

Tubo fotomultiplicador

L. A. Soto Ruiz

Laboratorio de Física II, ESFM-IPN, CDMX, México

Enviada 09 Octubre 2024

Un tubo fotomultiplicador es un detector óptico que acelera fotoelectrones desde un fotocátodo hacia dinodos, multiplicando electrones y generando una corriente considerable en el ánodo. Funciona con energías de 10^9 para pulsos cortos, produciendo gran ganancia por cada fotoelectron. En el experimento, se utilizó una fuente de luz y un monocromador para estudiar la respuesta del fotomultiplicador, que se conectó a un electrometro para medir la corriente generada. Se realizaron cambios en la fuente de luz, usando neón y zinc. Los resultados mostraron que la ganancia teórica y experimental diferían, y se obtuvieron líneas espectrales coincidentes con las conocidas para neón I y zinc I.

Keywords: *Fotomultiplicador, espectro atómico,*

1 Introducción

Un tubo fotomultiplicador es un detector de tipo óptico el cual se describe como cuándo aceleramos un fotoelectron en el vacío desde un fotocátodo a una serie de superficies que emiten electrones, llamadas dinodos, manteniendo progresivamente mas voltaje creando así una considerable multiplicación de electrones y una corriente substancial es recolectada por el ánodo. [1]

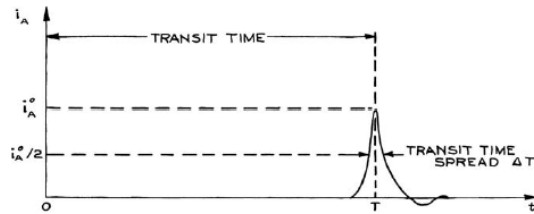


FIGURE 1. Típico pulso de ánodo producido por un fotomultiplicador por una sola emisión de un fotoelectron tomado de [1]

Los fotomultiplicadores operan con energías de 10^9 para haces cortos, dado su funcionamiento intrínseco los fotomultiplicadores pueden generar mucha ganancia por un solo fotoelectron, por ejemplo un solo pulso de 2 ns de duración contiene 10^9 fotoelectrones secundarios produciendo 4V sobre 50 OHMS al pasar por el fotomultiplicador.

Existen siete principales tipos de estructuras de dinodos, los cuales son

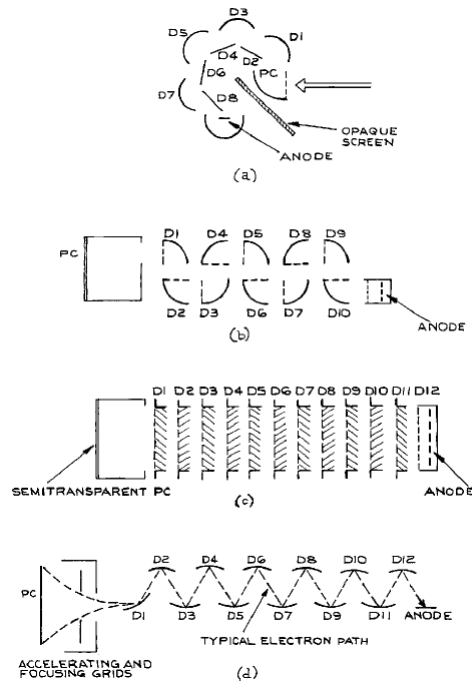


FIGURE 2. Diferentes tipos de estructuras de tubos fotomultiplicadores, tomado de [1]

El que usaremos es del tipo circular 1P28, el

cual es compacto y esta diseñado para tener una buena eficiencia de recolección de electrones y un tiempo pequeño de transito.

Para este caso podemos ver el manual del fotomultiplicador y obtener el funcionamiento teórico para poder comparar con las mediciones, estos son

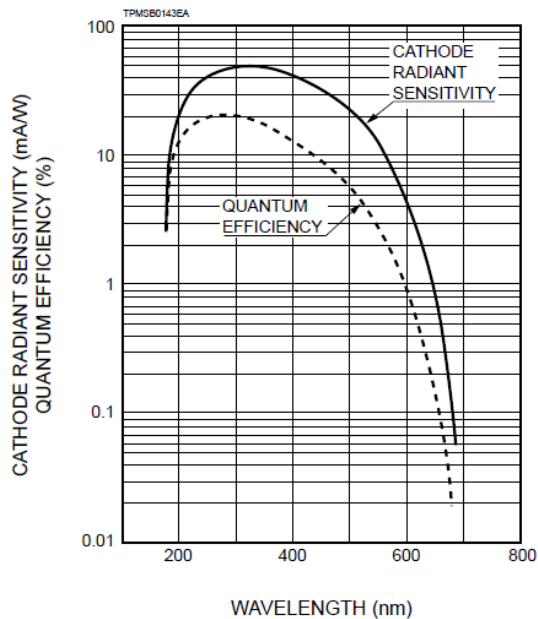


FIGURE 3. Funcionamiento teórico de respuesta espectral de un tubo fotomultiplicador IP28, tomado de [2]

Mientras que para el curva característica de ganancia del mismo esta dada por

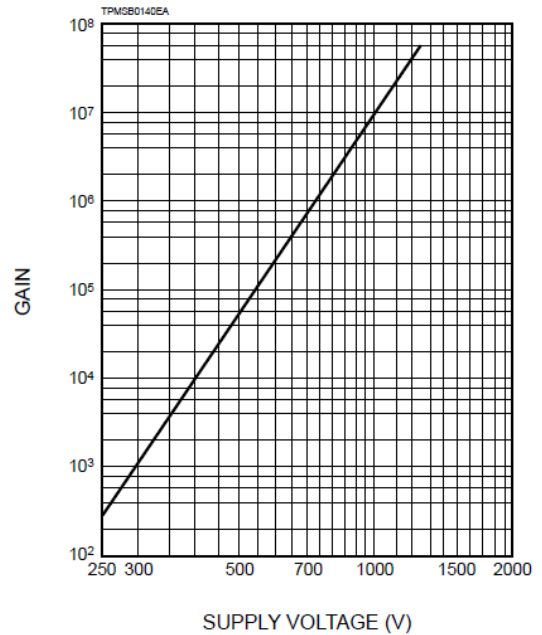


FIGURE 4. Curva teórica de ganancia típica de un fotomultiplicador IP28, tomado de [2]

2 Desarrollo

Para el montaje de este experimento se coloco en primer lugar una fuente de luz que fuimos cambiando dependiendo del experimento, después un monocromador y finalmente el tubo fotomultiplicador, el cual esta conectado a su fuente de voltaje y un electrometro que es con lo que tomaremos las mediciones en este experimento, como vimos anteriormente la ganancia promedio de un fotomultiplicador esta dada en términos de 10^9 por lo que eso usaremos para medir. Un ejemplo del montaje lo podemos encontrar en el Apéndice II

Para la primera parte de este experimentos tomamos un valor de longitud de onda constante tal que $\lambda \in (495, 570)nm$, verde, en este caso específico decidimos usar un valor de $\lambda = 540nm$ y variamos el voltaje desde $V = (-261, -1114)V$ y tomamos los valores dados por el electrómetro.

$$S(V); \lambda = \text{cte} = \text{"Verde"}; V \in (-261, -1114)V. \quad (1)$$

Para el segundo experimento cambiamos el mecánica, en este caso el contrario que el anterior, modificamos la longitud de onda " λ " y mantenemos constante el voltaje, así pues haciendo uso del monocromador pudimos variar la longitud de onda y tomar mediciones con ayuda del electrometro.

$$S(\lambda); V = \text{cte} = -900V; \lambda \in (350, 700)nm. \quad (2)$$

Finalmente para el tercer experimento cambiamos la fuente de luz de una blanca a una lampara de algún material en específico, por ejemplo en este caso utilizamos neón y zinc, estas al haber estado mucho tiempo sin ser utilizadas nos causo dificultad el tomar las mediciones ya que por ejemplo la de zinc, que originalmente era de criptón pero esta no logro encender lo suficiente, tampoco encendía del todo aunque lo hizo de mejor forma que la de criptón, en este experimento variamos la longitud de onda con el monocromador y veíamos el electrometro si este marcaba alguna variación dando indicio de que mas luz estaba llegando al fotomultiplicador y por ende se trataba de una linea del espectro de emisión atómico del material de la lampara.

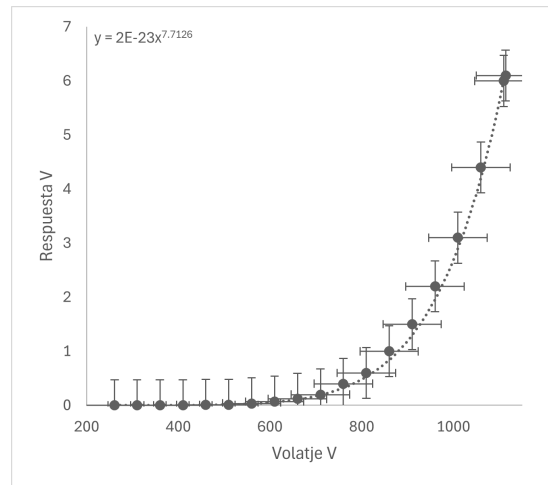


FIGURE 5. Gráfica Voltaje-Respuesta

Para un mejor análisis al tratarse de una función exponencial tomamos también una gráfica Voltaje-ln(Respuesta):

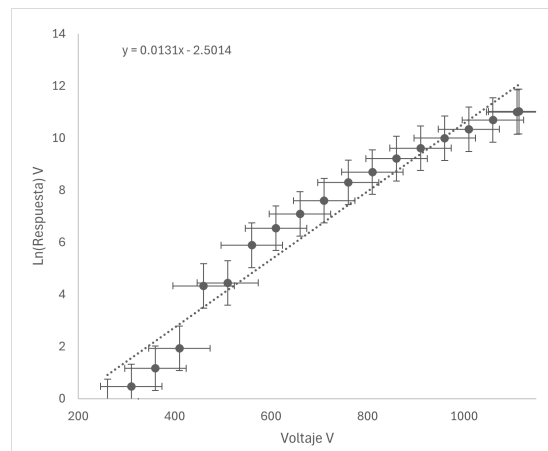


FIGURE 6. Gráfica Voltaje-ln(Respuesta)

3 Resultados

El en primer experimentos obtuvimos la siguiente relación Voltaje-Respuesta:

Para el segundo experimento se obtuvo una gráfica de forma de campana representando la función Longitud de onda - Respuesta del fotomultiplicador.

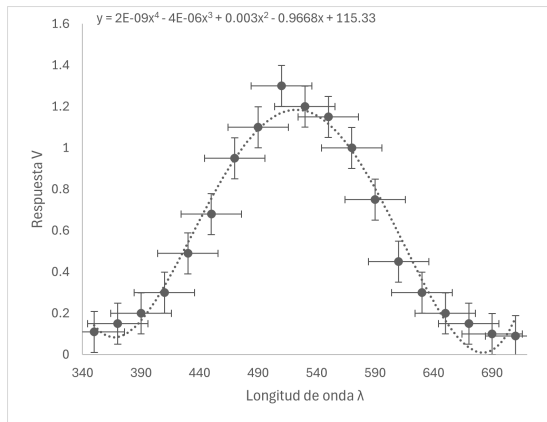


FIGURE 7. Gráfica Longitud de onda - Respuesta

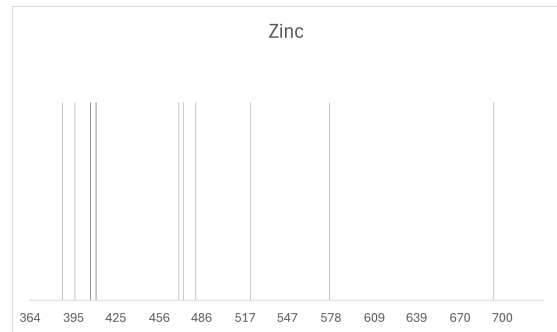


FIGURE 9. Gráfico de las líneas espectrales de Zn MEDIDAS

4 Análisis de resultados

Para el análisis de la repuesta de la primera lampara, Zinc, recopile los datos correspondientes del sitio web del Nist

Para la tercera parte del experimento se midieron respuesta en el fotomultiplicador en las siguientes longitudes de onda:

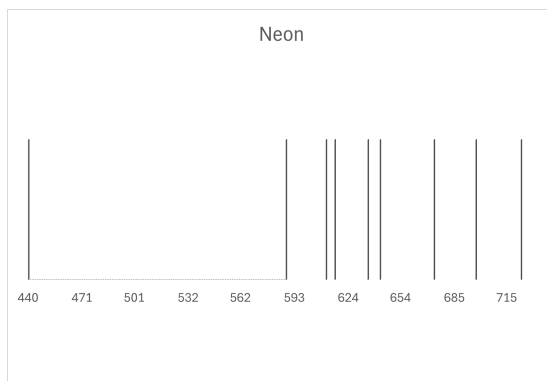
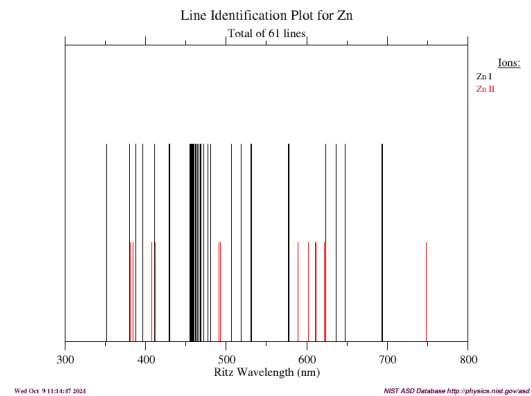


FIGURE 8. Gráfico de las líneas espectrales de Ne MEDIDAS

FIGURE 10. Gráfico de las líneas espectrales del Zn en un rango de $\lambda \in (350, 750)$ [3]

así pues comparando los datos anteriores con los medidos obtenemos la siguiente relación

ZINC

387	Zn I	388.33
396	Zn I	396.54
407	Zn II	407.81
411	Zn I	411.32
470	Zn I	469.14
473	Zn I	472.52
482	Zn I	481.05
521	Zn I	518.19
577	Zn I	577.21
694	Zn I	694.31

TABLE I. Relación de mediciones y datos de las líneas espectrales de Zn

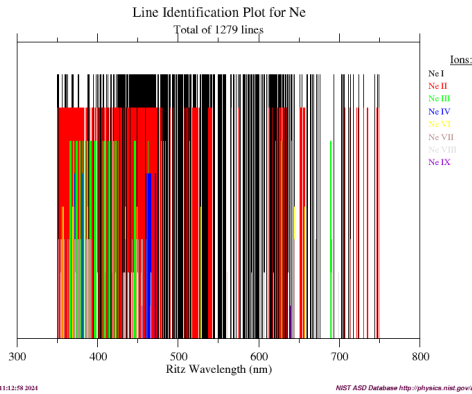


FIGURE 12. Gráfico de las líneas espectrales del Ne en un rango de $\lambda \in (350, 750)$ [3]

Así pues podemos asegurar de que se trata específicamente de ZnI

Después comparando estos datos con los medidos obtenemos la siguiente relación

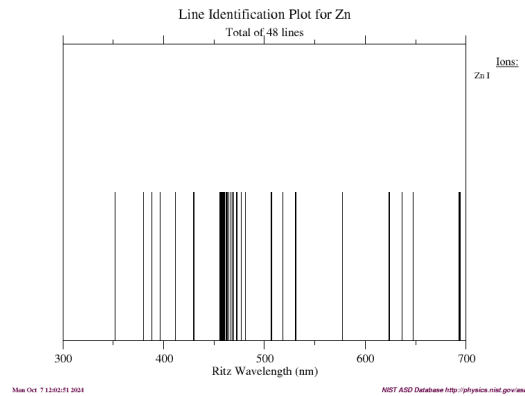


FIGURE 11. Gráfico de las líneas espectrales del Zn I en un rango de $\lambda \in (350, 750)$ [3]

NEÓN

440.000	Ne I	439.81, 440.23
588.000	Ne I	588.18
611.000	Ne I	611.8
616.000	Ne I	618.35
635.000	Ne I	635.18
642.000	Ne I	642.17
673.000	Ne I	673.8
697.000	Ne I	702.4
723.000	Ne II	723.51

TABLE II. Relación de mediciones y datos de las líneas espectrales de Ne

Hacemos lo mismo para el caso del Neón, primero obteniendo los datos de sus longitudes de onda

Lo que nos permite asegurar que se trata de Ne I cuyas líneas espectrales son

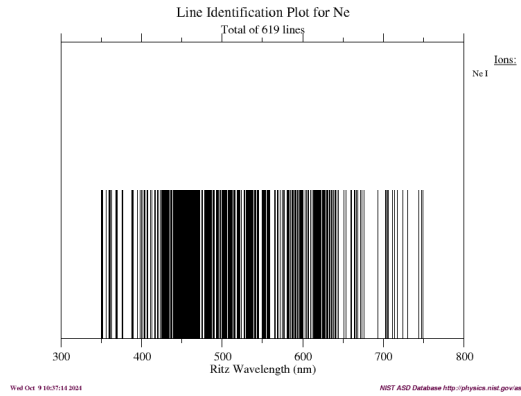


FIGURE 13. Gráfico de las líneas espectrales del Ne I en un rango de $\lambda \in (350, 750)$ [3]

5 Conclusión

En este experimento primero aprendimos el uso y operación de un fotomultiplicador, para esto fueron los dos primeros experimentos, en estos pudimos ver como la primera curva que es la gráfica de ganancia aparentemente de lineal en la teoría mientras que experimentalmente obtenemos

una curva exponencial, algo similar sucede con la segunda curva que experimentalmente se ve como una curva de campana en la teoría si presenta una curva similar pero varía en ambos extremos con respecto de lo medido; sin embargo en el tercero obtuvimos las líneas espectrales de dos lámparas de materiales distintos, estos siendo neón y zinc, viendo así que estas coinciden con las líneas espectrales conocidas de estos materiales.

6 Referencias

1. J. H. Moore, C. C. Davis, M. A. Coplan, and S. C. Greer, "Building scientific apparatus," pp. 555–556, Cambridge: Cambridge University Press, 2009.
2. "1P28 Datasheet pdf - PHOTOMULTIPLIER TUBE - Hamamatsu Corporation," Oct. 2024. [Online; accessed 9. Oct. 2024].
3. A. Kramida, Yu. Ralchenko, J. Reader, and NIST ASD Team. NIST Atomic Spectra Database (ver. 5.11), [Online]. Available: <https://physics.nist.gov/asd> [2024, October 7]. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD., 2023.

7 Apéndice I: Tablas

Voltaje	Respuesta
-261	0.00009
-310	0.00016
-360	0.00032
-410	0.00069
-460	0.0076
-510	0.0085
-560	0.036
-610	0.069
-660	0.12
-710	0.2
-760	0.4
-810	0.6
-860	1
-910	1.5
-960	2.2
-1010	3.1
-1060	4.4
-1110	6
-1114	6.1

TABLE III. Primer experimento

$\lambda(\text{nm})$	Respuesta
350	0.11
370	0.15
390	0.2
410	0.3
430	0.49
450	0.68
470	0.95
490	1.1
510	1.3
530	1.2
550	1.15
570	1
590	0.75
610	0.45
630	0.3
650	0.2
670	0.15
690	0.1
710	0.09

TABLE IV. Segundo experimento

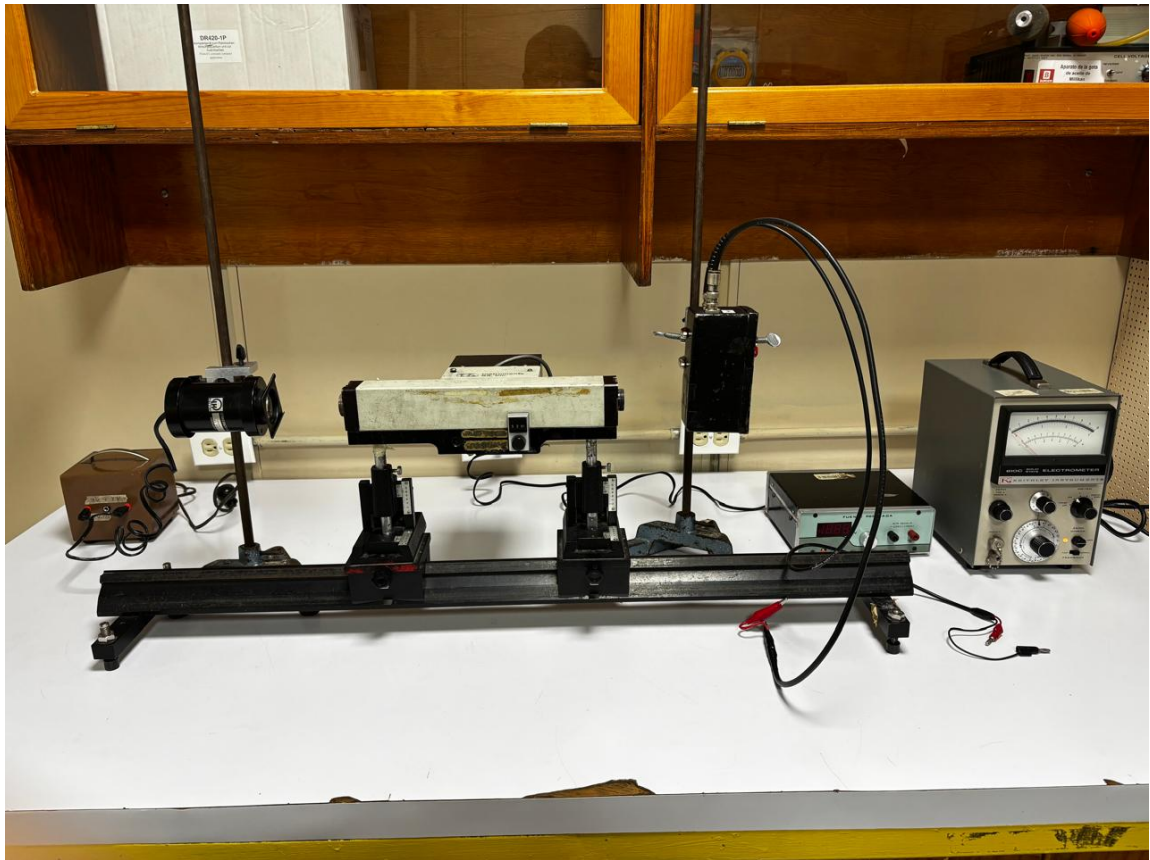
8 Fotos

FIGURE 14. Montaje ilustrativo