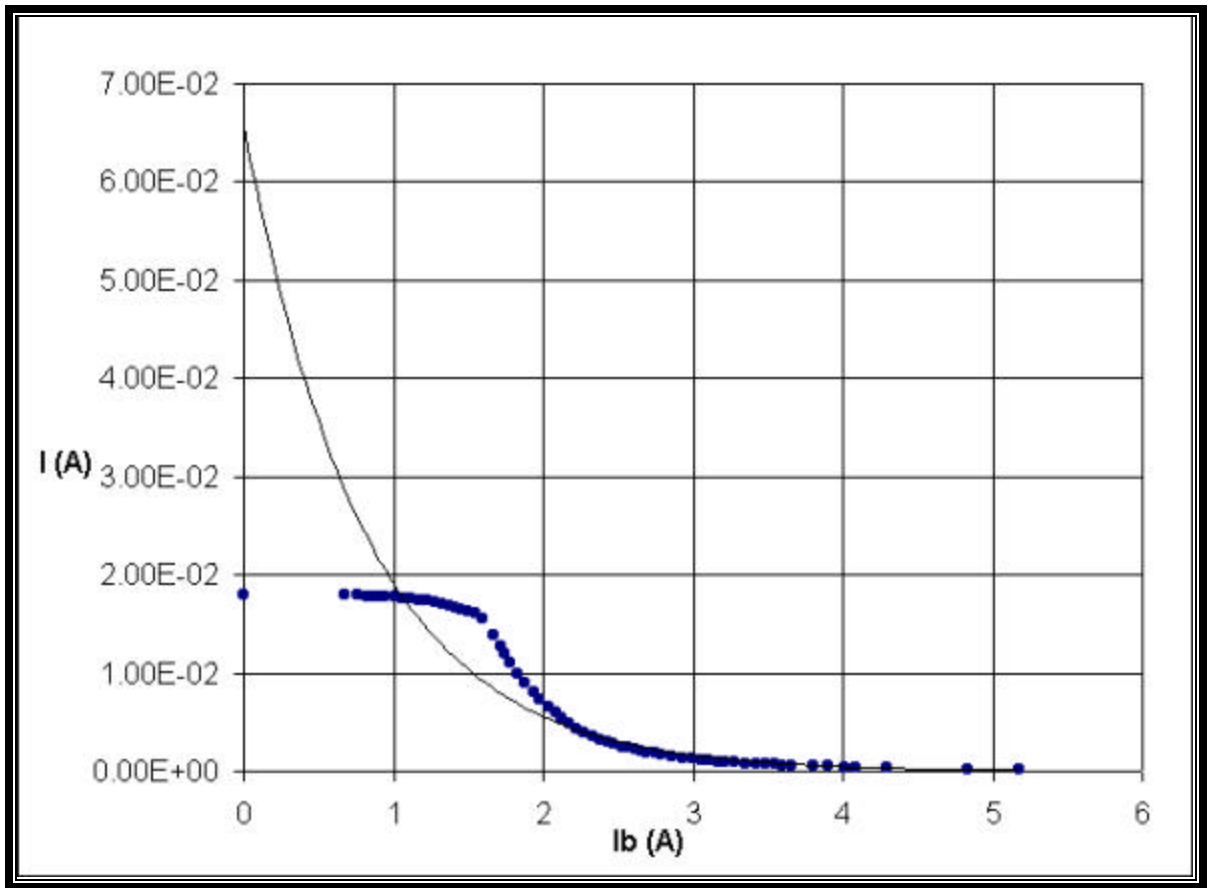


Figura 6;  $V_A = 6.0$  volts para una  $I_F$  fija ajustada mediante una exponencial.

Resultado del ajuste a una exponencial del tipo  $y = a \exp(bx)$ ;

$$a = 6.59E-2$$

$$b = -1.2338$$

$$r = 0.9735502$$

$$\mathbf{b} = 0.01215967787 \text{ Teslas } \mathbf{P} I_B = 1.01330649 \text{ amperes.}$$

Tabla 6;  $V_A = 9.0$  volts;

$I_B(\text{amperes})$	$I(\text{amperes})$
0	3.35E-02
0.77	3.34E-02
0.92	3.33E-02
0.98	3.32E-02
1.06	3.31E-02
1.16	3.29E-02
1.25	3.27E-02
1.32	3.25E-02
1.38	3.23E-02
1.46	3.19E-02

1.54	3.15E-02
1.65	3.08E-02
1.73	3.02E-02
1.78	2.98E-02
1.83	2.91E-02
1.88	2.85E-02
1.93	2.70E-02
1.99	2.41E-02
2.01	2.29E-02
2.07	2.04E-02
2.12	1.80E-02
2.18	1.63E-02
2.22	1.50E-02
2.29	1.31E-02
2.34	1.19E-02
2.43	1.00E-02
2.49	8.44E-03
2.56	7.23E-03
2.61	6.64E-03
2.66	5.98E-03
2.72	5.39E-03
2.8	4.69E-03
2.86	4.25E-03
2.95	3.72E-03
3	3.45E-03
3.15	2.80E-03
3.23	2.52E-03
3.31	2.27E-03
3.43	1.95E-03
3.52	1.75E-03
3.58	1.64E-03
3.61	1.58E-03
3.66	1.48E-03
3.74	1.36E-03
3.83	1.25E-03
3.89	1.18E-03
4.01	1.06E-03
4.08	1.00E-03
4.21	8.90E-04
4.32	8.20E-04
4.44	7.40E-04
4.51	7.00E-04
4.56	6.80E-04
4.64	6.40E-04
4.75	5.90E-04
4.85	5.50E-04
4.93	5.20E-04
5.03	4.90E-04
5.15	4.60E-04

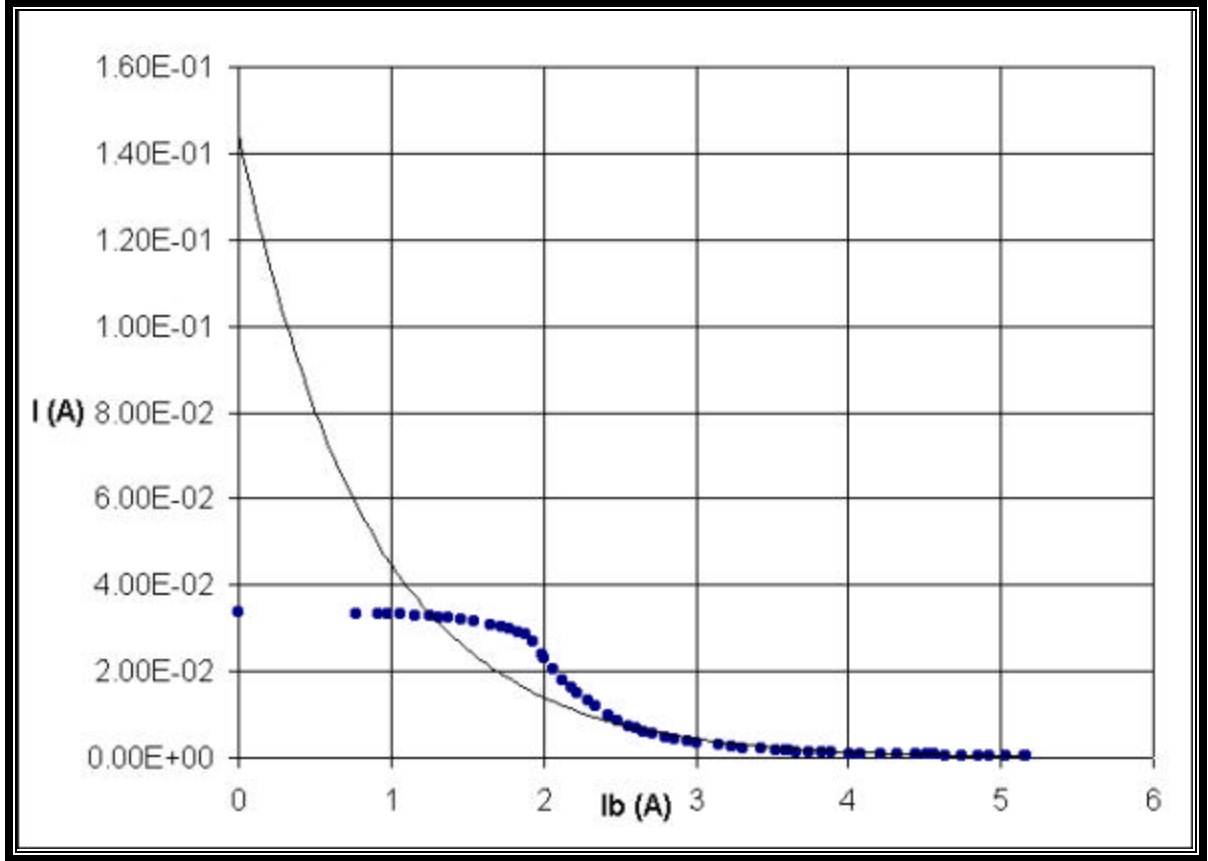


Figura 7;  $V_A = 9.0$  volts para una  $I_F$  fija ajustada mediante una exponencial.

Resultado del ajuste a una exponencial del tipo  $y = a \exp(bx)$ ;

$$a = 0.1447$$

$$b = -1.1699$$

$$r = 0.97432$$

$$\mathbf{b} = 0.01489250311 \text{ Teslas } \mathbf{P} I_B = 1.241041926 \text{ amperes.}$$

Tabla 7;  $V_A = 16.0$  volts;

$I_B(\text{amperes})$	$I(\text{amperes})$
0	7.26E-02
0.52	7.27E-02
0.68	7.28E-02
0.8	7.29E-02
0.91	7.31E-02
1.02	7.32E-02
1.09	7.32E-02
1.2	7.33E-02

1.33	7.31E-02
1.4	7.30E-02
1.5	7.27E-02
1.59	7.24E-02
1.68	7.19E-02
1.76	7.14E-02
1.82	7.09E-02
1.88	7.04E-02
1.94	6.99E-02
2	6.93E-02
2.05	6.88E-02
2.1	6.81E-02
2.17	6.71E-02
2.23	6.61E-02
2.29	6.49E-02
2.36	6.31E-02
2.43	5.90E-02
2.48	5.40E-02
2.55	4.74E-02
2.64	3.97E-02
2.71	3.48E-02
2.8	3.01E-02
2.87	2.64E-02
2.97	2.25E-02
3.03	2.00E-02
3.09	1.78E-02
3.16	1.57E-02
3.22	1.36E-02
3.3	1.19E-02
3.38	1.03E-02
3.49	8.56E-03
3.57	7.63E-03
3.66	6.77E-03
3.75	6.03E-03
3.87	5.19E-03
3.98	4.59E-03
4.06	4.18E-03
4.14	3.81E-03
4.22	3.49E-03
4.29	3.26E-03
4.41	2.88E-03
4.55	2.50E-03
4.66	2.26E-03
4.76	2.08E-03
4.89	1.86E-03
5	1.70E-03
5.13	1.54E-03



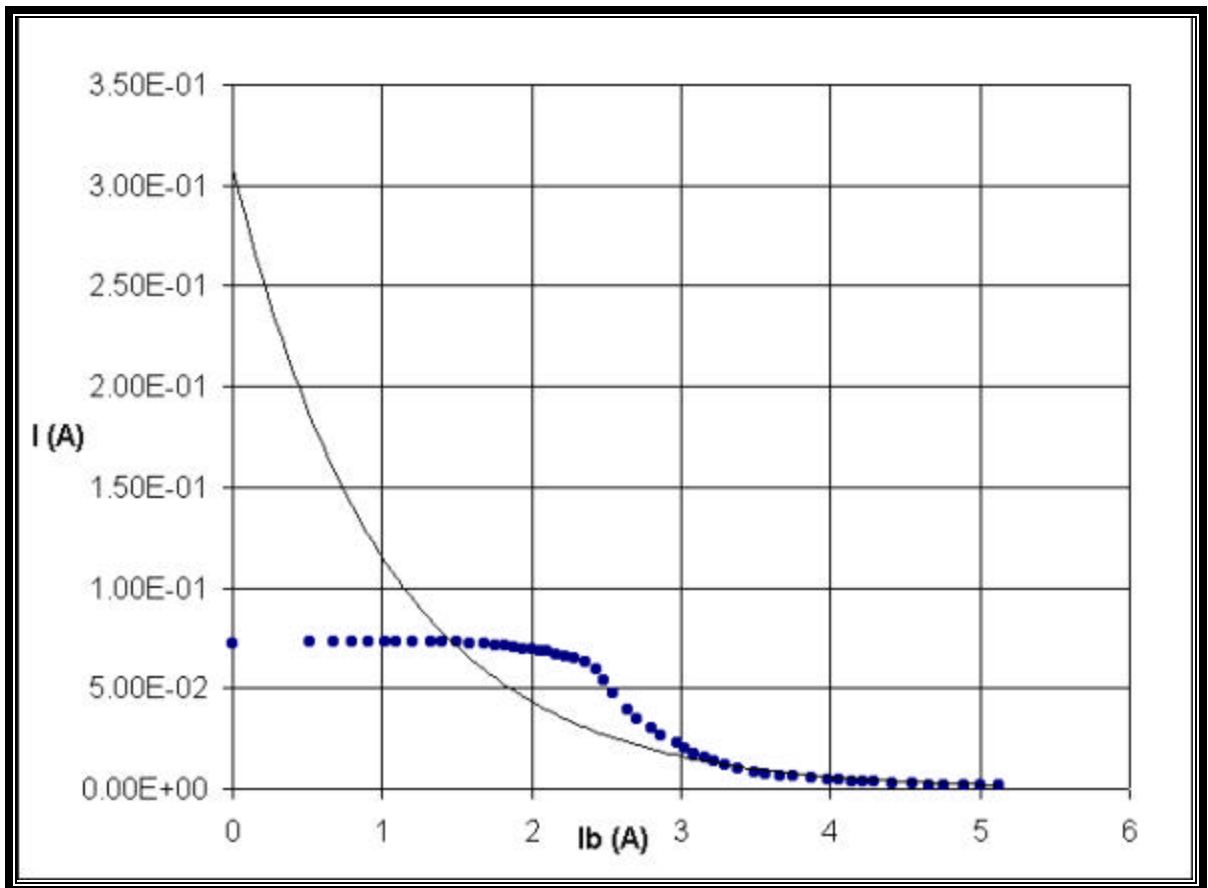


Figura 8;  $V_A = 16.0$  volts para una  $I_F$  fija ajustada mediante una exponencial.

Resultado del ajuste a una exponencial del tipo  $y = a \exp(bx)$ ;

$$a = 0.3089$$

$$b = -0.9825$$

$$r = 0.938562$$

$$\mathbf{b} = 0.01985667082 \text{ Teslas } \mathbf{P} I_B = 1.654722568 \text{ amperes.}$$

Ahora mantendremos fija la diferencia de potencial  $V_A = 12.0$  volts y lo que variaremos será la intensidad de corriente que circula por el filamento  $I_F$ .

Tabla 8;  $I_F = 2.0$  amperes;

$I_B$ (amperes)	$I$ (amperes)
0	5.52E-02
0.81	5.54E-02

1.04	5.53E-02
1.14	5.52E-02
1.21	5.50E-02
1.29	5.47E-02
1.42	5.42E-02
1.5	5.38E-02
1.56	5.33E-02
1.66	5.25E-02
1.79	5.11E-02
1.91	4.95E-02
2.03	4.72E-02
2.13	4.12E-02
2.23	3.31E-02
2.31	2.77E-02
2.4	2.35E-02
2.47	2.02E-02
2.56	1.72E-02
2.64	1.45E-02
2.74	1.12E-02
2.85	8.43E-03
2.97	6.49E-03
3.07	5.48E-03
3.18	4.50E-03
3.34	3.40E-03
3.51	2.70E-03
3.68	2.10E-03
3.8	1.80E-03
3.9	1.60E-03
4.05	1.30E-03
4.19	1.10E-03
4.31	1.00E-03
4.45	8.00E-04
4.67	7.00E-04
4.92	5.00E-04
5.2	4.00E-04

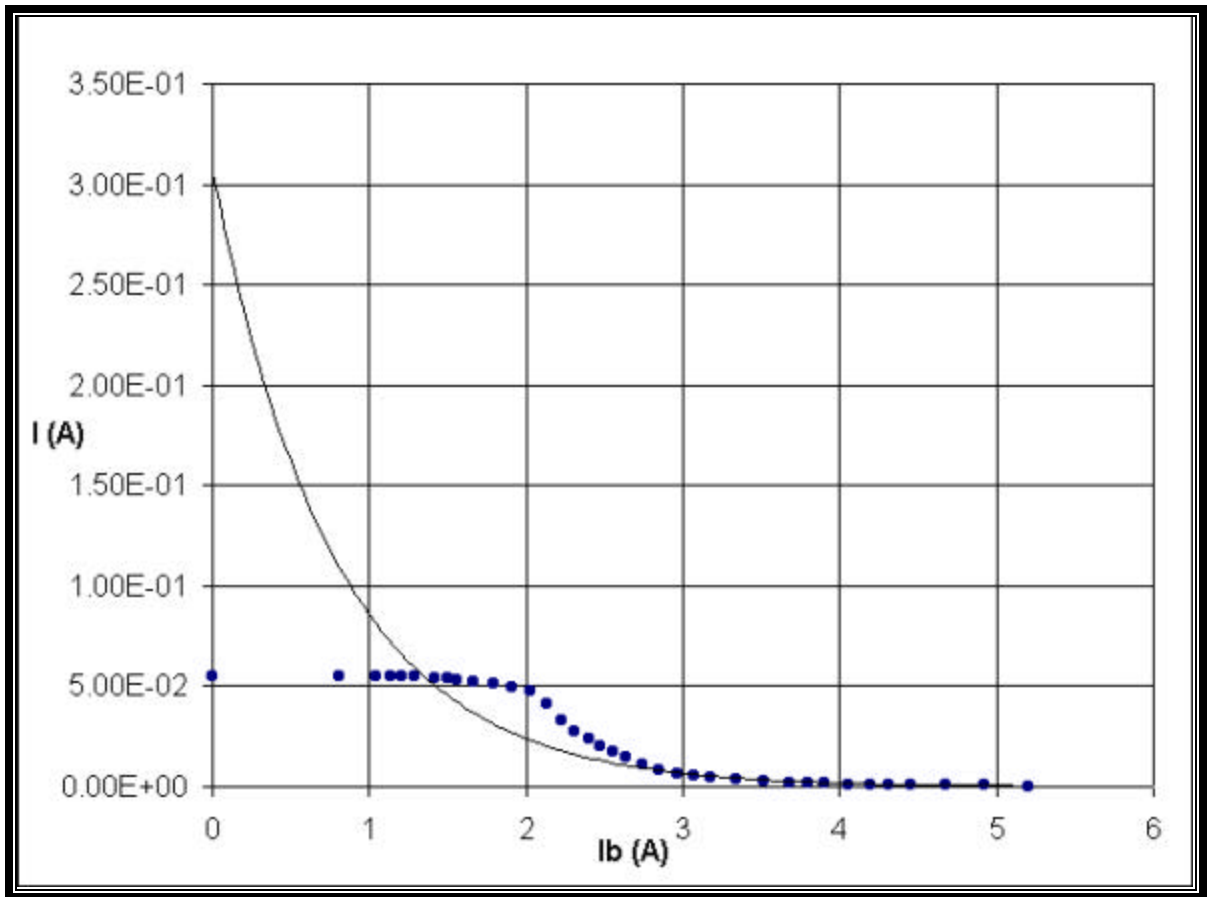


Figura 9;  $I_F = 2.0$  amperes para una  $V_A$  fija ajustada mediante una exponencial.

Resultado del ajuste a una exponencial del tipo  $y = a \exp(bx)$ ;

$$a = 0.3061$$

$$b = -1.2745$$

$$r = 0.961977$$

$$\mathbf{b} = 0.04719638136 \text{ Teslas } \mathbf{P} I_B = 1.43303178 \text{ amperes.}$$

Tabla 9;  $I_F = 1.0$  amperes;

$I_B(\text{amperes})$	$I(\text{amperes})$
0	2.21E-02
0.38	2.14E-02
0.53	2.11E-02
0.87	2.10E-02
0.98	2.08E-02
1.15	2.07E-02
1.41	2.06E-02
1.7	2.04E-02
2	2.02E-02

2.17	1.88E-02
2.37	1.33E-02
2.56	9.10E-03
2.78	5.90E-03
2.89	4.90E-03
3.06	3.80E-03
3.22	3.20E-03
3.45	2.60E-03
3.69	2.10E-03
3.91	1.80E-03
4.17	1.50E-03
4.49	1.20E-03
4.68	1.00E-03
4.94	9.00E-05
5.19	7.00E-05

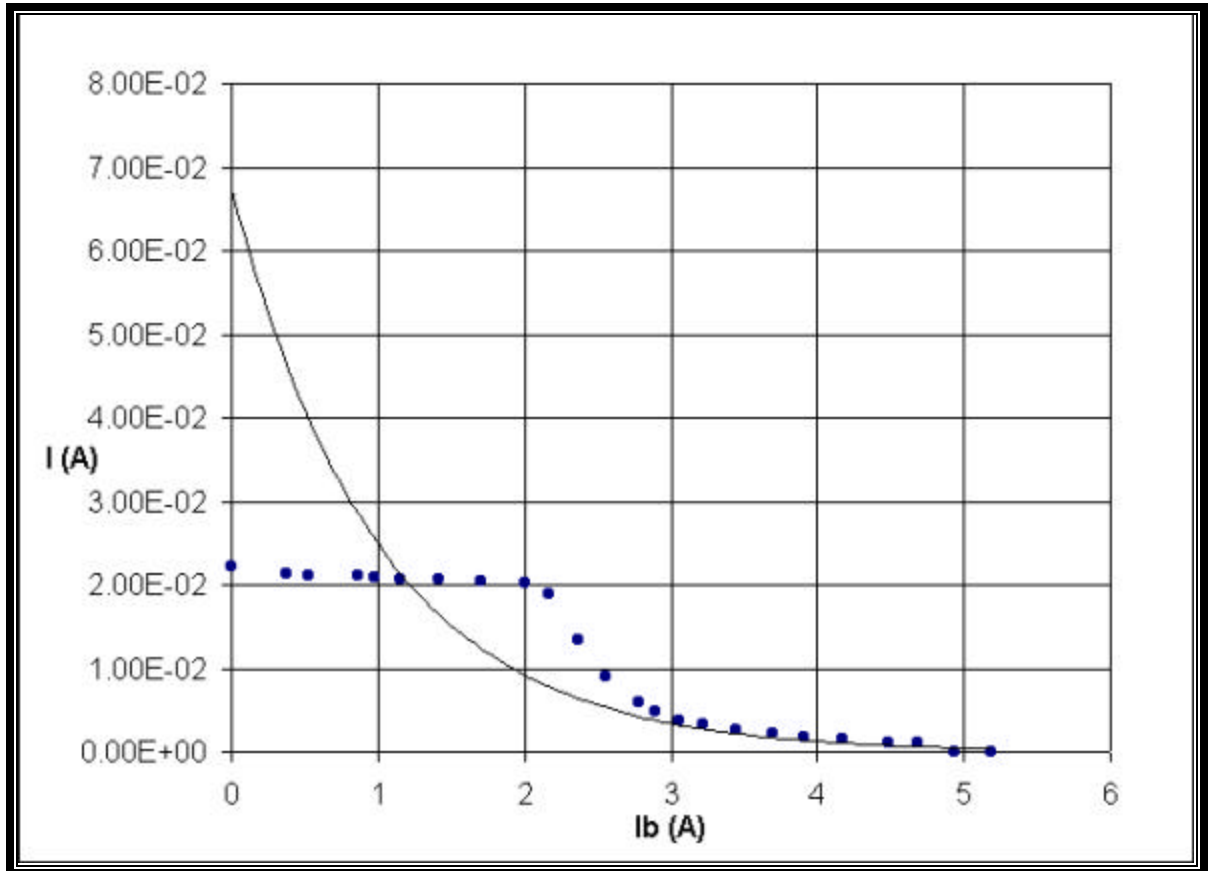


Figura 10;  $I_F = 1.0$  amperes para una  $V_A$  fija ajustada mediante una exponencial.

Resultado del ajuste a una exponencial del tipo  $y = a \exp (bx)$ ;

$$a = 6.7E-2$$

$$b = -0.9951$$

$$r = 0.905704$$

$$\mathbf{b} = 0.04719638136 \text{ Teslas } \mathbf{I}_B = 1.43303178 \text{ amperes.}$$

## 2.2 Análisis.

En un principio, esta relación nos permite determinar el campo critico  $\mathbf{b}$  para el cual se produce el efecto magnetrón, pero a la vista de las representaciones graficas esto no es posible. Una exponencial decreciente siempre es mayor o igual que cero, por tanto la única forma de que la intensidad de corriente sea nula es si la constante de proporcionalidad también lo es.

Evidentemente esto no ocurre.

Tenemos tomar otra dirección para comprobar que nuestros datos experimentales concuerdan con la teoría.

A partir de la relación carga / masa del electrón calculada en el apartado 1.2 calculamos el campo critico  $\mathbf{b}$ , claro que la intensidad de corriente en ese punto no será cero, pero estará muy próxima a cero.

En todos los casos obtenemos un valor de  $\mathbf{b}$  para el cual  $I$  es muy pequeña, pero existen muchos valores de campo magnético que cumplen esta condición.

Estudiando las graficas detenidamente observamos que esa intensidad  $I_B$ , para la cual calculamos el campo critico  $\mathbf{b}$ , que obtenemos a partir de la relación carga / masa calculada en el apartado 1.2, es un punto concreto de la grafica que podemos identificar a simple vista. Se trata del punto en el que se cruzan la línea de regresión exponencial que hemos calculado y la línea imaginaria que une los puntos de dispersión de las grafica  $I-\mathbf{b}$ . Ese es nuestro punto critico, el punto a partir del cual podemos considerar que la intensidad de corriente  $I$  es nula y que se produce el efecto magnetrón.

A medida que aumenta  $V_A$ , aumenta la intensidad de corriente  $I_B$  que crea el campo magnético critico. Una mayor diferencia de potencial entre ánodo y cátodo favorece la circulación de electrones, por tanto, necesitamos crear un campo magnético mayor para poder observar el efecto magnetrón.

Si mantenemos  $V_A$  constante y hacemos variar  $I_F$ , el punto critico que predice la teoría es el mismo, ya que este solo depende de la diferencia de potencial  $V_A$ . En este caso, la temperatura del filamento no juega un papel tan importante como en el apartado 1.2.

En el caso de  $I_F = 2.0 \text{ amperes}$  el punto de corte es nuestro punto critico, (tal y como lo hemos definido anteriormente), pero al disminuir la intensidad de corriente que pasa por el filamento ese punto de corte retrocede unas décimas.

Este efecto es debido a que la nube de electrones es menos densa a causa de la menor temperatura del filamento, esto se traduce una menor intensidad de electrones circulando entre ánodo y cátodo para la misma diferencia de potencial, por tanto se registra una menor intensidad de corriente  $I$ .