



TUBOS FOTOMULTIPLICADORES: ¿QUÉ MULTIPLICAN?

MARÍA JOSÉ CANSECO
Ingeniería Ambiental, 3^{er} semestre

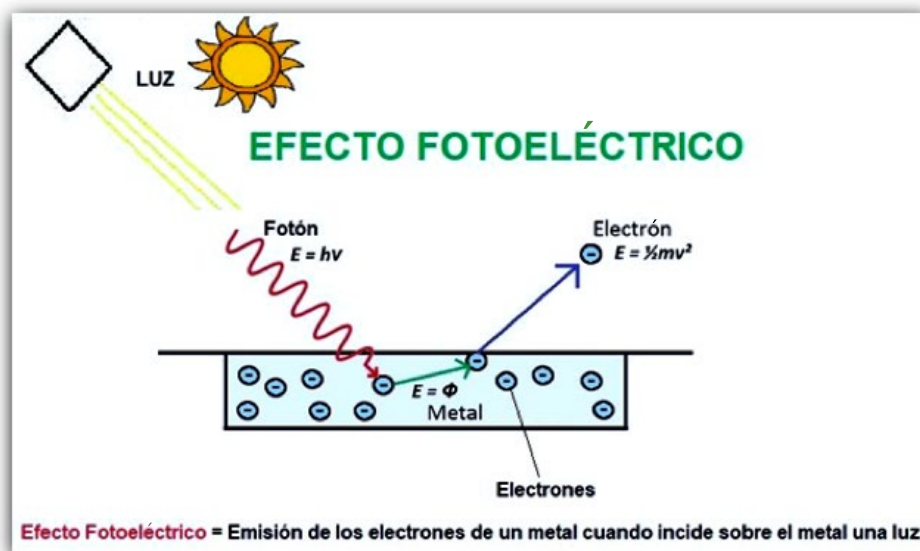


Imagen 1. Diagrama del efecto fotoeléctrico. Tomado de: <https://www.areatecnologia.com/electricidad/efecto-fotoelectrico.html>

Probablemente alguna vez hayas escuchado sobre Albert Einstein y la teoría de la relatividad, la cual se considera el aporte más grande de su carrera a la física, tanto que permitió que ramas como la cuántica se desarrollarán. Más allá de este aporte, la razón por la que recibió el premio Nobel en 1922 no fue la relatividad, sino la explicación del “efecto fotoeléctrico”.

Aunque suene un poco complejo, la explicación se puede resumir de forma sencilla: supongamos que tenemos una placa de metal sobre la cual se inciden fotones (las par-

tículas de la luz) a una frecuencia baja, esto provoca que en el material se genere una diferencia de potencial entre el cátodo (polo negativo del material) y el ánodo (polo positivo del material), lo cual hace que de este fotón (que se transforma en energía), se generen electrones que son proporcionales a la magnitud de frecuencia del fotón. Es decir, entre más frecuencia tenga la luz que se incide al metal, más electrones se generarán, como en el caso supuesto la frecuencia es baja, la cantidad de electrones generada también es pequeña.



Es importante para nosotros entender qué es el efecto fotoeléctrico y su relación con la frecuencia de las partículas que provocan que se lleve a cabo, ya que es la ciencia tras los tubos fotomultiplicadores. Pero antes de entrar al tema, ¿por qué son importantes estos fotomultiplicadores?

Cuando hablamos de la luz debemos distinguir dos tipos: la visible, que es energía electromagnética radiante que puede ser percibida por el sentido de la vista, es decir, que se encuentra en el rango del espectro visible. Este espectro tiene una energía aproximada de 1.59 eV y longitudes de onda que van de los 380 a los 780 nm; y la invisible, por debajo de este espectro visible se encuentran los rayos de luz infrarroja.

En estos tenemos una subdivisión que corresponde a los rayos infrarrojos submilimétricos, la magnitud que representa la energía de este tipo es de 1.24 meV (orden de los milis) y su longitud de onda es del orden de los milímetros. En este punto es importante aclarar que hay luz que no podemos ver debido a su longitud de onda y, por lo tanto, hay que buscar maneras para interpretar algunos fenómenos que ocurren fuera de nuestro mortal alcance porque nos conciernen. Por ejemplo, ¿cómo medir la calidad del aire?, ¿cómo medir la incidencia de energía de algunos rayos en cámaras gamma?

Tomando en cuenta los párrafos anteriores, tomemos puntos importantes que debemos de tener completamente claros:

1. Hay luz que no podemos percibir debido a que es muy débil.
2. Hay fenómenos que debemos estudiar que tienen la característica anterior.
3. El efecto fotoeléctrico trabaja con la frecuencia de la luz y lo que produce son electrones.

4. Entre mayor frecuencia, mayor es la cantidad de electrones generados.

Con lo anterior entendido, ¿qué pasa si nuestra frecuencia es tan baja que la cantidad de electrones generados no son suficientes para que las máquinas actuales interpreten estos datos? Bueno, Dios bendiga los fotomultiplicadores y te explicaré la razón.

De forma sencilla, es un dispositivo que nos permite medir niveles de luz muy bajos con base en el efecto que expliqué anteriormente y multiplicando entonces muchísimos electrones. De un solo fotón de luz UV (3.26 eV de energía), podemos obtener aproximadamente un millón de electrones. Yupi, lluvia de electrones, pero ¿cómo se hace esto?

Pues para esto, primero hay que entender algunos conceptos clave en la composición del fotomultiplicador. No se asusten si creen que parece un arma sacada de alguna película de *Star Wars*. Todos los componentes del fotomultiplicador están dentro de un tubo y se encuentran al vacío, es decir, libre de presión porque no queremos que nada interfiera dentro de él, es decir, los componentes necesitan un ambiente controlado.

El tubo se puede observar en la imagen 2. En la parte superior, parece como si todo estuviera compuesto de metal, pero no es así, la parte del área transversal de la tapa está compuesta por cristal que permite que la luz entre, los bordes interiores parecen estar compuestos por un material espejado, el cual tiene una función importantísima: no deja que ningún rayo se escape. Lo siguiente que encontraremos será el fotocátodo, de hecho, es la parte del fotomultiplicador que está destinada a descargar electrones cuando se expone a cierto nivel de luminosidad, es decir, es la parte que realiza el efecto fotoeléctrico. Después nos encontraremos con los dínodos,



que son los electrodos responsables de que los electrones se multipliquen; aquí es importante mencionar que un tubo fotomultiplicador puede tener entre 10-12 dínodos, cada uno con una tensión mayor entre 90-110 V, que el anterior que estaba ante él en la distribución del tubo. La plaquita del final que se observa en la imagen se le conoce como ánodo y es la placa positiva del tubo, la cual tiene como propósito almacenar todos los electrones que fueron generados porque como sabemos, los opuestos se atraen. Para finalizar, se observan unas patitas de metal que hacen parecer a nuestro tubito como marciano, estas patitas son las conexiones que nos permiten unir el dispositivo a una computadora e interpretar todos nuestros electroncitos.



Imagen 2. Tubo fotomultiplicador y sus componentes.
Tomado de: <https://www.industry-plaza.com/amplifier-unit-c5594-p89465653.html>

Pero ¿cómo funciona entonces? Si entendimos el propósito de cada componente, esto será “papita”, te lo resumo en seis pasos:

1. La luz incide en el fotocátodo, es decir, atraviesa la parte de cristal y llega al componente que lleva a cabo el efecto fotoeléctrico.
2. Los fotoelectrones generados son emitidos en el vacío.

3. Estos electrones se dirigen a los dínodos, los cuales forman una cadena. Para fines prácticos, recordemos el juego en donde te asignaban un número y tenías que recoger en el orden asignado a las demás personas, hasta que finalmente quedaba una cadena conformada por muchas personas. Estos dínodos tienen un orden asignado en donde el electron 1, se ve atraído al dínodo 1, cuando choca y llega a él, se genera un proceso llamado emisión secundaria y más electrones se producen. Después estos electrones se dirigen al dínodo 2, ocurre la misma reacción que en el dínodo anterior, y así es como obtenemos más y más electrones. ¿Ya se entiende como funciona?
4. El flujo total de todos los electrones generados hasta el último dínodo son recolectados por el ánodo, este funciona como si se tratara de una estación final en donde se quedan todos los electrones.
5. Estos electrones que generaron corriente eléctrica se leen como un pulso eléctrico que es interpretado por la computadora según el fin de lo que se quería estudiar, puede ser en modo de gráficas para leer concentraciones u otras variables.
6. ¡Taraaaan! Eso es todo.

Entonces, ya entendiste la base de lo que hace un fotomultiplicador y su importancia en la ciencia hoy en día. Si aún piensas que suena muy complicado e innecesario, una ventaja directa de esta maquinita es que nos ha brindado nuevas maneras de cuidar el medio ambiente a base de la medición de la calidad del aire, de día y de noche, con ayuda de otro proceso llamado quimioluminiscencia.

Esto es un poco más complejo, pero nos ahorra mucho dinero a comparación de máquinas que son caras y en donde sus resultados funcionan como aproximaciones. Un claro ejemplo de lugares en donde se realiza lo anterior es Beijing, la Defense Meteorological Satellite



Program-Operational Linescan System (DM-SP-OLS) los utiliza para medir la concentración de partículas PM2.5 por la noche, es decir, los fotomultiplicadores ayudan a interpretar estas partículas por medio de la luz infrarroja débil que emiten.

Los fotomultiplicadores también son utilizados en la NASA para satélites en donde su propósito cambia, ya que ahí su misión principal es estudiar a los electrones (su densidad, temperatura, concentración, etc). Un ejemplo es la misión del satélite Explorer 8, si te interesa, puedes consultarla en la página oficial de la NASA.

Así que ya sabes qué decir cuando alguien te pregunte si has escuchado sobre esta innovación tecnológica.

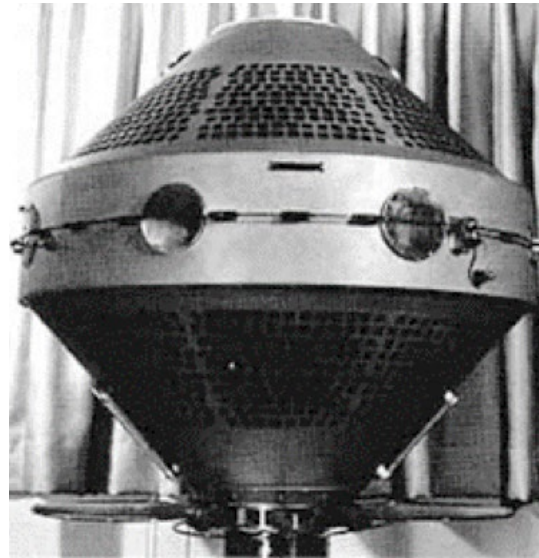


Imagen 3. Explorer 8. Tomado de: https://space.skyrocket.de/doc_sdat/explorers30htm

Referencias:

- Connor, N. (2020). Qué es el tubo fotomultiplicador – PMT – Definición. *Radiation Dosimetry*. <https://www.radiation-dosimetry.org/es/que-es-el-tubo-fotomultiplicador-pmt-definicion/>
- Khan Academy. (2020). Ondas electromagnéticas e interferencia. <https://es.khanacademy.org/science/physics/light-waves/introduction-to-light-waves/a/light-and-the-electromagnetic-spectrum?modal=1>
- Li, R., Li, X., & Liu, X. (2015). Estimation of the PM2.5 Pollution Levels in Beijing Based on Nighttime Light Data

- from the Defense Meteorological Satellite Program-Operational Linescan System. MDPI. <https://www.mdpi.com/2073-4433/6/5/607/htm>
- NASA. (2020). NASA-NSSDCA-Spacecraft-Details. <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=1960-014A>
- Observatorio Pierre Auger. (2018). ¿Qué es un Tubo Fotomultiplicador? <https://visitantes.auger.org.ar/index.php/que-es-un-tubo-fotomultiplicador/>