
P4: Experiencia de Franck y Hertz

17/11/2025

Universidad de Granada, Facultad de Ciencias

Grado en Físicas

Física Cuántica



**UNIVERSIDAD
DE GRANADA**

JORGE DEL RIO LÓPEZ
JESUS VICENTE MARTÍNEZ OLLER

Índice

Resumen

Se estudiará y pondrá a prueba el experimento de Franck–Hertz utilizando un tubo de Neón con el objetivo de observar la aparición de máximos y mínimos en la corriente de ánodo al variar el voltaje acelerador. Este comportamiento permite verificar la existencia de niveles de energía discretos en el átomo y, en particular, estimar el voltaje asociado al primer estado excitado del Neón. A partir de las gráficas obtenidas y del análisis de la separación entre máximos y mínimos consecutivos, contrastamos los resultados experimentales con los valores teóricos conocidos.

1. Instrumentación

Para la realización de la práctica empleamos el **tubo de Franck–Hertz con gas Neón**, cuyo diseño permite estudiar la excitación inelástica de átomos por colisiones electrón–átomo. El montaje incluye:

- **Tubo Franck–Hertz con Ne:** contiene un cátodo termoiónico, una rejilla de aceleración y un ánodo colector.
- **Unidad de control:** permite regular los potenciales U_H (filamento), U_3 (control de flujo electrónico), U_2 (potencial de frenado) y el voltaje acelerador V_1 .
- **Ordenador con software MEASURE:** utilizado para programar barridos de voltaje y registrar automáticamente la intensidad de corriente.
- **Cables y fuente de alimentación** para establecer las conexiones entre el tubo y la unidad de control.

El Neón se encuentra en estado gaseoso a temperatura ambiente, por lo que no se requiere horno como en el caso del mercurio. El equipo permite medir intensidades de corriente en el rango de nanoamperios, motivo por el cual es esencial ajustar adecuadamente el potencial de frenado para obtener curvas con máximos y mínimos bien definidos.

2. Metodología

En primer lugar, se ajustó la tensión del filamento U_H para garantizar una emisión estable de electrones y se fijó el potencial U_3 en torno a 6 V, valor óptimo para regular el flujo electrónico en el tubo. A continuación, se seleccionaron distintos valores del potencial de frenado U_2 entre 1 y 8 V, estudiando cómo afecta al número y forma de los máximos observados.

Para cada configuración, se efectuó un barrido automático del voltaje acelerador V_1 , registrándose la corriente de ánodo en función de este. Con los datos obtenidos se representaron gráficas $I(V_1)$ que permiten identificar los máximos y mínimos consecutivos asociados a colisiones inelásticas entre electrones y átomos de Ne. De forma sistemática, se recogieron los valores de dichos extremos y se calcularon las diferencias ΔV entre máximos y mínimos de igual orden. Estas diferencias se compararon con el valor teórico esperado para el primer nivel excitado del Neón, aproximadamente $E \approx 16,6$ eV.

Este procedimiento se repitió en varias condiciones experimentales para evaluar la reproducibilidad y observar cómo la modificación de U_2 , U_3 y U_H afecta a la morfología de las curvas.

3. Resultados y Discusiones

En esta sesión solo disponíamos del Tubo de Franck–Hertz con Neón debido a que el Tubo con Hg se encontraba en mal estado y no podíamos usarlo, todo esto indicado por la profesora de prácticas presente.

A continuación comenzaremos a exponer las gráficas obtenidas para los distintos valores de voltaje.

En las tres primeras experiencias como capaces de encontrar máximos y mínimos bien definidos mientras que en la cuarta experiencia mostraremos distintas experiencias que realizamos variando los valores

de V alejándonos de los valores correctos para observar el comportamiento que tenía en ese caso el Neón

3.1. 1ª Experiencia

Para está experiencia lo que hicimos fue realizar una toma de datos variando el valor de U_2 , desde 1 hasta 8 para poder visualizar los valores a los que la gráfica comienza a no seguir el modelo predicho.

Realizamos una gráfica¹ entre todas las medidas y llegamos a la gráfica mostrada en (??):

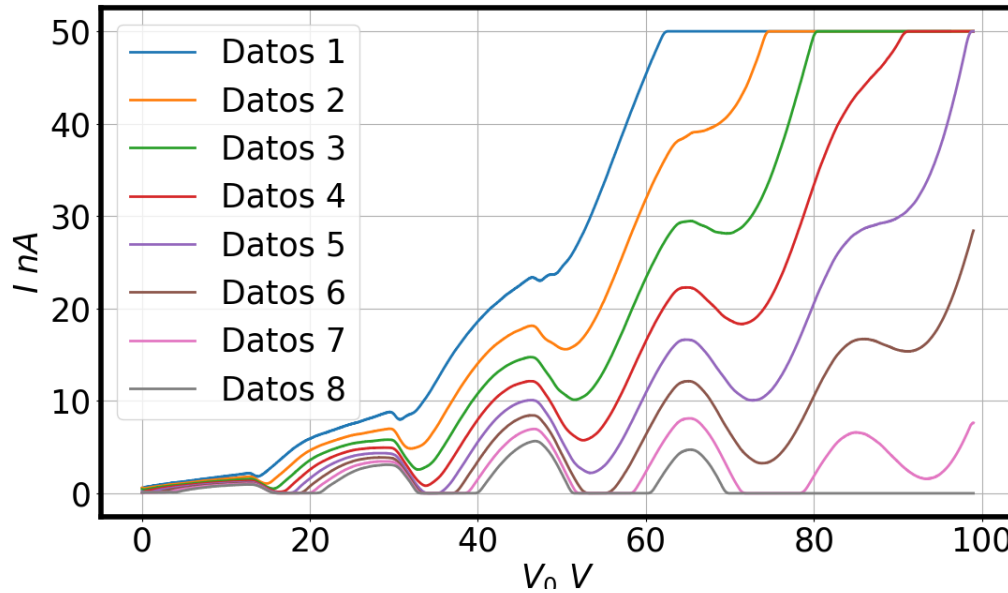


Figura 1: Representación gráfica de los todos valores tomados. En el eje de abscisas se representan los valores de V_1 , mientras que en el eje de ordenadas se representa la intensidad de corriente.

A partir de la gráfica anterior como capaces de determinar a partir de que valor de U_2 el comportamiento ya no es como el esperado, decidimos que este valor sea el de datos 5. Las medidas de los máximos y mínimos se paran al llegar a esta fase.

A continuación expondremos los valores de los máximos y mínimos recogidos, estos datos se encuentran en la tabla (??):

¹Las gráficas de las medidas individuales se encuentran en el anexo

U ₂ V, U ₃ V, U _H V	Máximos		Mínimos	
	$x \pm 0,0029 \text{ V}$	$y \pm 0,0029 \text{ nA}$	$x \pm 0,0029 \text{ V}$	$y \pm 0,0029 \text{ nA}$
1,0 5,9 5,0	29,5800	8,8300	30,5800	8,0100
1,0 5,9 5,0	46,5200	23,2300	47,4100	22,8200
2,0 5,9 5,0	29,6900	6,8000	32,3000	4,7700
2,0 5,9 5,0	46,6300	17,9500	50,4200	15,6200
2,0 5,9 5,0	65,7000	39,1500		
3,0 5,9 5,0	29,8000	5,5600	32,5900	2,7400
3,0 5,9 5,0	46,6400	14,6100	51,3200	10,3500
3,0 5,9 5,0	64,7000	29,2100	69,4900	27,8900
4,0 5,9 5,0	29,8000	4,7700	33,7000	0,7100
4,0 5,9 5,0	46,5200	11,8700	52,5400	5,5800
4,0 5,9 5,0	64,5800	22,0100	71,5000	18,2600
5,0 5,9 5,0	29,8000	4,0600	34,2600	0,0000
5,0 5,9 5,0	46,5200	9,9400	53,2100	2,1300
5,0 5,9 5,0	64,5800	16,4100	72,7200	10,1400

Cuadro 1: Valores de los máximos y los mínimos para distintos valores de voltaje; las columnas numéricas se muestran con 4 decimales acorde a $\pm 0,0029$.

A partir de estos valores podemos encontrar la diferencia entre los máximos y los mínimos simplemente restando los dos valores; obteniendo así la siguiente gráfica (??):

U ₂ V, U ₃ V, U _H V	Máximos		Mínimos	
	$\Delta x \pm 0,0029V$	$\Delta y \pm 0,0029nA$	$\Delta x \pm 0,0029V$	$\Delta y \pm 0,0029nA$
1,0; 5,9; 5,0	16,0000,94	14,0000,40	16,0000,83	14,0000,81
2,0; 5,9; 5,0	16,0000,94	11,0000,15	18,0000,12	10,0000,85
2,0; 5,9; 5,0	19,0000,07	21,0000,20		
3,0; 5,9; 5,0	16,0000,84	9,0000,05	18,0000,73	7,0000,61
3,0; 5,9; 5,0	18,0000,06	14,0000,60	18,0000,17	17,0000,54
4,0; 5,9; 5,0	16,0000,72	7,0000,10	18,0000,84	4,0000,87
4,0; 5,9; 5,0	18,0000,06	10,0000,14	18,0000,96	12,0000,68
5,0; 5,9; 5,0	16,0000,72	5,0000,88	18,0000,95	2,0000,13
5,0; 5,9; 5,0	18,0000,06	6,0000,47	19,0000,51	8,0000,01

Cuadro 2: Valores del Δ de dos máximos o mínimos consecutivos (Medidas 1). Columnas numéricas en 4 decimales acorde a $\pm 0,0029$.

3.2. 2ª Experiencia

Para esta experiencia, variamos U_2 de igual forma que en la primera experiencia pero en vez de realizar 8 fases, realizamos tres, sin embargo seguimos variando U_2 entre 1 y 7 V.

Los datos representados se representan en la gráfica (??):

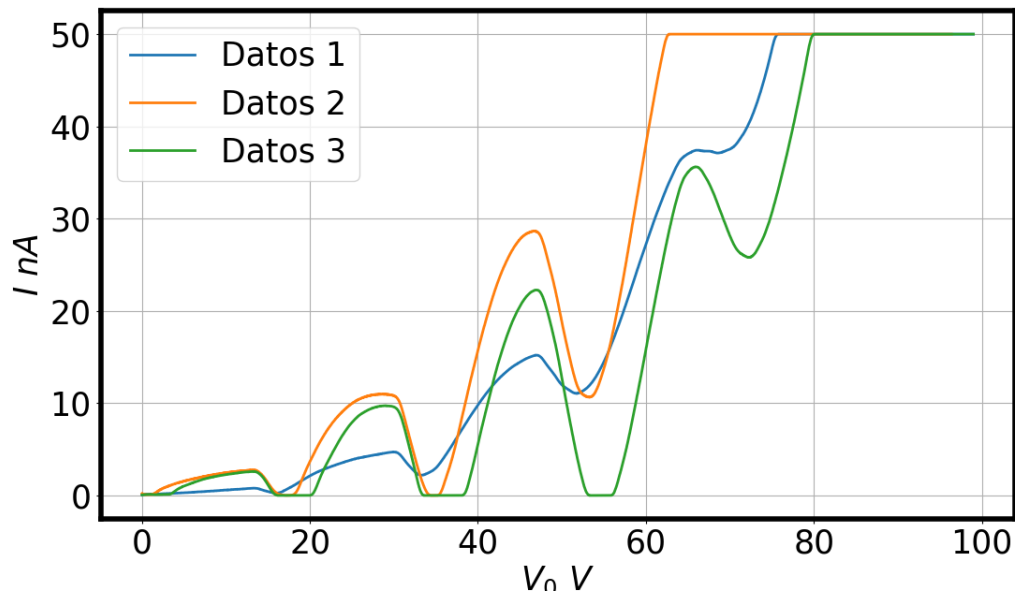


Figura 2: Representación gráfica de los todos valores tomados. En el eje de abscisas se representan los valores de V_1 , mientras que en el eje de ordenadas se representa la intensidad de corriente.

Para la gráfica anterior se obtienen los siguientes valores, en la tabla (??) de máximos y mínimos, con sus respectivas incertidumbres y a los voltajes a los que se realizaron:

U_2 V, U_3 V, U_H V	Máximos		Mínimos	
	$x \pm 0,0029V$	$y \pm 0,0029nA$	$x \pm 0,0029V$	$y \pm 0,0029nA$
3,0; 5,8; 5,5	30,0000,10	4,0000,61	32,0000,8	2,0000,18
3,0; 5,8; 5,5	47,0000,40	15,0000,05	51,0000,70	10,0000,99
3,0; 5,8; 5,5	66,0000,10	37,0000,13	68,0000,5	37,0000,03
5,0; 5,8; 5,5	13,0000,60	2,0000,54	17,0000,30	0,0000,00
5,0; 5,8; 5,5	28,0000,90	10,0000,75	34,0000,60	0,0000,10
5,0; 5,8; 5,5	47,0000,00	28,0000,60	53,0000,20	10,0000,65
7,0; 5,8; 5,5	13,0000,20	2,0000,44	18,0000,20	0,0000,00
7,0; 5,8; 5,5	29,0000,00	9,0000,54	35,0000,90	0,0000,00
7,0; 5,8; 5,5	46,0000,70	22,0000,11	54,0000,80	0,0000,00
7,0; 5,8; 5,5	66,0000,10	35,0000,60	72,0000,60	25,0000,97

Cuadro 3: Máximos y mínimos medidos para distintas combinaciones de U_2 , U_3 y U_H (Medidas 5).

Una vez que obtenemos los maximos y los minimos podemos llegar a obtener la diferencia entre máximos y minimos consecutivos, simplemente restando los dos resultados. Los valores obtenidos se presentan en la tabla (??)

3.3. 3º Experiencia

Para esta experiencia, variamos U_2 de igual forma que en la segunda experiencia. Repitiendo igualmente el valor de U_2

La gráfica que obtuvimos se presenta en (??):

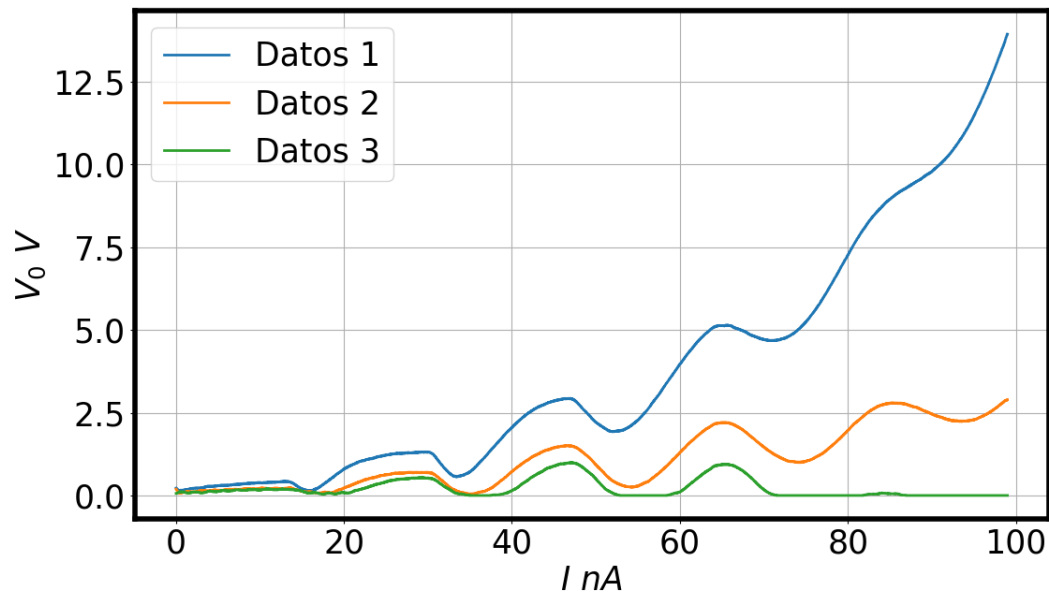


Figura 3: Representación gráfica de los todos valores tomados. En el eje de abscisas se representan los valores de V_1 , mientras que en el eje de ordenadas se representa la intensidad de corriente.

Al igual que en las anteriores experiencias podemos obtener los valores de los máximos y mínimos así como la diferencia entre máximos de igual orden, las tablas se localizan en las (??) y (??) respectivamente:

U_2 V, U_3 V, U_H V	Máximos		Mínimos	
	$x \pm 0,0029V$	$y \pm 0,0029nA$	$x \pm 0,0029V$	$y \pm 0,0029nA$
3,0; 5,8; 4,5	30,0000,36	1,0000,31	33,0000,48	0,0000,57
3,0; 5,8; 4,5	47,0000,19	2,0000,92	52,0000,10	1,0000,96
3,0; 5,8; 4,5	64,0000,81	5,0000,15	70,0000,94	4,0000,64
5,0; 5,8; 4,5	29,0000,92	0,0000,71	34,0000,37	0,0000,06
5,0; 5,8; 4,5	46,0000,86	1,0000,45	53,0000,88	0,0000,26
5,0; 5,8; 4,5	64,0000,92	2,0000,24	73,0000,30	1,0000,00
5,0; 5,8; 4,5	85,0000,32	2,0000,78	93,0000,79	2,0000,18
7,0; 5,8; 4,5	30,0000,13	0,0000,43	36,0000,04	0,0000,00
7,0; 5,8; 4,5	46,0000,75	1,0000,00	55,0000,44	0,0000,00
7,0; 5,8; 4,5	64,0000,70	0,0000,91		

Cuadro 5: Máximos y mínimos medidos para distintas combinaciones de U_2 , U_3 y U_H (Medidas 6).

3.4. 4ª Experiencia

A continuación expondremos las demás medidas que tomamos, estas medidas fueron descartadas ya que no presentaban el comportamiento esperado.

Para la representación en (??), tenemos los valores de $U_3 = 5,9$ V y $U_H = 3,0$ V, y a valores en aumento de U_2 , desde 1 hasta 7 V.

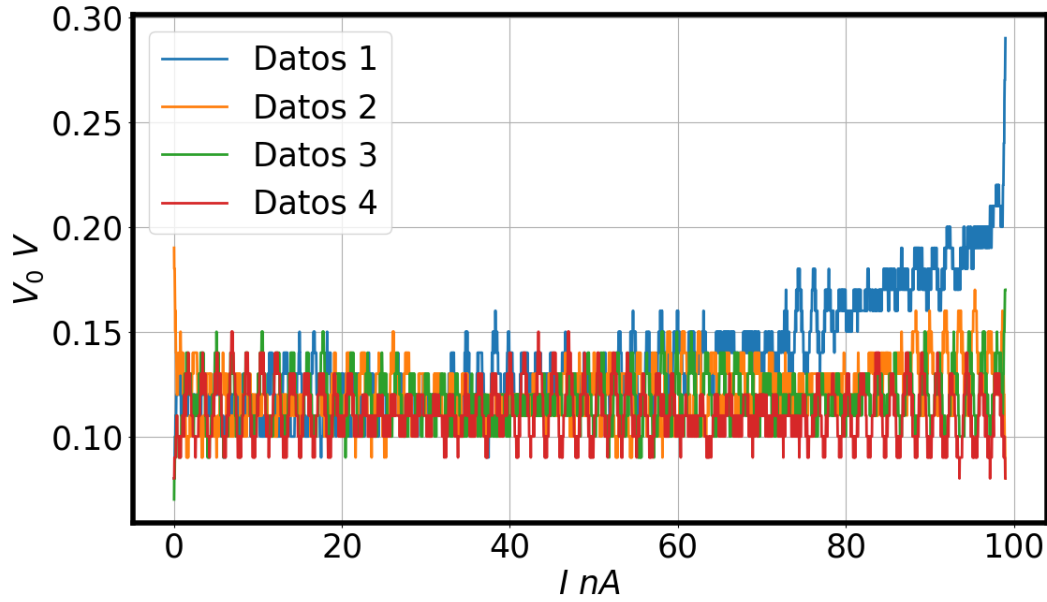


Figura 4: Representación gráfica de los todos valores tomados. En el eje de abscisas se representan los valores de V_1 , mientras que en el eje de ordenadas se representa la intensidad de corriente.

Para la representación en (??), tenemos los valores de $U_3 = 5,9 \text{ V}$ y $U_H = 7,0 \text{ V}$, y a valores en aumento de U_2 , desde 1 hasta 7 V.

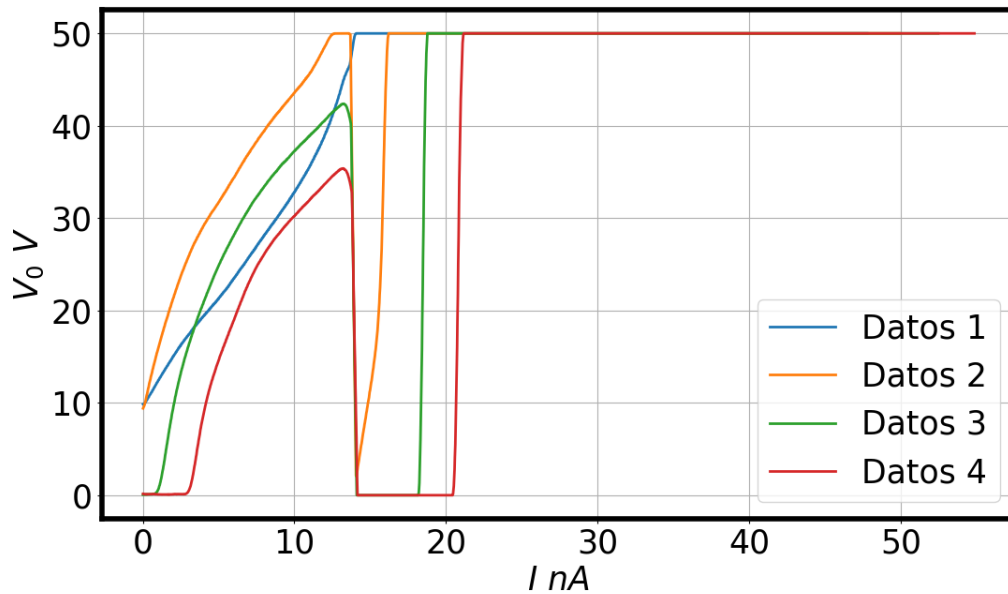


Figura 5: Representación gráfica de los todos valores tomados. En el eje de abscisas se representan los valores de V_1 , mientras que en el eje de ordenadas se representa la intensidad de corriente.

Para la representación en (??), tenemos los valores de $U_3 = 5,9 \text{ V}$ y $U_H = 7,0 \text{ V}$, y a valores en aumento de U_2 , desde 1 hasta 7 V.

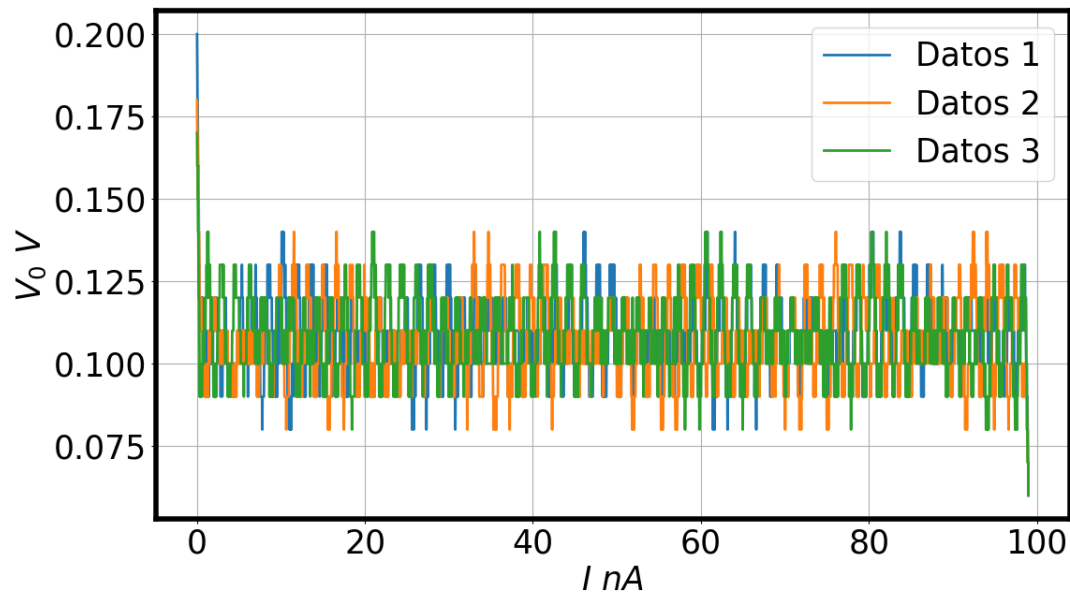


Figura 6: Representación gráfica de los todos valores tomados. En el eje de abscisas se representan los valores de V_1 , mientras que en el eje de ordenadas se representa la intensidad de corriente.

3.5. Discusión

Como se puede observar en la tablas referidas los Δ de los máximos, todas ellas guardan la siguiente relación, todos los valores se encuentran en un mismo intervalo de valores, [16,20], esto concuerda en el primer valor de ionización del Neón, en el siguiente apartado se ahondara en este aspecto respondiendo a las cuestiones propuestas en el guion de prácticas [?].

Al no disponer de la posibilidad de realizar la práctica con el Hg no podremos encontrar la relación entre el estado gaseoso y los valores de los Δ , todo esto debido a que el Hg es líquido a temperatura ambiente.

3.6. Cuestiones

Comparad la diferencia entre los resultados obtenidos para los máximos y los mínimos consecutivos con el valor teórico esperado. Explicad las discrepancias.

El valor teórico asociado al primer nivel excitado del Neón se encuentra en el intervalo 16,6–16,8 eV, lo que debería reflejarse en una separación entre máximos consecutivos cercana a $\Delta V \approx 16,7$ V. Los valores experimentales obtenidos en nuestras medidas se sitúan en el rango [16, 20] V, lo que indica un acuerdo razonable con la teoría.

Las discrepancias pueden atribuirse a varios factores: la anchura finita de los niveles atómicos, la presencia de un conjunto de estados excitados próximos en energía, fluctuaciones térmicas, y especialmente a la caída de potencial no controlada dentro del tubo. Además, el potencial de frenado y pequeños errores en la identificación de los máximos (ruido, resolución del software, dispersión del haz electrónico) pueden introducir desplazamientos adicionales. Estos efectos están ampliamente documentados en la literatura estándar del experimento de Franck–Hertz.

¿Qué estados de excitación se observan en el experimento? ¿Se observa más de uno? ¿Por qué?

En el caso del Neón, los primeros niveles excitados corresponden a transiciones desde la configuración $2p$ hacia los estados $3s$ (alrededor de 16,6 eV) y $3p$ (entre 18,3 y 18,7 eV). Debido a que ambos conjuntos de niveles están relativamente próximos, el experimento puede mostrar más de un valor efectivo de separación entre máximos cuando la resolución es suficiente.

No obstante, en nuestra práctica solo se observó un conjunto principal de máximos, lo que indica que el tubo opera mayoritariamente en el régimen donde la excitación al nivel $3s$ domina. Los estados superiores producen máximos menos visibles debido a la menor probabilidad de excitación, el aumento del frenado electrónico y la limitación instrumental en el rango de corrientes detectables.

Explicad por qué no se utiliza hidrógeno en esta práctica en nuestro laboratorio.

El hidrógeno no se utiliza por múltiples razones. En primer lugar, su primer nivel excitado se encuentra a 10,2 eV, pero la sección eficaz de colisión inelástica electrón-H es muy baja, lo que dificulta observar máximos bien definidos en la curva $I(V_1)$. Además, el H_2 molecular tendería a ionizarse o disociarse antes de mostrar un patrón claro de excitación discreta, complicando la interpretación del experimento.

Por otro lado, los tubos de H presentan problemas de estabilidad, requieren presiones extremadamente bajas y son más sensibles a descargas disruptivas. Comparado con ellos, el Neón ofrece una señal más estable, niveles excitados muy marcados y una presión que permite realizar el experimento de forma segura y reproducible en un entorno docente.

4. Conclusiones

En esta experimento hemos comprobado experimentalmente la naturaleza cuantizada de la energía en el átomo de Neón mediante el análisis del experimento de Franck-Hertz. Las gráficas obtenidas muestran máximos y mínimos bien definidos cuya separación es consistente con el primer nivel excitado del Ne, en torno a 16–17 V, en buen acuerdo con los valores teóricos.

Las discrepancias observadas pueden explicarse por efectos instrumentales, el solapamiento de estados excitados y la sensibilidad del experimento a los potenciales de control. Aun así, el patrón general confirma que los electrones transfieren energía a los átomos únicamente en cantidades discretas, proporcionando una evidencia clara y directa de los postulados fundamentales de la mecánica cuántica. La práctica demuestra la robustez del método y la importancia del ajuste adecuado de los parámetros del tubo para obtener resultados reproducibles y físicamente interpretables.

5. Apéndices

5.1. A1: Calculo de Incertidumbres

Para esta práctica el calculo de incertidumbres se redujo unicamente a la incertidumbre tipo B asociada a las medidas de V e I , este valor se obtendría dividiendo la resolución entre $\sqrt{12}$.

$$u_B(x) = \frac{\delta}{\sqrt{12}} \quad (1)$$

5.2. A2: Gráficas de los ajustes

5.2.1. 1º Medida

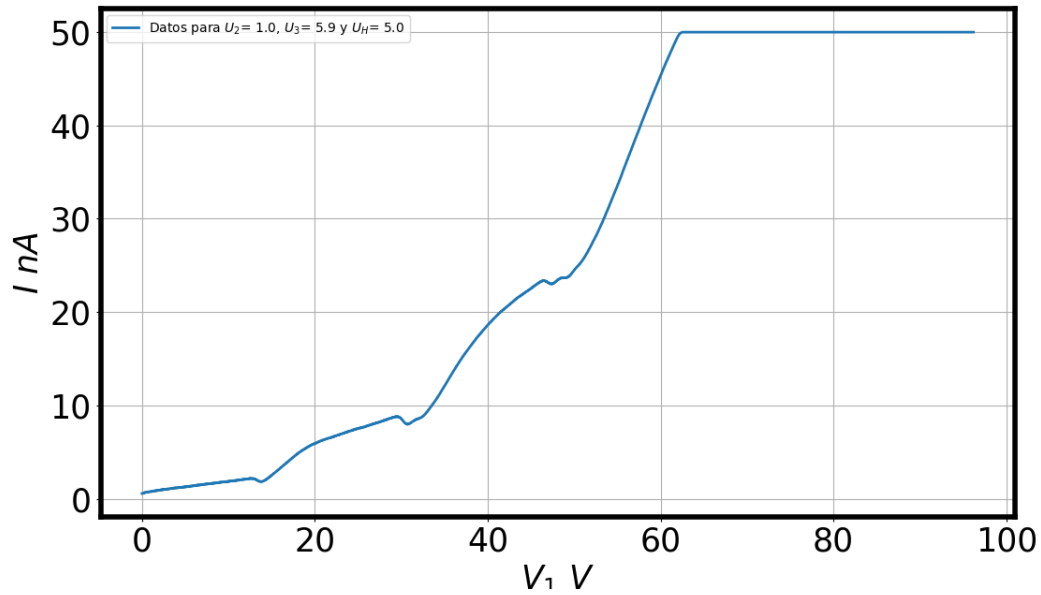


Figura 7: Representación gráfica de los valores tomados para las siguientes medidas: $U_2 = 1,0$ V, $U_3 = 5,9$ V y $U_H = 5,0$ V. En el eje de abscisas se representan los valores de V_1 , mientras que en el eje de ordenadas se representa la intensidad de corriente.

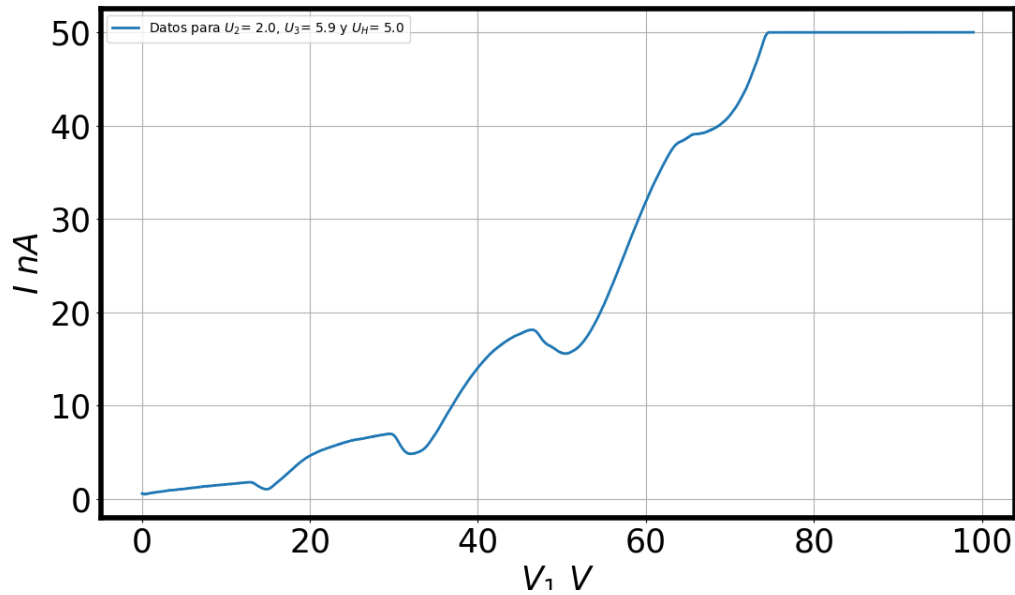


Figura 8: Representación gráfica de los valores tomados para las siguientes medidas: $U_2 = 2,0$ V, $U_3 = 5,9$ V y $U_H = 5,0$ V. En el eje de abscisas se representan los valores de V_1 , mientras que en el eje de ordenadas se representa la intensidad de corriente.

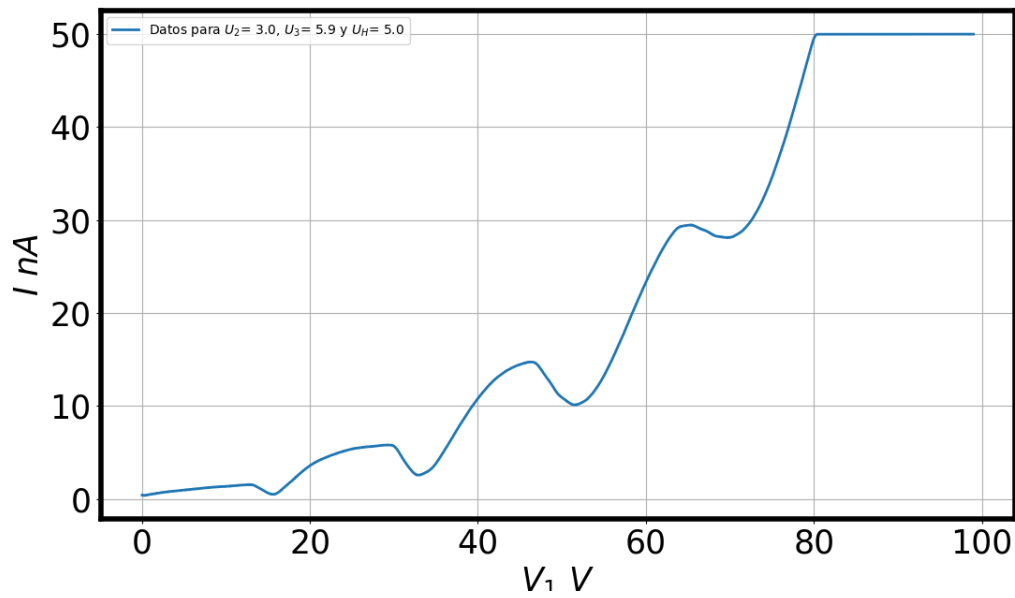


Figura 9: Representación gráfica de los valores tomados para las siguientes medidas: $U_2 = 3,0$ V, $U_3 = 5,9$ V y $U_H = 5,0$ V. En el eje de abscisas se representan los valores de V_1 , mientras que en el eje de ordenadas se representa la intensidad de corriente.

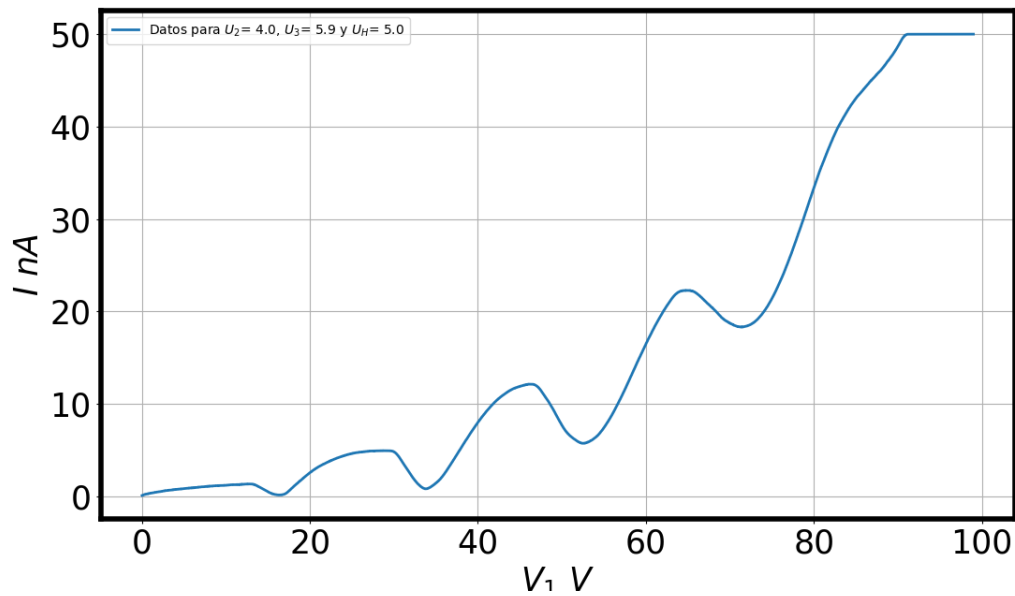


Figura 10: Representación gráfica de los valores tomados para las siguientes medidas: $U_2 = 4,0$ V, $U_3 = 5,9$ V y $U_H = 5,0$ V. En el eje de abscisas se representan los valores de V_1 , mientras que en el eje de ordenadas se representa la intensidad de corriente.

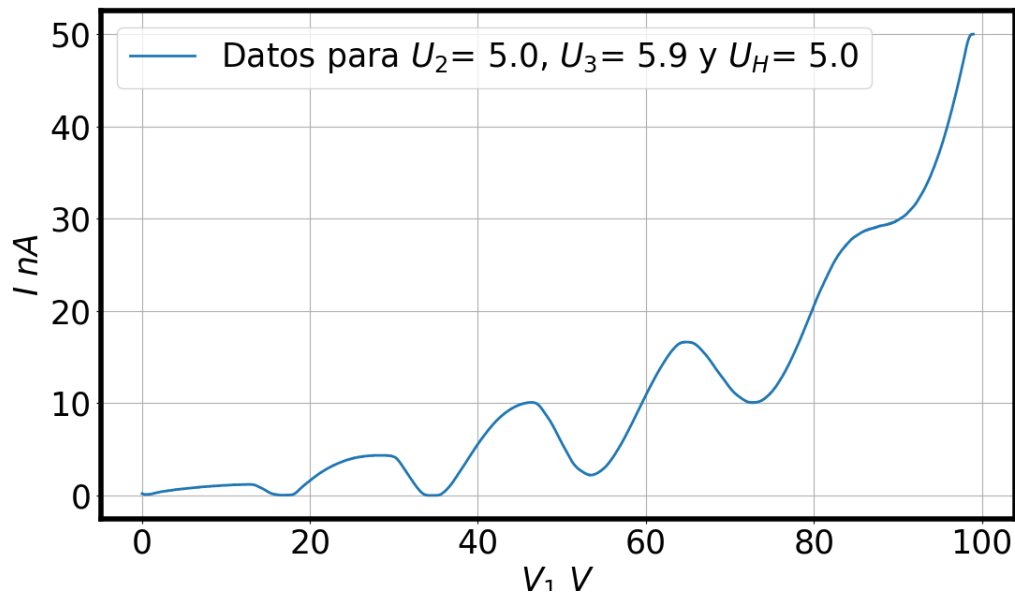


Figura 11: Representación gráfica de los valores tomados para las siguientes medidas: $U_2 = 5,0$ V, $U_3 = 5,9$ V y $U_H = 5,0$ V. En el eje de abscisas se representan los valores de V_1 , mientras que en el eje de ordenadas se representa la intensidad de corriente.

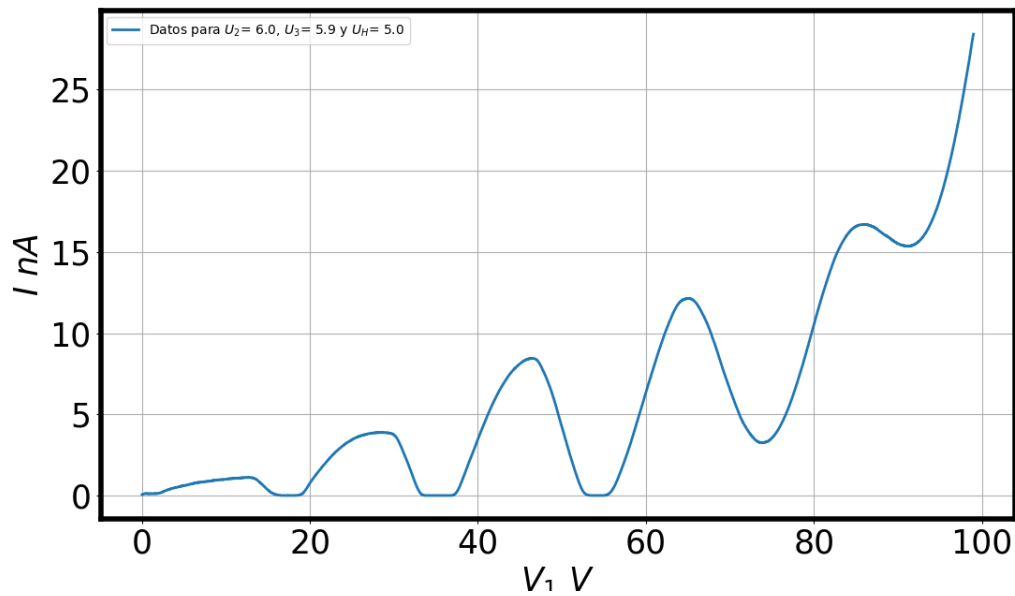


Figura 12: Representación gráfica de los valores tomados para las siguientes medidas: $U_2 = 6,0$ V, $U_3 = 5,9$ V y $U_H = 5,0$ V. En el eje de abscisas se representan los valores de V_1 , mientras que en el eje de ordenadas se representa la intensidad de corriente.

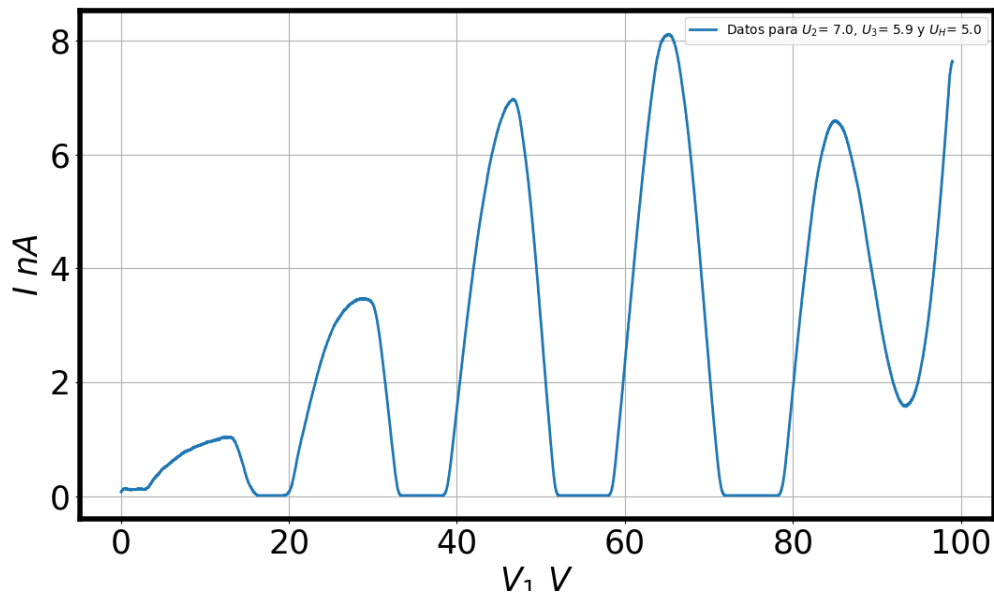


Figura 13: Representación gráfica de los valores tomados para las siguientes medidas: $U_2 = 7,0$ V, $U_3 = 5,9$ V y $U_H = 5,0$ V. En el eje de abscisas se representan los valores de V_1 , mientras que en el eje de ordenadas se representa la intensidad de corriente.

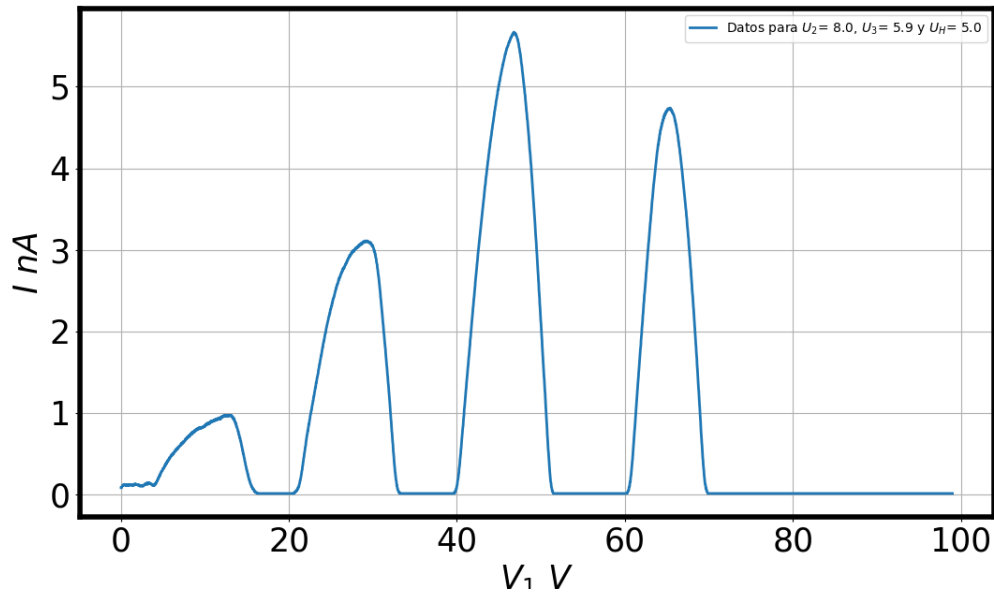


Figura 14: Representación gráfica de los valores tomados para las siguientes medidas: $U_2 = 8,0$ V, $U_3 = 5,9$ V y $U_H = 5,0$ V. En el eje de abscisas se representan los valores de V_1 , mientras que en el eje de ordenadas se representa la intensidad de corriente.

5.2.2. 2ª Medida

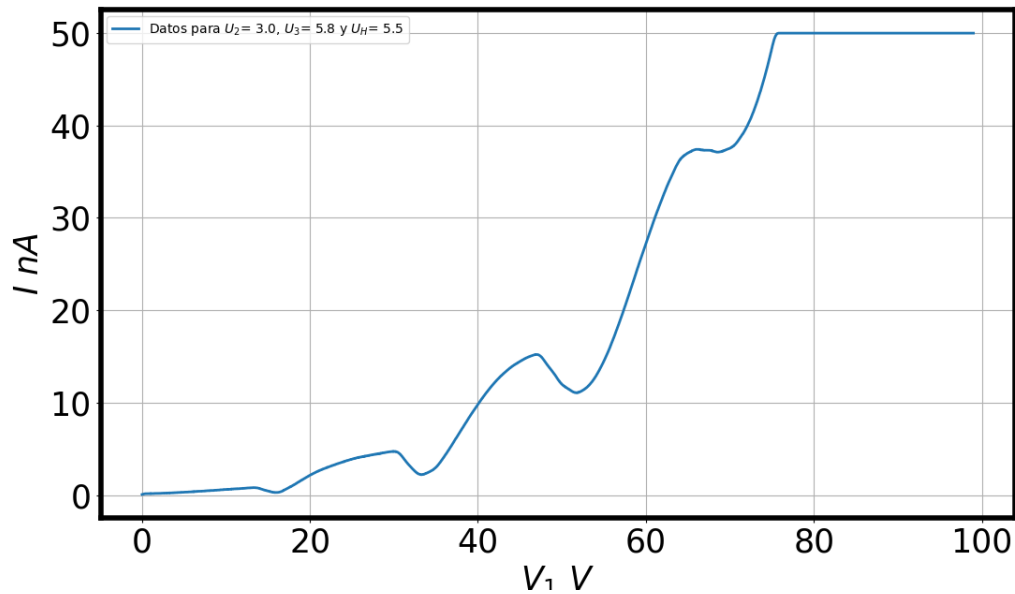


Figura 15: Representación gráfica de los valores tomados para las siguientes medidas: $U_2 = 3,0$ V, $U_3 = 5,8$ V y $U_H = 5,5$ V. En el eje de abscisas se representan los valores de V_1 , mientras que en el eje de ordenadas se representa la intensidad de corriente.

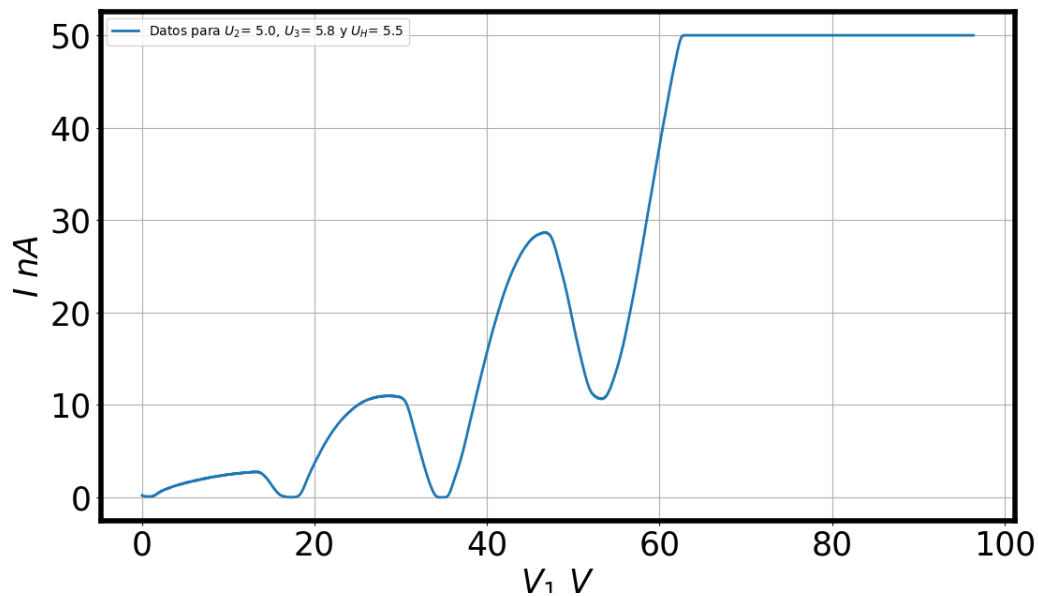


Figura 16: Representación gráfica de los valores tomados para las siguientes medidas: $U_2 = 5,0$ V, $U_3 = 5,8$ V y $U_H = 5,5$ V. En el eje de abscisas se representan los valores de V_1 , mientras que en el eje de ordenadas se representa la intensidad de corriente.

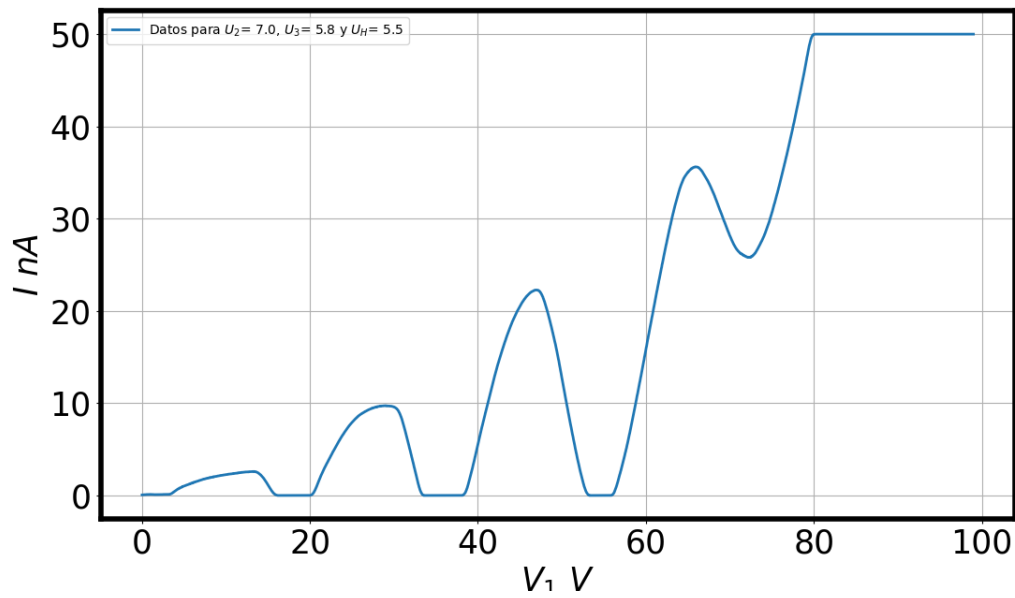


Figura 17: Representación gráfica de los valores tomados para las siguientes medidas: $U_2 = 7,0$ V, $U_3 = 5,8$ V y $U_H = 5,5$ V. En el eje de abscisas se representan los valores de V_1 , mientras que en el eje de ordenadas se representa la intensidad de corriente.

5.2.3. 3ª Medida

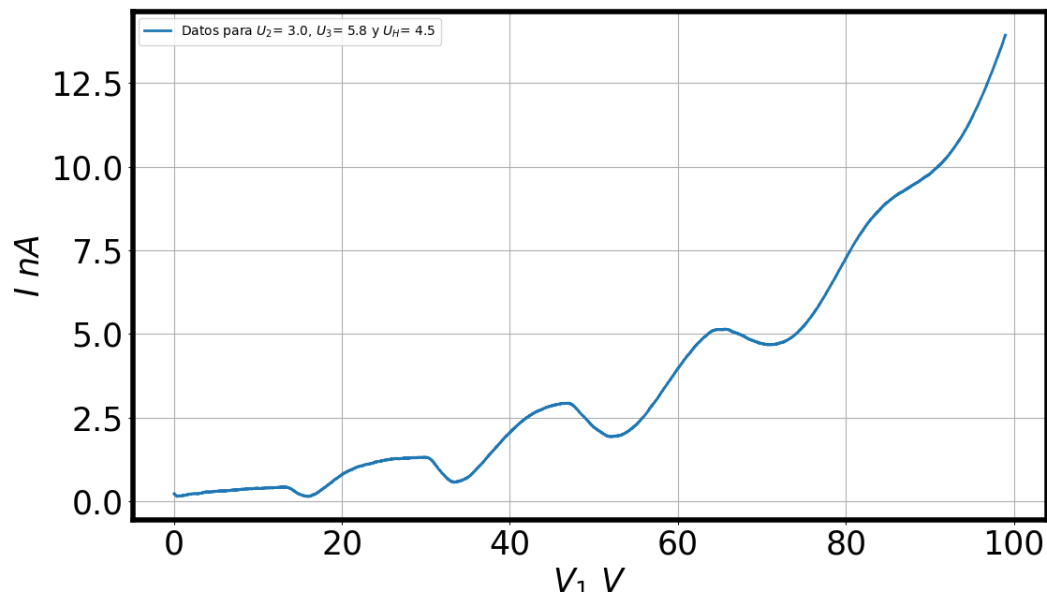


Figura 18: Representación gráfica de los valores tomados para las siguientes medidas: $U_2 = 3,0$ V, $U_3 = 5,8$ V y $U_H = 4,5$ V. En el eje de abscisas se representan los valores de V_1 , mientras que en el eje de ordenadas se representa la intensidad de corriente.

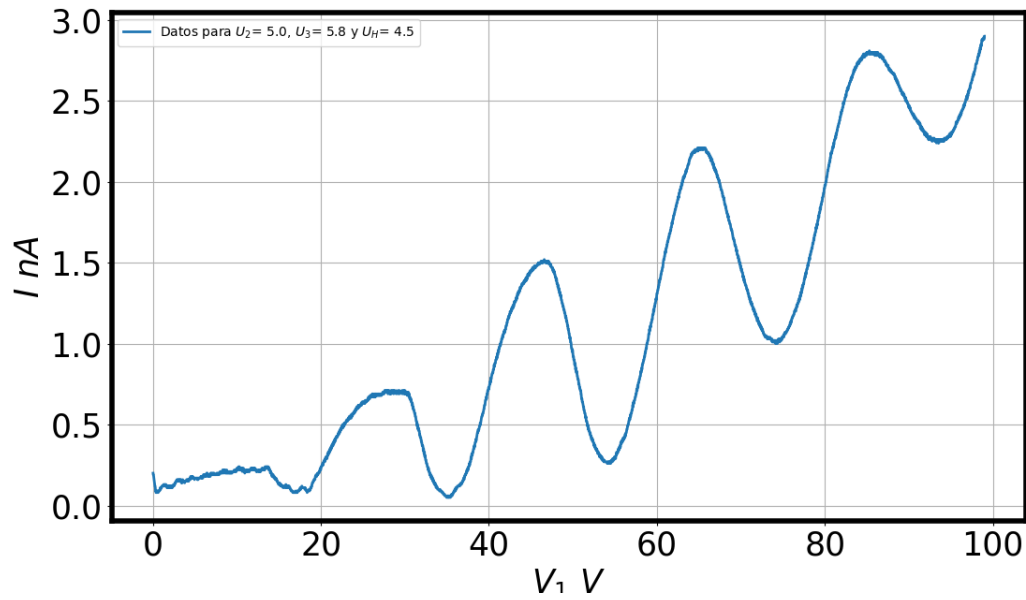


Figura 19: Representación gráfica de los valores tomados para las siguientes medidas: $U_2 = 5,0$ V, $U_3 = 5,8$ V y $U_H = 4,5$ V. En el eje de abscisas se representan los valores de V_1 , mientras que en el eje de ordenadas se representa la intensidad de corriente.

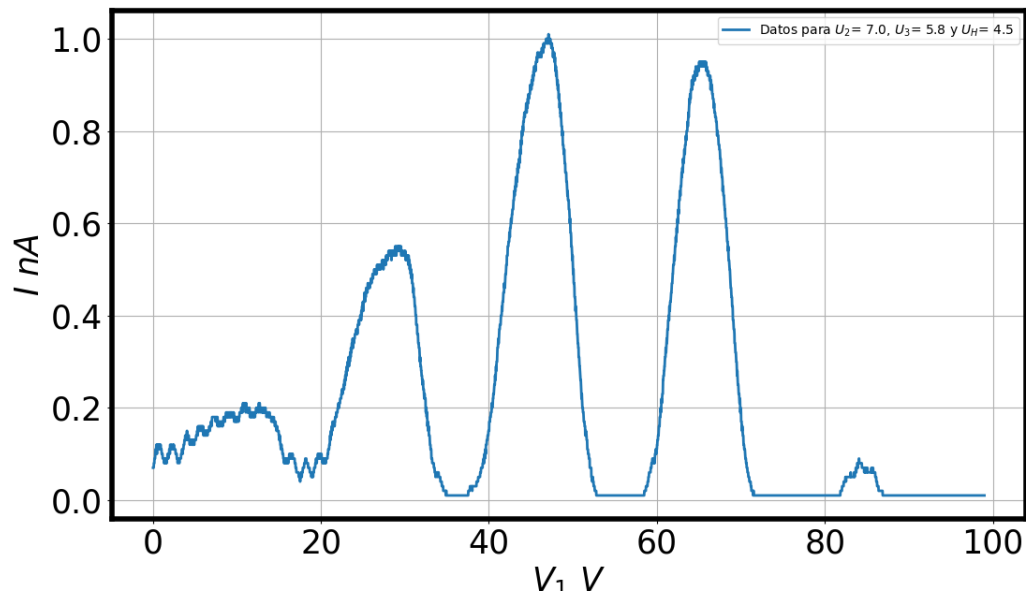


Figura 20: Representación gráfica de los valores tomados para las siguientes medidas: $U_2 = 7,0$ V, $U_3 = 5,8$ V y $U_H = 4,5$ V. En el eje de abscisas se representan los valores de V_1 , mientras que en el eje de ordenadas se representa la intensidad de corriente.

Referencias

[Dpto. Física At., 2025] Dpto. Física At., M. y. N. U. (2025). *Prácticas de Física Cuántica*.