

Física III “D” - Franck – Hertz Mercurio

Liberali Franco, Scakosky Matías.

1^{er} cuatrimestre 2019

Índice

1. Introducción	2
1.1. Objetivos	2
2. Métodos	2
2.1. Desarrollo teórico	2
2.2. Detalles experimentales	2
3. Resultados experimentales	6
3.1. Datos obtenidos	6
3.2. Procesamiento de los datos	12
4. Conclusiones	14

1. Introducción

En 1913 Niels Bohr propuso un modelo atómico el cual explicaba cómo es que los electrones pueden tener órbitas estables alrededor del núcleo y porque los átomos presentaban espectros de emisión característicos. Si bien Bohr ya había realizado experiencias previas para probar su teoría, estas eran criticadas debido a que se llevaban a cabo mediante la intervención de la luz y muchos le atribuían este fenómeno cuántico a la luz, la cual ya se sabía que tenía un comportamiento cuántico, y que no se debía a los niveles de energía de un átomo.

En 1914, James Franck y Gustav Hertz realizaron un experimento que demostró la existencia de estados de energía cuantizados en los átomos de mercurio a partir de una medición directa.

1.1. Objetivos

En el objetivo principal de esta experiencia es replicar el experimento realizado por Franck y Hertz, de manera de analizar los resultados obtenidos para contrastarlos con los resultados obtenidos por ellos, explicar posibles diferencias y similitudes y comprender porque estos resultados nos permiten verificar la discretización entre niveles energéticos de los electrones atómicos predichos por el modelo de Bohr.

2. Métodos

2.1. Desarrollo teórico

Cuando electrones libres se encuentren acelerados a través de un gas, los mismos colisionarán con los átomos del gas en su trayectoria. Cuando la energía del electrón no llega a alcanzar la energía necesaria para excitar el electrón de menor energía del átomo de mercurio hacia un nivel mayor no podrá existir transferencia de energía entre ambos ya que, de acuerdo al modelo de Bohr, no pueden ocuparse niveles de energía intermedios, produciéndose un choque completamente elástico y la energía del electrón incidente no varía. Cuando los electrones llegan a una energía igual o superior a la energía de excitación del electrón de menor nivel de energía del átomo de Hg al siguiente nivel, producirá un choque inelástico y hará que el electrón no conserve su energía y el átomo de mercurio pasará de su estado fundamental a un estado excitado.

Si luego del choque entre el electrón y el átomo de mercurio, éste mismo recupera suficiente energía como para excitar a otro átomo, hay probabilidad de que colisione nuevamente. También, existe la posibilidad de la excitación sea desde el nivel de menor de energía a uno mayor al siguiente, si la energía del electrón que colisiona es suficiente.

2.2. Detalles experimentales

El experimento consta de acelerar electrones desde un cátodo a un ánodo, mediante un campo eléctrico, a través un gas de mercurio (Hg).

Para la realización del experimento contamos con

- Un horno con termocupla a temperatura variable

- Amplificador de corriente
- Multímetro con interfaz hacia PC
- Tubo de Hg para experimento de Franck-Hertz
- Fuente de tensión
- Conjunto de voltímetros
- Circuito de Figura 1

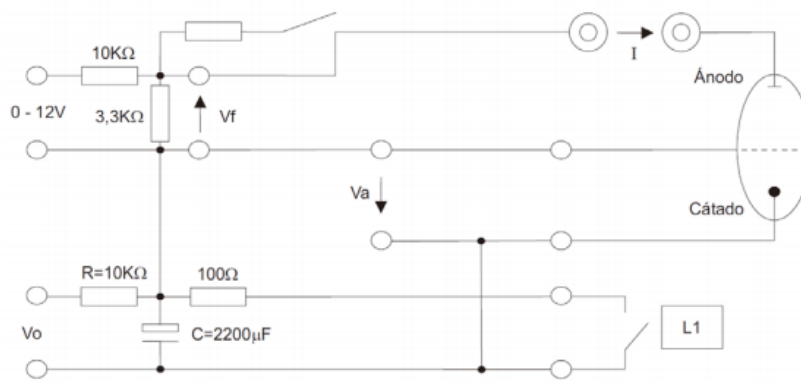


Figura 1: Circuito del experimento

Tal como se observa en la figura 1, electrones fueron acelerados por una tensión V_a o potencial acelerador hacia una rejilla dentro de un recipiente de cristal lleno de vapor de mercurio, cargada positivamente respecto del cátodo. Más allá de la rejilla, se dispone de un ánodo recolector, mantenido a un pequeño voltaje negativo respecto de la rejilla V_f o potencial de frenado. Como el mercurio a temperatura ambiente se encuentra en estado líquido, ese recipiente de cristal es en realidad un horno que nos permita llevar al mercurio a su estado gaseoso.

Podemos observar que el potencial acelerador está dado por la caída de potencial en el capacitor C , que a su vez depende de un potencial de entrada V_0 y del estado de la llave L_1 . Cuando la llave se encuentre cerrada, la caída de tensión sobre el capacitor es la misma que sobre la resistencia de 100Ω , siendo la misma:

$$V_a = \frac{100\Omega V_0}{100\Omega + 10K\Omega} = 0,01V_0$$

por divisor resistivo. Cuando se abra la llave L_1 la caída de tensión sobre el capacitor tenderá a ser V_0 para el estado estacionario, siendo su función de carga:

$$V_a(t) = V_0(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) = V_0(1 - e^{-\frac{t}{22s}})$$

El potencial de frenado es la caída de tensión sobre la resistencia de $3,3K\Omega$, siendo el mismo:

$$V_f = \frac{3,3K\Omega V_1}{10K\Omega + 3,3K\Omega} = 0,25V_1$$

donde V_1 es el potencial de entrada marcado en la figura 1 como $0 - 12V$.

Utilizamos la fuente de alimentación de continua con sus múltiples salidas variables para poder variar los valores V_0 y V_1 y, de esta forma, modificar V_f y el comportamiento de $V_a(t)$.

Se disponen de tres voltímetros, los cuales son conectados para medir V_0 , $V_a(t)$ y V_1 . La corriente I a la salida del ánodo pasa por un amplificador de corriente y luego es medida por un multímetro que se conecta a una computadora, para registrar valores de corriente en función del tiempo.

Una vez todo conectado, la configuración final resulta como la mostrada en la figura 2.

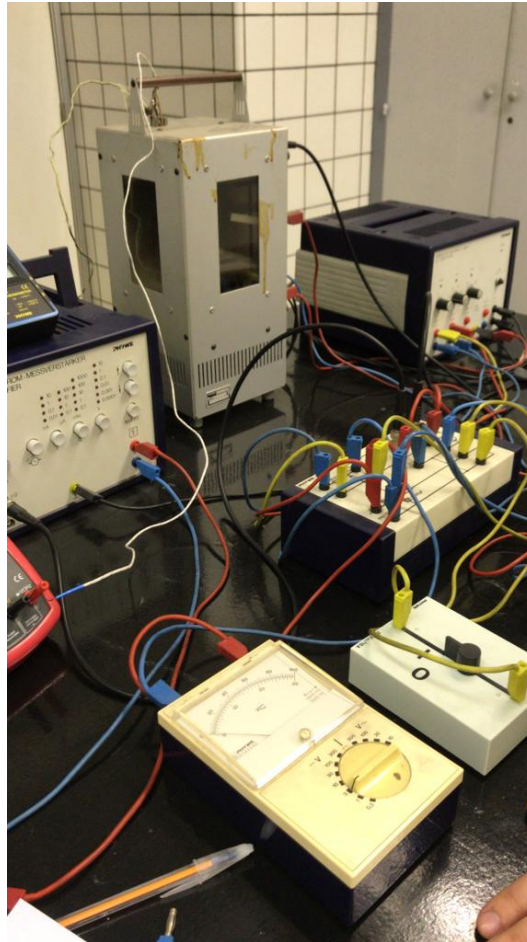


Figura 2: Dispositivo conectado

Para la obtención de datos, se realizaron previamente los siguientes pasos para la preparación del dispositivo:

1. Encender el cátodo a $6.3V$ y esperar un minuto.
2. Encender el horno a temperatura máxima durante 10 minutos (quema elementos volátiles).
3. Colocar el amplificador de corriente, I , recibida en el ánodo (blanco) a fondo de escala de $1\mu A$, dejar estabilizar el amplificador por 5 minutos antes de empezar a medir.
4. Llevar la temperatura del horno a aproximadamente $190^{\circ}C$.

Luego, se fijo en V_0 y V_1 algún valor para realizar la medición, con L_1 cerrada. De manera simultanea, se cerró L_1 y se comenzó a registrar en la computadora la corriente a la salida del amplificador de corriente durante aproximadamente 60 segundos (ya que este tiempo es aproximadamente $3\tau = 3 \times 22s$). Dado que la referencia del tiempo inicial es la misma, registraremos $I(t)$ y podemos calcular $V_a(t) = V_0(1 - e^{-\frac{t}{22s}})$.

3. Resultados experimentales

3.1. Datos obtenidos

Se muestran a continuación los resultados obtenidos de $I(t)$ y los calculados de $V_a(t)$ para distintos potenciales V_0 y V_f , a temperatura constante.

t [s]	$V_a(t)$ [V]	$I(t)$ [μA]	t [s]	$V_a(t)$ [V]	$I(t)$ [μA]	t [s]	$V_a(t)$ [V]	$I(t)$ [μA]
0	0	0.1	19	8.676	22.4	38	12.333	46.0
0	0	0.2	19	8.676	22.4	38	12.333	46.6
0	0	0.2	20	8.957	23.9	38	12.333	46.6
1	0.667	0.2	20	8.957	23.9	39	12.452	47.3
1	0.667	0.2	20	8.957	25.6	39	12.452	47.3
1	0.667	0.2	20	8.957	25.6	39	12.452	48.1
1	0.667	0.2	21	9.225	27.4	39	12.452	48.1
2	1.303	0.2	21	9.225	27.4	40	12.565	48.9
2	1.303	0.2	21	9.225	29.3	40	12.565	48.9
2	1.303	0.2	21	9.225	29.3	40	12.565	49.7
3	1.912	0.2	22	9.482	31.4	40	12.565	49.7
3	1.912	0.3	22	9.482	31.4	41	12.673	50.7
3	1.912	0.3	22	9.482	33.6	41	12.673	50.7
4	2.494	0.5	22	9.482	33.6	42	12.777	51.7
4	2.494	0.5	23	9.727	35.9	42	12.777	51.7
4	2.494	0.6	23	9.727	35.9	42	12.777	52.7
4	2.494	0.6	23	9.727	38.3	42	12.777	52.7
5	3.049	0.9	23	9.727	38.3	43	12.876	53.9
5	3.049	0.9	24	9.961	40.6	43	12.876	53.9
5	3.049	1.2	24	9.961	40.6	43	12.876	55.1
5	3.049	1.2	24	9.961	42.7	43	12.876	55.1
6	3.58	1.5	24	9.961	42.7	44	12.97	56.2
6	3.58	1.5	25	10.185	44.5	44	12.97	56.2
6	3.58	2.0	25	10.185	44.5	44	12.97	57.6
6	3.58	2.0	26	10.399	46.0	44	12.97	57.6
7	4.088	2.5	26	10.399	46.0	45	13.06	59.0
7	4.088	2.5	26	10.399	47.1	45	13.06	59.0
7	4.088	3.2	26	10.399	47.1	45	13.06	60.2
7	4.088	3.2	27	10.604	47.7	45	13.06	60.2
8	4.573	3.9	27	10.604	47.7	46	13.146	61.5
8	4.573	3.9	27	10.604	48.1	46	13.146	61.5
9	5.036	4.8	27	10.604	48.1	46	13.146	62.7
9	5.036	4.8	28	10.799	48.1	47	13.229	62.7
9	5.036	5.8	28	10.799	48.1	47	13.229	64.0
9	5.036	5.8	28	10.799	47.9	47	13.229	64.0
10	5.479	6.9	28	10.799	47.9	48	13.307	65.3
10	5.479	6.9	29	10.986	47.5	48	13.307	65.3
10	5.479	8.0	29	10.986	47.5	48	13.307	66.7
10	5.479	8.0	29	10.986	47.1	48	13.307	66.7
11	5.902	9.1	29	10.986	47.1	49	13.383	68.0
11	5.902	9.1	30	11.164	46.6	49	13.383	68.0
11	5.902	10.1	30	11.164	46.6	49	13.383	69.4
11	5.902	10.1	30	11.164	46.1	49	13.383	69.4
12	6.306	11.0	31	11.335	46.1	50	13.455	70.7
12	6.306	11.0	31	11.335	45.6	50	13.455	70.7
12	6.306	11.8	31	11.335	45.6	50	13.455	72.1
12	6.306	11.8	32	11.497	45.1	50	13.455	72.1
13	6.693	12.6	32	11.497	45.1	51	13.523	73.5
13	6.693	12.6	32	11.497	44.8	51	13.523	73.5
13	6.693	13.3	32	11.497	44.8	51	13.523	74.9
14	7.062	13.3	33	11.653	44.5	51	13.523	74.9
14	7.062	14.0	33	11.653	44.5	52	13.589	76.2
14	7.062	14.0	33	11.653	44.3	52	13.589	76.2
15	7.415	14.6	33	11.653	44.3	53	13.652	77.5
15	7.415	14.6	34	11.802	44.2	53	13.652	77.5
15	7.415	15.3	34	11.802	44.2	53	13.652	78.7
15	7.415	15.3	34	11.802	44.1	53	13.652	78.7
16	7.752	16.1	34	11.802	44.1	54	13.711	80.1
16	7.752	16.1	35	11.944	44.2	54	13.711	80.1
16	7.752	16.8	35	11.944	44.2	54	13.711	81.4
16	7.752	16.8	35	11.944	44.4	54	13.711	81.4
17	8.074	17.7	36	12.08	44.4	55	13.769	82.7
17	8.074	17.7	36	12.08	44.7	55	13.769	82.7
17	8.074	18.7	36	12.08	44.7	55	13.769	84.1
17	8.074	18.7	37	12.209	45.0	55	13.769	84.1
18	8.382	19.8	37	12.209	45.0	56	13.823	85.4
18	8.382	19.8	37	12.209	45.4	56	13.823	85.4
18	8.382	21.1	37	12.209	45.4	56	13.823	86.7
18	8.382	21.1	38	12.333	46.0	56	13.823	86.7

Cuadro 1: Datos obtenidos para un potencial $V_0 = 15V$ y $V_f = 0,5V$

t [s]	$V_a(t)$ [V]	$I(t)$ [μA]	t [s]	$V_a(t)$ [V]	$I(t)$ [μA]	t [s]	$V_a(t)$ [V]	$I(t)$ [μA]
0	0	0.3	22	9.482	15.2	44	12.970	25.1
0	0	0.3	22	9.482	15.2	44	12.970	25.1
0	0	0.3	22	9.482	16.4	45	13.060	25
1	0.667	0.3	23	9.727	16.4	45	13.060	25.00
1	0.667	0.3	23	9.727	17.7	45	13.060	25.1
1	0.667	0.3	23	9.727	17.7	45	13.060	25.1
2	1.303	0.3	24	9.961	19.2	46	13.146	25.2
2	1.303	0.3	24	9.961	19.2	46	13.146	25.2
2	1.303	0.3	24	9.961	20.8	46	13.146	25.4
2	1.303	0.3	24	9.961	20.8	46	13.146	25.4
3	1.912	0.3	25	10.185	22.5	47	13.229	25.6
3	1.912	0.3	25	10.185	22.5	47	13.229	25.6
3	1.912	0.3	25	10.185	24.4	47	13.229	25.8
3	1.912	0.3	25	10.185	24.4	47	13.229	25.8
4	2.494	0.3	26	10.399	26.3	48	13.307	26.1
4	2.494	0.3	26	10.399	26.3	48	13.307	26.1
4	2.494	0.3	26	10.399	28.3	48	13.307	26.5
4	2.494	0.3	26	10.399	28.3	48	13.307	26.5
5	3.049	0.3	27	10.604	30.4	49	13.383	26.8
5	3.049	0.3	27	10.604	30.4	49	13.383	26.8
5	3.049	0.3	27	10.604	32.6	49	13.383	27.3
6	3.580	0.3	27	10.604	32.6	50	13.455	27.3
6	3.580	0.4	28	10.799	34.7	50	13.455	27.7
6	3.580	0.4	28	10.799	34.7	50	13.455	27.7
7	4.088	0.5	29	10.986	36.6	51	13.523	28.2
7	4.088	0.5	29	10.986	36.6	51	13.523	28.2
7	4.088	0.7	29	10.986	38.4	51	13.523	28.7
7	4.088	0.7	29	10.986	38.4	51	13.523	28.7
8	4.573	0.9	30	11.164	39.9	52	13.589	29.2
8	4.573	0.9	30	11.164	39.9	52	13.589	29.2
8	4.573	1.2	30	11.164	40.9	52	13.589	29.6
8	4.573	1.2	30	11.164	40.9	52	13.589	29.6
9	5.036	1.6	31	11.335	41.7	53	13.652	30.2
9	5.036	1.6	31	11.335	41.7	53	13.652	30.2
9	5.036	2.1	31	11.335	41.9	53	13.652	30.7
9	5.036	2.1	31	11.335	41.9	53	13.652	30.7
10	5.479	2.8	32	11.497	41.9	54	13.711	31.3
10	5.479	2.8	32	11.497	41.9	54	13.711	31.3
10	5.479	3.5	32	11.497	41.5	54	13.711	31.8
10	5.479	3.5	32	11.497	41.5	54	13.711	31.8
11	5.902	4.3	33	11.653	40.8	55	13.769	32.4
11	5.902	4.3	33	11.653	40.8	55	13.769	32.4
12	6.306	5.3	33	11.653	39.9	56	13.823	33.00
12	6.306	5.3	34	11.802	39.9	56	13.823	33.00
12	6.306	6.3	34	11.802	38.8	56	13.823	33.6
12	6.306	6.3	34	11.802	38.8	56	13.823	33.6
13	6.693	7.2	35	11.944	37.7	57	13.876	34.2
13	6.693	7.2	35	11.944	37.7	57	13.876	34.2
13	6.693	7.9	35	11.944	36.5	57	13.876	34.8
13	6.693	7.9	35	11.944	36.5	57	13.876	34.8
14	7.062	8.5	36	12.080	35.2	58	13.926	35.4
14	7.062	8.5	36	12.080	35.2	58	13.926	35.4
14	7.062	9.00	36	12.080	34.00	58	13.926	36.00
14	7.062	9.00	36	12.080	34.00	58	13.926	36.00
15	7.415	9.3	37	12.209	32.8	59	13.973	36.6
15	7.415	9.3	37	12.209	32.8	59	13.973	36.6
15	7.415	9.5	37	12.209	31.7	59	13.973	37.2
15	7.415	9.5	37	12.209	31.7	59	13.973	37.2
16	7.752	9.7	38	12.333	30.6	60	14.019	37.9
16	7.752	9.7	38	12.333	30.6	60	14.019	37.9
16	7.752	9.8	38	12.333	29.6	60	14.019	38.5
17	8.074	9.8	38	12.333	29.6	60	14.019	38.5
17	8.074	9.9	39	12.452	28.8	61	14.063	39.1
17	8.074	9.9	39	12.452	28.8	61	14.063	39.1
18	8.382	10.1	40	12.565	28.00	62	14.104	39.7
18	8.382	10.1	40	12.565	28.00	62	14.104	39.7
18	8.382	10.4	40	12.565	27.3	62	14.104	40.3
18	8.382	10.4	40	12.565	27.3	62	14.104	40.3
19	8.676	10.7	41	12.673	26.7	63	14.144	40.9
19	8.676	10.7	41	12.673	26.7	63	14.144	40.9
19	8.676	11.2	41	12.673	26.3	63	14.144	41.6
19	8.676	11.2	41	12.673	26.3	63	14.144	41.6
20	8.957	11.7	42	12.777	25.8	64	14.182	42.2
20	8.957	11.7	42	12.777	25.8	64	14.182	42.2
20	8.957	12.4	42	12.777	25.6	64	14.182	42.8
20	8.957	12.4	42	12.777	25.6	64	14.182	42.8
21	9.225	13.1	43	12.876	25.3	65	14.218	43.4
21	9.225	13.1	43	12.876	25.3	65	14.218	43.4
21	9.225	14.1	43	12.876	25.1	65	14.218	44.00
21	9.225	14.1	43	12.876	25.1	65	14.218	44.00

Cuadro 2: Datos obtenidos para un potencial $V_0 = 15V$ y $V_f = 1V$

t [s]	$V_a(t)$ [V]	$I(t)$ [μA]	t [s]	$V_a(t)$ [V]	$I(t)$ [μA]	t [s]	$V_a(t)$ [V]	$I(t)$ [μA]
0	0	0.2	21	15.375	60.0	42	21.295	189.6
1	1.111	0.2	22	15.803	60.0	43	21.459	186.8
1	1.111	0.2	22	15.803	68.9	43	21.459	186.8
1	1.111	0.2	22	15.803	68.9	43	21.459	181.6
1	1.111	0.2	23	16.212	77.8	43	21.459	181.6
2	2.172	0.2	23	16.212	77.8	44	21.617	174.5
2	2.172	0.2	23	16.212	85.0	44	21.617	174.5
2	2.172	0.2	23	16.212	85.0	45	21.767	165.8
2	2.172	0.2	24	16.602	89.1	45	21.767	165.8
3	3.187	0.2	24	16.602	89.1	45	21.767	156.1
3	3.187	0.2	24	16.602	89.1	45	21.767	156.1
3	3.187	0.3	24	16.602	89.1	46	21.911	145.9
3	3.187	0.3	25	16.975	85.1	46	21.911	145.9
4	4.156	0.4	25	16.975	85.1	46	21.911	135.6
4	4.156	0.4	25	16.975	78.3	46	21.911	135.6
4	4.156	0.5	25	16.975	78.3	47	22.048	125.6
4	4.156	0.5	26	17.332	70.3	47	22.048	125.6
5	5.082	0.8	26	17.332	70.3	47	22.048	116.1
5	5.082	0.8	26	17.332	62.2	47	22.048	116.1
5	5.082	1.4	26	17.332	62.2	48	22.179	107.4
6	5.967	1.4	27	17.673	55.0	48	22.179	107.4
6	5.967	2.3	27	17.673	55.0	48	22.179	99.4
6	5.967	2.3	28	17.998	49.2	48	22.179	99.4
7	6.813	3.5	28	17.998	49.2	49	22.304	92.2
7	6.813	3.5	28	17.998	45.2	49	22.304	92.2
7	6.813	4.9	28	17.998	45.2	49	22.304	86.0
7	6.813	4.9	29	18.309	43.0	50	22.424	86.0
8	7.621	6.2	29	18.309	43.0	50	22.424	80.5
8	7.621	6.2	29	18.309	42.4	50	22.424	80.5
8	7.621	7.1	29	18.309	42.4	51	22.539	76.0
8	7.621	7.1	30	18.607	43.3	51	22.539	76.0
9	8.394	7.8	30	18.607	43.3	51	22.539	72.2
9	8.394	7.8	30	18.607	45.5	51	22.539	72.2
9	8.394	8.5	30	18.607	45.5	52	22.648	69.1
9	8.394	8.5	31	18.891	48.9	52	22.648	69.1
10	9.132	9.2	31	18.891	48.9	52	22.648	66.8
10	9.132	9.2	31	18.891	53.2	52	22.648	66.8
10	9.132	10.4	31	18.891	53.2	53	22.753	65.0
10	9.132	10.4	32	19.162	58.3	53	22.753	65.0
11	9.837	12.2	32	19.162	58.3	53	22.753	63.9
11	9.837	12.2	32	19.162	64.1	53	22.753	63.9
11	9.837	12.2	32	19.162	64.1	54	22.852	63.3
12	10.511	14.6	33	19.422	70.4	54	22.852	63.3
12	10.511	14.6	33	19.422	70.4	54	22.852	63.1
12	10.511	18.0	33	19.422	70.4	54	22.852	63.1
12	10.511	18.0	34	19.670	77.2	54	22.852	63.3
13	11.154	22.3	34	19.670	77.2	55	22.948	63.3
13	11.154	22.3	34	19.670	84.5	55	22.948	63.3
13	11.154	26.9	34	19.670	84.5	56	23.039	63.9
13	11.154	26.9	35	19.906	92.1	56	23.039	63.9
14	11.770	30.7	35	19.906	92.1	56	23.039	64.8
14	11.770	30.7	35	19.906	100.1	56	23.039	64.8
14	11.770	32.5	35	19.906	100.1	57	23.126	66.0
14	11.770	32.5	36	20.133	108.5	57	23.126	66.0
15	12.358	32.2	36	20.133	108.5	57	23.126	67.5
15	12.358	32.2	36	20.133	117.0	57	23.126	67.5
15	12.358	30.4	36	20.133	117.0	58	23.209	69.2
15	12.358	30.4	37	20.349	125.8	58	23.209	69.2
16	12.919	28.0	37	20.349	125.8	58	23.209	71.1
16	12.919	28.0	37	20.349	134.7	58	23.209	71.1
16	12.919	25.9	37	20.349	134.7	59	23.289	73.1
17	13.456	25.9	38	20.556	143.8	59	23.289	73.1
17	13.456	24.7	38	20.556	143.8	59	23.289	75.3
17	13.456	24.7	38	20.556	152.8	59	23.289	75.3
18	13.969	24.6	39	20.753	152.8	60	23.365	77.6
18	13.969	24.6	39	20.753	161.6	60	23.365	77.6
18	13.969	26.0	39	20.753	161.6	61	23.438	80.0
18	13.969	26.0	40	20.942	169.9	61	23.438	80.0
19	14.459	28.6	40	20.942	169.9	61	23.438	82.5
19	14.459	28.6	40	20.942	177.4	61	23.438	82.5
19	14.459	32.6	40	20.942	177.4	62	23.507	85.1
19	14.459	32.6	41	21.122	183.4	62	23.507	85.1
20	14.928	37.8	41	21.122	183.4	62	23.507	87.8
20	14.928	37.8	41	21.122	187.7	62	23.507	87.8
20	14.928	44.2	41	21.122	187.7	63	23.573	90.5
20	14.928	44.2	42	21.295	189.9	63	23.573	90.5
21	15.375	51.6	42	21.295	189.9	63	23.573	93.3
21	15.375	51.6	42	21.295	189.6	63	23.573	93.3

Cuadro 3: Datos obtenidos para un potencial $V_0 = 25V$ y $V_f = 1V$

t [s]	$V_a(t)$ [V]	$I(t)$ [μA]	t [s]	$V_a(t)$ [V]	$I(t)$ [μA]	t [s]	$V_a(t)$ [V]	$I(t)$ [μA]
0	0	0.3	22	15.803	68.8	44	21.617	87.4
0	0	0.3	22	15.803	68.8	44	21.617	87.4
1	1.111	0.3	23	16.212	70.6	45	21.767	80
1	1.111	0.3	23	16.212	70.6	45	21.767	80
2	2.172	0.2	24	16.602	68.7	46	21.911	73.2
2	2.172	0.2	24	16.602	68.7	46	21.911	73.2
2	2.172	0.2	24	16.602	64.2	46	21.911	67.1
2	2.172	0.2	24	16.602	64.2	46	21.911	67.1
3	3.187	0.3	25	16.975	58.7	47	22.048	61.6
3	3.187	0.3	25	16.975	58.7	47	22.048	61.6
3	3.187	0.3	25	16.975	52.9	47	22.048	56.9
3	3.187	0.3	25	16.975	52.9	47	22.048	56.9
4	4.156	0.3	26	17.332	47.1	48	22.179	52.8
4	4.156	0.3	26	17.332	47.1	48	22.179	52.8
4	4.156	0.4	26	17.332	41.6	48	22.179	49.4
4	4.156	0.4	26	17.332	41.6	48	22.179	49.4
5	5.082	0.5	27	17.673	36.8	49	22.304	46.7
5	5.082	0.5	27	17.673	36.8	49	22.304	46.7
5	5.082	0.9	27	17.673	33.1	49	22.304	44.5
5	5.082	0.9	27	17.673	33.1	49	22.304	44.5
6	5.967	1.6	28	17.998	30.6	50	22.424	43
6	5.967	1.6	28	17.998	30.6	50	22.424	43
6	5.967	2.7	28	17.998	29.4	51	22.539	42
7	6.813	2.7	29	18.309	29.4	51	22.539	42
7	6.813	4	29	18.309	29.5	51	22.539	41.5
7	6.813	4	29	18.309	29.5	51	22.539	41.5
8	7.621	5.2	30	18.607	30.8	52	22.648	41.4
8	7.621	5.2	30	18.607	30.8	52	22.648	41.4
8	7.621	5.9	30	18.607	33.3	52	22.648	41.7
8	7.621	5.9	30	18.607	33.3	52	22.648	41.7
9	8.394	6.4	31	18.891	36.8	53	22.753	42.3
9	8.394	6.4	31	18.891	36.8	53	22.753	42.3
9	8.394	6.6	31	18.891	41.1	53	22.753	43.4
9	8.394	6.6	31	18.891	41.1	53	22.753	43.4
10	9.132	7	32	19.162	46.2	54	22.852	44.8
10	9.132	7	32	19.162	46.2	54	22.852	44.8
10	9.132	7.8	32	19.162	52	54	22.852	46.3
10	9.132	7.8	32	19.162	52	54	22.852	46.3
11	9.837	9.1	33	19.422	58.3	55	22.948	48.2
11	9.837	9.1	33	19.422	58.3	55	22.948	48.2
11	9.837	11	33	19.422	65.2	55	22.948	50.2
11	9.837	11	33	19.422	65.2	55	22.948	50.2
12	10.511	13.9	34	19.670	72.6	56	23.039	52.5
12	10.511	13.9	34	19.670	72.6	56	23.039	52.5
12	10.511	17.6	35	19.906	80.4	56	23.039	54.8
13	11.154	17.6	35	19.906	80.4	57	23.126	54.8
13	11.154	21.8	35	19.906	88.5	57	23.126	57.3
13	11.154	21.8	35	19.906	88.5	57	23.126	57.3
14	11.770	25.2	36	20.133	96.8	58	23.209	59.9
14	11.770	25.2	36	20.133	96.8	58	23.209	59.9
14	11.770	27	36	20.133	105.2	58	23.209	62.7
14	11.770	27	36	20.133	105.2	58	23.209	62.7
15	12.358	26.9	37	20.349	113.6	59	23.289	65.5
15	12.358	26.9	37	20.349	113.6	59	23.289	65.5
15	12.358	25.4	37	20.349	121.5	59	23.289	68.3
15	12.358	25.4	37	20.349	121.5	59	23.289	68.3
16	12.919	23.2	38	20.556	128.5	60	23.365	71.3
16	12.919	23.2	38	20.556	128.5	60	23.365	71.3
16	12.919	21.1	38	20.556	134.3	60	23.365	74.3
16	12.919	21.1	38	20.556	134.3	60	23.365	74.3
17	13.456	19.9	39	20.753	138.2	61	23.438	77.3
17	13.456	19.9	39	20.753	138.2	61	23.438	77.3
17	13.456	19.8	39	20.753	140.1	61	23.438	80.5
18	13.969	19.8	40	20.942	140.1	62	23.507	80.5
18	13.969	21	40	20.942	139.7	62	23.507	83.6
18	13.969	21	40	20.942	139.7	62	23.507	83.6
19	14.459	23.7	41	21.122	137.1	63	23.573	86.8
19	14.459	23.7	41	21.122	137.1	63	23.573	86.8
19	14.459	27.7	41	21.122	132.5	63	23.573	90
19	14.459	27.7	41	21.122	132.5	63	23.573	90
20	14.928	33.1	42	21.295	126.4	64	23.637	93.2
20	14.928	33.1	42	21.295	126.4	64	23.637	93.2
20	14.928	39.8	42	21.295	119.2	64	23.637	96.4
20	14.928	39.8	42	21.295	119.2	64	23.637	96.4
21	15.375	47.1	43	21.459	111.3	65	23.697	99.6
21	15.375	47.1	43	21.459	111.3	65	23.697	99.6
21	15.375	55.5	43	21.459	103.2	65	23.697	102.8
21	15.375	55.5	43	21.459	103.2	65	23.697	102.8
22	15.803	63.6	44	21.617	95.1	66	23.755	106.1
22	15.803	63.6	44	21.617	95.1	66	23.755	106.1

Cuadro 4: Datos obtenidos para un potencial $V_0 = 25V$ y $V_f = 1,25V$

t [s]	$V_a(t)$ [V]	$I(t)$ [μA]	t [s]	$V_a(t)$ [V]	$I(t)$ [μA]	t [s]	$V_a(t)$ [V]	$I(t)$ [μA]
1	1.777	0.1	21	24.601	83.7	42	34.071	181.9
1	1.777	0.1	21	24.601	104.8	42	34.071	205.3
1	1.777	0.1	21	24.601	104.8	43	34.335	205.3
2	3.476	0.2	22	25.285	133.8	43	34.335	231.2
2	3.476	0.2	22	25.285	133.8	43	34.335	231.2
2	3.476	0.2	22	25.285	169.5	44	34.587	258.8
2	3.476	0.2	22	25.285	169.5	44	34.587	258.8
3	5.099	0.3	23	25.939	209.9	44	34.587	288.0
3	5.099	0.3	23	25.939	209.9	44	34.587	288.0
3	5.099	0.5	24	26.564	248.8	45	34.827	318.5
3	5.099	0.5	24	26.564	248.8	45	34.827	318.5
4	6.650	1.3	24	26.564	271.5	45	34.827	350.0
4	6.650	1.3	24	26.564	271.5	45	34.827	350.0
4	6.650	2.9	25	27.161	264.3	46	35.057	417
4	6.650	2.9	25	27.161	264.3	46	35.057	417
5	8.132	4.7	25	27.161	230.4	47	35.277	451
5	8.132	4.7	25	27.161	230.4	47	35.277	451
5	8.132	5.9	26	27.731	185.6	47	35.277	487
5	8.132	5.9	26	27.731	185.6	47	35.277	487
6	9.548	6.8	26	27.731	144.4	48	35.487	522
6	9.548	6.8	26	27.731	144.4	48	35.487	522
6	9.548	8.7	27	28.276	115.1	49	35.687	557
7	10.901	8.7	27	28.276	115.1	49	35.687	557
7	10.901	12.5	27	28.276	100.3	49	35.687	593
7	10.901	12.5	27	28.276	100.3	49	35.687	593
8	12.194	18.8	28	28.797	99.3	50	35.879	626
8	12.194	18.8	28	28.797	99.3	50	35.879	626
8	12.194	24.1	28	28.797	109.8	50	35.879	659
8	12.194	24.1	29	29.295	109.8	50	35.879	659
9	13.430	25.0	29	29.295	129.2	51	36.062	687
9	13.430	25.0	29	29.295	129.2	51	36.062	687
9	13.430	23.2	30	29.771	155.5	51	36.062	711
9	13.430	23.2	30	29.771	155.5	51	36.062	711
10	14.611	22.5	30	29.771	187.2	52	36.237	729
10	14.611	22.5	30	29.771	187.2	52	36.237	729
10	14.611	26.1	31	30.225	223.4	52	36.237	738
10	14.611	26.1	31	30.225	223.4	52	36.237	738
11	15.739	35.4	31	30.225	263.2	53	36.404	739
11	15.739	35.4	31	30.225	263.2	53	36.404	739
11	15.739	50.4	32	30.660	306.0	53	36.404	730
11	15.739	50.4	32	30.660	306.0	54	36.564	730
12	16.817	65.0	32	30.660	350.9	54	36.564	711
12	16.817	65.0	32	30.660	350.9	54	36.564	711
13	17.847	67.9	33	31.075	423	55	36.717	683
13	17.847	67.9	33	31.075	423	55	36.717	683
13	17.847	59.6	34	31.471	454	55	36.717	649
13	17.847	59.6	34	31.471	454	55	36.717	649
14	18.831	49.3	34	31.471	464	56	36.863	610
14	18.831	49.3	34	31.471	464	56	36.863	610
14	18.831	44.4	35	31.850	449	56	36.863	568
14	18.831	44.4	35	31.850	449	56	36.863	568
15	19.772	48.2	35	31.850	410	57	37.002	525
15	19.772	48.2	36	32.213	410	57	37.002	525
15	19.772	60.9	36	32.213	308.4	57	37.002	483
15	19.772	60.9	37	32.559	308.4	57	37.002	483
16	20.671	81.9	37	32.559	253.6	58	37.135	442
16	20.671	81.9	37	32.559	253.6	58	37.135	442
16	20.671	109.7	38	32.889	206.7	58	37.135	404
16	20.671	109.7	38	32.889	206.7	58	37.135	404
17	21.530	137.0	38	32.889	170.6	59	37.262	368
17	21.530	137.0	38	32.889	170.6	59	37.262	368
17	21.530	146.9	39	33.205	146.2	60	37.384	329.0
18	22.351	146.9	39	33.205	146.2	60	37.384	329.0
18	22.351	133.0	39	33.205	132.9	60	37.384	300.9
18	22.351	133.0	39	33.205	132.9	60	37.384	300.9
19	23.135	107.3	40	33.507	129.4	61	37.500	276.4
19	23.135	107.3	40	33.507	129.4	61	37.500	276.4
19	23.135	84.3	40	33.507	134.0	61	37.500	255.4
19	23.135	84.3	40	33.507	134.0	61	37.500	255.4
20	23.884	71.9	41	33.796	145.2	62	37.611	237.8
20	23.884	71.9	41	33.796	145.2	62	37.611	237.8
20	23.884	72.1	41	33.796	161.6	62	37.611	223.5
20	23.884	72.1	41	33.796	161.6	62	37.611	223.5
21	24.601	83.7	42	34.071	181.9			

Cuadro 5: Datos obtenidos para un potencial $V_0 = 40V$ y $V_f = 1,25V$

t [s]	$V_a(t)$ [V]	$I(t)$ [μA]	t [s]	$V_a(t)$ [V]	$I(t)$ [μA]	t [s]	$V_a(t)$ [V]	$I(t)$ [μA]
0	0	0.2	20	23.884	35.7	41	33.796	58.9
0	0	0.2	21	24.601	30.9	41	33.796	58.9
1	1.777	0.2	21	24.601	30.9	41	33.796	49.6
1	1.777	0.2	21	24.601	34.2	41	33.796	49.6
1	1.777	0.2	21	24.601	34.2	42	34.071	44.9
2	3.476	0.2	22	25.285	45.7	42	34.071	44.9
2	3.476	0.2	22	25.285	45.7	42	34.071	44.5
2	3.476	0.2	22	25.285	64.9	42	34.071	44.5
3	5.099	0.2	22	25.285	64.9	43	34.335	47.9
3	5.099	0.2	23	25.939	91.1	43	34.335	47.9
3	5.099	0.2	23	25.939	91.1	43	34.335	54.6
3	5.099	0.2	24	26.564	122.7	43	34.335	54.6
4	6.650	0.4	24	26.564	122.7	44	34.587	64.4
4	6.650	0.4	24	26.564	153.8	44	34.587	64.4
4	6.650	0.8	24	26.564	153.8	44	34.587	76.9
4	6.650	0.8	25	27.161	173	44	34.587	76.9
5	8.132	1.8	25	27.161	173	45	34.827	91.9
5	8.132	1.8	25	27.161	171.2	45	34.827	91.9
5	8.132	2.8	25	27.161	171.2	45	34.827	109
5	8.132	2.8	26	27.731	151.1	46	35.057	109
6	9.548	3.5	26	27.731	151.1	46	35.057	127.9
6	9.548	3.5	26	27.731	122.4	46	35.057	127.9
6	9.548	4.1	26	27.731	122.4	47	35.277	148.5
6	9.548	4.1	27	28.276	93.4	47	35.277	148.5
7	10.901	5.1	27	28.276	93.4	47	35.277	170.6
7	10.901	5.1	27	28.276	68.9	47	35.277	170.6
8	12.194	8	27	28.276	68.9	48	35.487	194.2
8	12.194	8	28	28.797	51.2	48	35.487	194.2
8	12.194	12.3	28	28.797	51.2	48	35.487	219
8	12.194	12.3	28	28.797	40.9	48	35.487	219
9	13.430	15.1	29	29.295	40.9	49	35.687	244.9
9	13.430	15.1	29	29.295	38.1	49	35.687	244.9
9	13.430	15	29	29.295	38.1	49	35.687	271.8
9	13.430	15	30	29.771	42.5	49	35.687	271.8
10	14.611	13.1	30	29.771	42.5	50	35.879	299.3
10	14.611	13.1	30	29.771	53.5	50	35.879	299.3
10	14.611	11.9	30	29.771	53.5	50	35.879	327.2
10	14.611	11.9	31	30.225	70.3	51	36.062	327.2
11	15.739	13.8	31	30.225	70.3	51	36.062	354.6
11	15.739	13.8	31	30.225	92.3	51	36.062	354.6
11	15.739	20.7	31	30.225	92.3	52	36.237	381.2
11	15.739	20.7	32	30.660	119	52	36.237	381.2
12	16.817	31.9	32	30.660	119	52	36.237	414
12	16.817	31.9	32	30.660	149.8	52	36.237	414
13	17.847	40.8	32	30.660	149.8	53	36.404	437
13	17.847	40.8	33	31.075	183.9	53	36.404	437
13	17.847	41.1	33	31.075	183.9	53	36.404	458
13	17.847	41.1	33	31.075	220	53	36.404	458
14	18.831	34.9	33	31.075	220	54	36.564	475
14	18.831	34.9	34	31.471	255.2	54	36.564	475
14	18.831	27	34	31.471	255.2	54	36.564	488
14	18.831	27	35	31.850	284.5	54	36.564	488
15	19.772	22	35	31.850	284.5	55	36.717	495
15	19.772	22	35	31.850	301.6	55	36.717	495
15	19.772	22.6	35	31.850	301.6	56	36.863	496
15	19.772	22.6	36	32.213	302	56	36.863	496
16	20.671	30.2	36	32.213	302	56	36.863	492
16	20.671	30.2	36	32.213	285.4	56	36.863	492
16	20.671	45.4	36	32.213	285.4	57	37.002	482
16	20.671	45.4	37	32.559	256	57	37.002	482
17	21.530	66.8	37	32.559	256	57	37.002	467
17	21.530	66.8	37	32.559	220.1	57	37.002	467
17	21.530	86.1	37	32.559	220.1	58	37.135	447
18	22.351	86.1	38	32.889	183.1	58	37.135	447
18	22.351	91.4	38	32.889	183.1	58	37.135	425
18	22.351	91.4	38	32.889	148.3	58	37.135	425
19	23.135	81.5	38	32.889	148.3	59	37.262	400
19	23.135	81.5	39	33.205	117.9	59	37.262	400
19	23.135	64.3	39	33.205	117.9	59	37.262	375
19	23.135	64.3	39	33.205	92.8	59	37.262	375
20	23.884	47.6	40	33.507	92.8	60	37.384	330
20	23.884	47.6	40	33.507	73.2	60	37.384	330
20	23.884	35.7	40	33.507	73.2			

Cuadro 6: Datos obtenidos para un potencial $V_0 = 40V$ y $V_f = 2V$

3.2. Procesamiento de los datos

A partir de las tablas de la sección anterior se realizan los gráficos de corriente en función del potencial acelerador uniendo las mediciones tomadas. Se marcan en los mismos las tensiones para las cuales la corriente tiene un punto de inflexión.

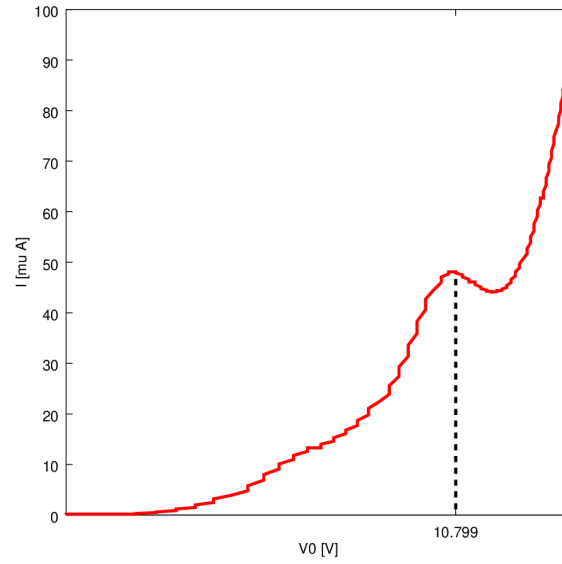


Figura 3: $I(V_a)$ para $V_0 = 15V$ y $V_f = 0,5V$

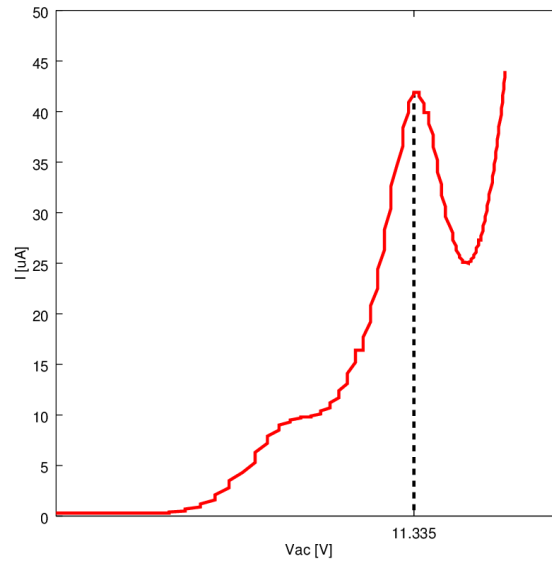


Figura 4: $I(V_a)$ para $V_0 = 15V$ y $V_f = 1V$

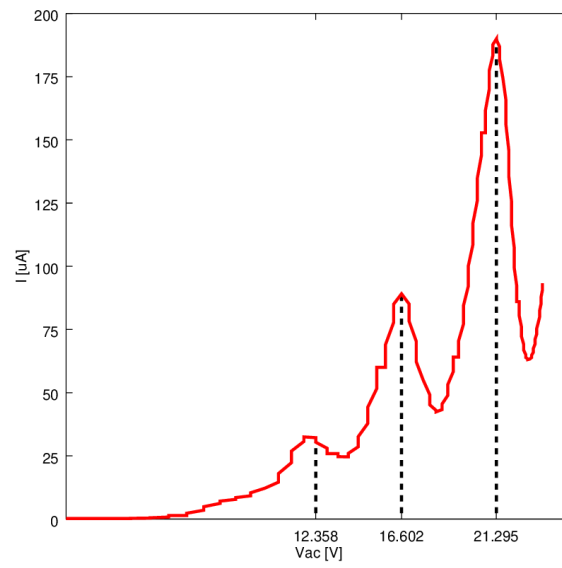


Figura 5: $I(V_a)$ para $V_0 = 25V$ y $V_f = 1V$

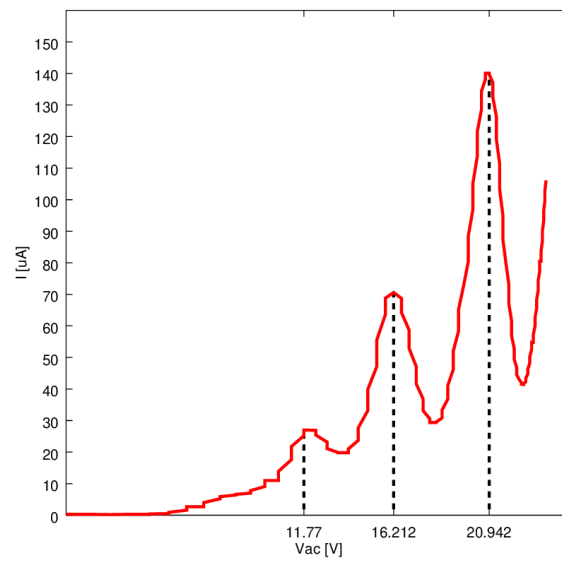


Figura 6: $I(V_a)$ para $V_0 = 25V$ y $V_f = 1,25V$

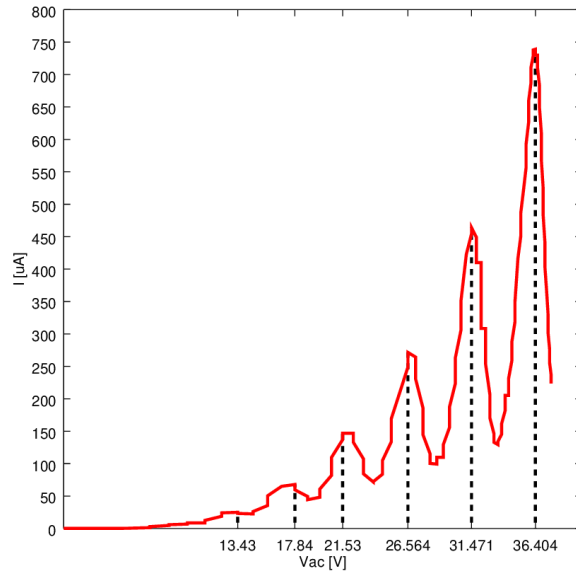


Figura 7: $I(V_a)$ para $V_0 = 40V$ y $V_f = 1,25V$

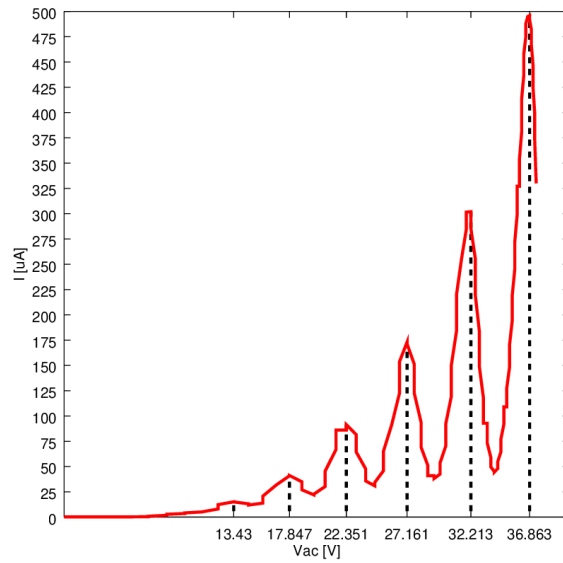


Figura 8: $I(V_a)$ para $V_0 = 40V$ y $V_f = 2V$

4. Conclusiones

Como fue explicado en la sección de Desarrollo teórico, los electrones acelerados a través del gas, solo perderán energía en el caso de su energía sea suficiente para excitar al átomo. La pérdida de energía por parte de los electrones implica que estos electrones podrían no tener energía suficiente para vencer el potencial de frenado y llegar al ánodo, mostrando una caída en la corriente I .

Por esta razón, si comenzamos el análisis por las figuras 3 y 4 observamos un crecimiento de I respecto de V_a hasta un determinado punto, a partir del cual los electrones tienen la energía suficiente para excitar al átomo. Cuanto mayor sea el potencial acelerador respecto de ese punto, los electrones alcanzarán la energía necesaria para entregar energía al átomo más rápidamente, de manera que existirá cada vez más zona en la que este fenómeno sucede y la corriente bajará debido a que son cada vez más electrones los que pierden energía y no logran vencer el potencial acelerador.

Esto sucede hasta que dicha zona es lo suficientemente grande como para que luego de perder energía el electrón se encuentre lo suficientemente lejos de la rejilla para ser nuevamente acelerado y vencer el potencial de frenado, por lo que vemos que a partir de un determinado potencial la corriente vuelve a crecer.

Como vemos, este punto mínimo es dependiente del potencial de frenado y cuanto mayor sea este mayor será la diferencia entre el máximo y el mínimo y mayor el potencial acelerador necesario para que la corriente vuelva a crecer. Además, para todos los valores de V_a , I es mayor en la figura 3 que en la 4 porque un mayor potencial de frenado implica un mayor filtro de electrones que pueden llegar al ánodo según su energía.

Luego, si continuamos con la figura 5, veremos que aumentar V_0 nos permite barrer más valores de V_a . En esta figura observaremos que el comportamiento hasta los valores de V_a que se llegaban a ver en la figura 4 es similar, pero en este caso vemos que la corriente crece nuevamente hasta otro pico luego de esos valores. Esto lo podemos atribuir a que cuando el potencial acelerador siga creciendo los electrones podrán recuperar suficiente energía como para excitar a otro átomo luego de un choque. En este nuevo pico, la corriente I medida es más alta que el pico anterior, producto de que a mayor V_a más son los electrones que logran vencer el potencial frenador a pesar de haber chocado con un átomo. La explicación del descenso de la corriente a partir del segundo pico es similar a la anterior, cuanto mayor sea el potencial acelerador a partir de ese punto donde el doble choque puede suceder, mayor será la zona donde estos dos choques puedan suceder y esto sucederá hasta el punto donde los electrones vuelven a ganar energía para vencer el potencial frenador.

Este fenómeno se repite de manera muy similar a periódica y cuanto mayor sea el valor de V_0 más máximos y mínimos podremos observar como en las figuras 7 y 8. Notemos que los picos se encuentran en todas las figuras en valores muy similares mientras que los mínimos dependen del valor de V_f como fue explicado anteriormente. Las diferencias de potencial acelerador entre picos se muestran en el cuadro 7.

V_{1-2} [V]
4.65
5.052
4.81
4.504
4.417
4.933
4.907
5.034
3.69
4.41
4.73
4.442
4.693
4.244

Cuadro 7: Diferencias de potencial acelerador registradas entre dos picos de corriente

Podemos decir entonces que estos son los valores que medimos para la diferencia de potencial necesaria para que un electrón pueda excitar del nivel fundamental al siguiente a un átomo de mercurio y por eso lo notamos V_{1-2} , siendo los distintos valores producto de los errores que afectan nuestras mediciones.

Cabe aclarar que la diferencia entre picos y la distancia hasta el primer pico son distintas en todos los casos de medición. Podemos atribuir esta diferencia a que en el sección de potenciales hasta el primer pico también nos afecta un potencial de contacto del dispositivo, el cual no permite la aceleración de los electrones.

De esta forma, podemos concluir que hemos encontrado una manera directa de medir efectos que son producto de la discretización de los niveles de energía de los electrones en los átomos. La disminución de la corriente de electrones medida en el ánodo pone de manifiesto la existencia de una determinada separación energética entre el nivel fundamental y el primer nivel excitado del átomo.