

Descarga glow

Grupo 17 - Flores Leandro*-Arias Daniel**

Resumen—El propósito de este trabajo es en primera instancia obtener las curvas tanto de tensión vs corriente para un tubo con aire a una dada presión baja p sobre el cual se aplica una diferencia de potencial mediante de dos electrodos colocados en su interior a una distancia d uno respecto del otro. Además dado que el sistema posee una tensión de ruptura a partir de la cual la corriente se dispara en varios ordenes de magnitud, se busca determinar la curva que relaciona ésta tensión de ruptura con el producto pd también conocida como ley de Paschen.



A principios y mediados del siglo XX, los ingenieros eléctricos se interesaron por utilizar las propiedades no lineales del plasma eléctrico en circuitos que contenían "tubos de gas" para regular corrientes y tensiones de forma a menudo bastante inteligente. Sin embargo, tras la llegada de los dispositivos de estado sólido, la importancia de la tecnología de los tubos de gas se redujo prácticamente a cero. Todavía se fabrican y utilizan contadores Geiger y algunos otros dispositivos especializados, pero las propiedades generales de las descargas eléctricas en los gases (plasmas) se han convertido casi en un arte perdido -sólo de interés histórico-, excepto entre los que siguen buscando la esquiua reacción de fusión continuaz los defensores del Universo Eléctrico. [2]

Se sabe que en condiciones normales un gas contiene un determinado numero de electrones e iones. La aplicación de una diferencia de potencial constante (tensión DC) entre dos electrodos colocados dentro de un tubo de vidrio con gas a baja presión produce una corriente debida al movimiento de los iones y electrones ya existentes. El terminal al que se conecta el voltaje más alto es el ánodo del tubo y el otro terminal es el cátodo. Los electrones que se originan en el cátodo se moverán a lo largo de un camino desde un punto de alto voltaje hacia un punto de bajo voltaje y los iones positivos cerca del ánodo se moverán en dirección opuesta. El voltaje a través del tubo de gas, valor de V_p , es una función altamente no lineal de la corriente, I (flujo de carga). Esto se observa en la figura 1.

Si la corriente es muy pequeña, no afectaría el equilibrio del gas, y su valor solo dependería de la velocidad con la cual los iones y los electrones llegan a los electrodos; así, esta aumenta casi linealmente con el potencial aplicado. Aumentando más el voltaje aplicado V_S , podemos romper el equilibrio, debido a la cantidad de electrones e iones que llegan a los electrodos y son neutralizados, aumentando el ratio de recombinación y reduciendo el número de partículas cargadas en el gas. Bajo esta situación, el incremento de la corriente con el potencial decrece gradualmente hasta el punto en el cual el número de partículas cargadas

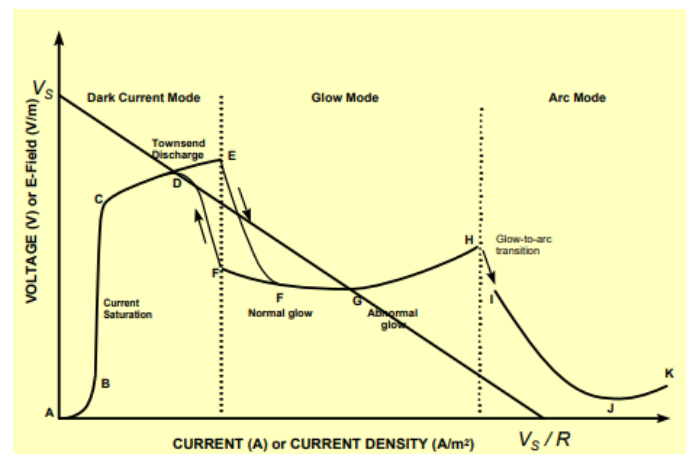


Figura 1. : curva típica del voltaje entre electrodos en función de la corriente a través del circuito. Esta representada también recta de carga, con pendiente V_S/R que determina el punto de trabajo.

producidas por el gas es igual al número que llega a los electrodos; a partir de este momento nos encontramos en la región de saturación, en la cual la corriente de la descarga es independiente del potencial aplicado. Continuando a lo largo de la región de saturación, con aumentos sucesivos del potencial, llegaremos a un incremento exponencial de la corriente con la tensión, debida a la presencia de electrones con energía suficiente para producir nuevos iones y electrones por colisión con los átomos neutros. Además, si el potencial es lo suficientemente alto, los iones son acelerados hacia el cátodo, chocando con él y extrayendo electrones secundarios de su superficie.

Aumentos adicionales del potencial incrementarán la producción de cargas por choques de electrones con los átomos neutros del gas y por emisión secundaria de los electrodos, lo cual lleva a un incremento sobre-exponencial de la corriente, seguido de un colapso del potencial a través de la descarga. Esta repentina transición se denomina ruptura, y se caracteriza por incrementos de varios órdenes de magnitud en la corriente con casi ningún incremento en el potencial por encima de la tensión de ruptura.

A partir de la ruptura tenemos una descarga autosostenida o también llamada descarga glow, pues el número de electrones secundarios producidos en el cátodo es suficiente

*leannicolaflores@gmail.com

**max.daniels77@gmail.com

para mantener la descarga, que, además, empieza a hacerse visible.

Comenzando en el punto G y reduciendo el valor de corriente (moviéndose hacia la izquierda en el gráfico), se observa una forma de histéresis en la curva interelectrónica. En el camino de regreso, la descarga luminosa visible se mantiene a corrientes considerablemente más bajas que en el punto F original y solo entonces, en un nuevo punto F, hace una transición de regreso a la región de Townsend en el punto D.

Cada punto de la curva de la figura 1 representa un par de valores (V_P, I) que satisfacen lo que requiere del circuito entre los terminales de electrodos, el plasma contenido dentro del tubo. Una línea recta trazada desde el origen de la figura 4 hasta cualquier punto particular de la curva, (V_P, I) , tiene una pendiente igual a V_P/I , que es la resistencia aparente efectiva del plasma cuando está operando en ese punto.

En el laboratorio, cualquier circuito que se disponga posee una resistencia óhmica R la cual establece un límite para la corriente alcanzable para un dado valor de voltaje de alimentación aplicado. Dado que el valor de la corriente de descarga determina que tipo de descarga se alcanza, el valor de R determina finalmente el tipo de descarga. En la Fig. 1 además de la curva de voltaje interelectrónico se indica además la recta de carga (ec. 1).

$$V_S = V_P - R I \quad (1)$$

Cualquier punto (S) de intersección de la gráfica de la línea de carga y la gráfica de voltios-amperios no lineal del plasma indica posibles pares de valores (V_P, I) en los que la descarga podría realizarse. Solo en tales puntos de intersección se satisfacen los requisitos sobre los valores simultáneos de V_P e I en ambas mitades del circuito. Estos se denominan "puntos de trabajo".

Considere lo que sucedería si ahora mantenemos la fuente de voltaje, V_S , constante pero aumentamos el valor de la resistencia, R . La intersección de la "línea de cargarecta con el eje horizontal se movería hacia la izquierda mientras que la intersección de la línea de carga con el eje vertical permanece fijo. De esa manera, el punto de operación podría reposicionarse, por ejemplo, en el punto C, y esta sería la única ubicación posible en la que el circuito podría operar, existiendo solo una intersección entre la línea de carga y la gráfica V-I del plasma para esos valores de V_S y R .

Por el contrario, reducir el valor óhmico de R podría hacer que el punto J se convierta en un posible punto de funcionamiento. De hecho, debido a que los plasmas intentarán reducir la fuerza sobre cada partícula cargada, el punto J sería el resultado probable. Si los electrodos no estuvieran diseñados para soportar una corriente de esta magnitud, bien podría ocurrir un derretimiento del tubo. Variando juiciosamente los valores de V_S y/o R , se puede trazar todo el diagrama de características del plasma no lineal. (Recordando siempre no seleccionar valores que puedan ubicar involuntariamente un punto de operación en el rango del arco).

Las características eléctricas de la descarga, como el voltaje de ruptura al que la descarga se hace visible (punto

E de la Figura 1), la forma general de la curva característica voltio-amperio y la estructura de la descarga dependen de la geometría de los electrodos, la distancia entre cátodo y ánodo, la forma del recipiente, el gas particular utilizado, su presión, temperatura y el material del electrodo.

Existe una relación bien conocida (ec. 2), llamada Ley de Paschen, que cuantifica la compensación entre las tres cantidades determinantes: entre la separación distancia entre electrodos (d), la presión (p) y el voltaje de ruptura (V_t).

$$V_t = \frac{A(p d)}{\ln(p d) + B} \quad (2)$$

Las curvas representadas por esta ecuación tienen un mínimo que corresponde al mínimo voltaje de ruptura del gas que corresponde al punto en que los electrones poseen la máxima capacidad de ionización.

El dispositivo para este trabajo, el cual se describe en la sección siguiente, trabaja en el régimen de la descarga luminiscente, y su comportamiento V vs. I será estudiado para el caso en que el gas sea aire a una determinada presión. Nos relacionamos con los instrumentos que hacen posible la alimentación del circuito para que se produzca descarga, los instrumentos de medición en laboratorio para obtener el voltaje y la corriente y la adquisición automática de datos. También se estudiará el comportamiento del voltaje de ruptura cuando variamos el producto de la presión con la distancia V_t vs. $p d$.

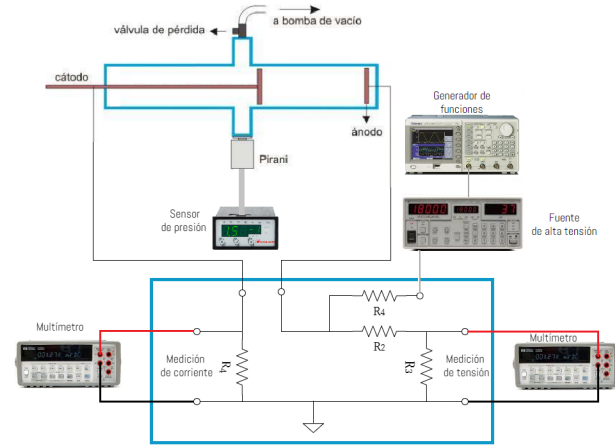


Figura 2. En el siguiente esquema experimental se puede observar en celeste, el tubo dentro del cual se encuentran dos electrodos, éste tiene conectado en uno de sus lados una bomba de vacío y en el otro, un medidor Pirani junto a un conversor ADC *Edwards Standard controller MKII Enhanced* para medir la presión. Además consta de un divisor resistivo (enmarcado en azul) conectado a 2 multímetros de banco HP 34401A con el objetivo de monitorear caídas de tensión y corriente entre los electrodos a baja tensión. Finalmente el sistema posee una fuente de alta tensión Stanford PS325 para la alimentación del circuito, la cual es controlada mediante un generador de funciones Tektronix AFG 3021B.

Parte experimental

Para la experimentación se armó un dispositivo como el representado en el esquema de la figura 2.

Dado que para obtener los perfiles de corriente vs voltaje como para las curvas de Paschen es necesario conocer tensión y corriente entre ánodo y cátodo, se optó por utilizar 2

múltímetros de banco HP 34401A. Para este fin y puesto que las tensiones involucradas en el experimento se encuentran en el rango 0-1000v, se utilizó un dispositivo (provisto en el laboratorio) el cual mediante un divisor resistivo, permite monitorear en baja tensión las caídas de potencial y la corriente entre ánodo y cátodo. Para poder determinar los factores de escala inducidos por el divisor, se procedió a desarmar la caja, el circuito interno puede apreciarse en la parte inferior de la figura 2.

Para determinar el factor de escala en la corriente es necesario medir la caída de tensión (V_4) sobre la resistencia R_4 , la cual fue medida entre los bornes de la caja marcados con el nombre de *corriente* con el multímetro de banco y luego, dado que la resistencia $R_4 = (149,0 \pm 0,1)\Omega$ se llegó a la ecuación 3 la cual fija el factor de escala en 149 PONER ERROR.

$$I_{med} = R_4 V_4 \quad (3)$$

Para determinar el factor de escala en la caída de tensión entre electrodos, se partió de la tensión de la fuente V y teniendo en cuenta que los valores de las resistencias $R_3 = (56k,1 \pm 0,1)\Omega$ y $R_2 = 57M\Omega$, se pasa del sistema de ecuaciones 4 a la ecuación 5 lo que permite concluir que el factor de escala a la salida del borne llamado *tensión* es 1018PONERERROR veces más chica que la tensión de la fuente de alto voltaje (??).

$$\left. \begin{aligned} I &= \frac{V}{R_2 + R_3} \\ I &= \frac{V_{med}}{R_3} \end{aligned} \right\} \Rightarrow V_{med} = \left(\frac{R_3}{R_3 + R_2} \right) V \quad (4)$$

$$V_{med} = \left(\frac{1}{1018} \right) V \quad (5)$$

El registro de los datos se realizó en etapas a fin de poder caracterizar el perfil de V vs I en todo el rango incluso en la zona donde el salto en corriente es muy rápido y de varios ordenes de magnitud. Para esto, se procedió en primera instancia a realizar un barrido de voltajes. Esto se realizó enviando desde el generador de funciones una señal de rampa simétrica hacia el canal de control de la fuente de alta tensión, esto permite que durante el flanco de subida de la rampa registrar el proceso de encendido del glow, mientras que en su descenso el de apagado. La frecuencia de la rampa se fijó en $25mHz$ con el fin de que el tiempo en las rampas tanto de subida como de bajada de 200 segundos. Esto permitió, dado el tiempo de adquisición de los datos, obtener 200 puntos para las mediciones 1 y 2.

La fuente de alto voltaje Stanford PS325 posee en su canal de control un rango de 0 – 10v el cual samplea en él todo el rango de salida 0 – 2500v. Puesto que el objetivo es trabajar en el rango de 0 – 1000v, el voltaje máximo que emitirá el generador de funciones se fijó en 3.6v. Para automatizar la toma de datos, se fijó la fuente en modo *rear* (control remoto) y se desarrolló un script, el cual permitió determinar el tiempo de adquisición el cual fue de aproximadamente 1s para la medición de corriente y voltaje. Este fue un paso importante ya que al tener una frecuencia de adquisición tan lenta fue un paso crucial para determinar la frecuencia del generador de funciones.

Dado que uno de los principales objetivos era registrar al máximo posible el comportamiento en la región donde

el crecimiento en corriente era sumamente rápido (de varios ordenes de magnitud) fue necesario dividir la toma de datos en 3 regiones o formas operativas de toma de datos, las dos primeras fueron haciendo uso de la rampa previamente descritas en distintos rangos de voltaje, para el primero se simple el completo del rango operativo fijado (0 – 1000v), mientras que en la segunda, se redujo el rango a INSERTAR RANGO, estas mediciones se pueden apreciar en la figura 3 bajo los nombres mediciones 1 y 2, en ellas se puede observar que la brecha entre la columna izquierda y los datos se ve reducida gracias a la segunda medición. Para poder caracterizar el intervalo que va de 0 – 0,4mA fue necesario recurrir a otro método ya que el crecimiento abrupto de la corriente no podía ser determinado utilizando el método anterior, para esto se procedió a variar el voltaje de salida de la fuente de alta tensión al mismo tiempo que se limitaba la corriente de salida, cabe destacar que este proceso fue manual, por lo que la cantidad de puntos obtenidos fue menor, pero permite dar cuenta de una región la cual en la bibliografía consultada, se describía de manera representativa.

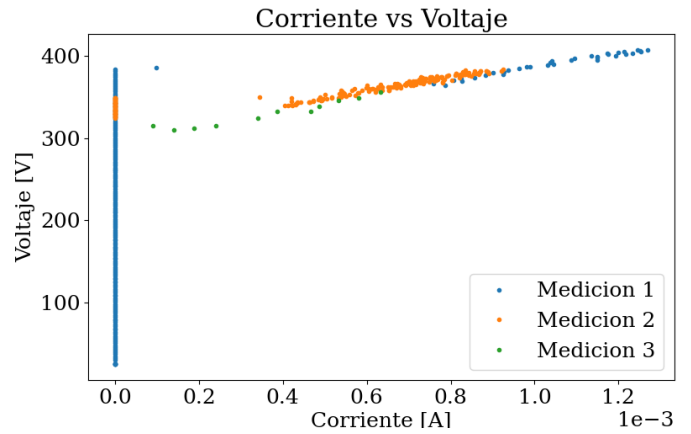


Figura 3.

Para adquirir los valores de voltaje de la curva de Paschen el control de la fuente fue manual, se setó la fuente en *mon* (el led *rear* tiene que estar apagado). EL proceso para registrar los datos fue el siguiente, se partió de un voltaje de salida tal que no se registre corriente en el circuito y se fue aumentando gradualmente hasta observar el salto de corriente, se consideró como voltaje de ruptura el voltaje para el cual la corriente se disparaba. Posteriormente se realizaron 2 ajustes no lineales haciendo uso de la ecuación 2. Tanto las mediciones como los ajustes correspondientes se ven reflejados en la figura 4, es importante mencionar que la toma de puntos para este experimento insuficiente, dado que se tomaron 2 tandas de datos, esta a presión fija y distancia variable y otra a presión variable y distancia fija, el problema radica en que las 2 mediciones operan en intervalos similares y dado que no hay una mejora relevante en la información, se decidió utilizar la medición a distancia variable. Otro punto a tener en cuenta es que como se puede observar en el gráfico, se realizaron ajustes por 2 métodos distintos, el primero utilizando el paquete *curve_fit* de la librería *scipy*, el cual utiliza un algoritmo de cuadrados mínimos; este ajuste se puede observar a simple vista que

no es el mas óptimo dado que la curva se desvía hacia abajo, este motivo aunque importante, no es suficiente para descartar de pleno el ajuste. Siguiendo la linea anterior, y como un argumento mas válido, se puede observar que el error es el eje x es es mayor que el del eje y, esto llevo a realizar otro tipo de ajuste minimizando la función χ^2 ; este método, al considerar los puntos en el eje x y mediante el paquete *minimize* de la librería *scipy.Optimize* permitió obtener una curva que se ajusta mejor a los datos.

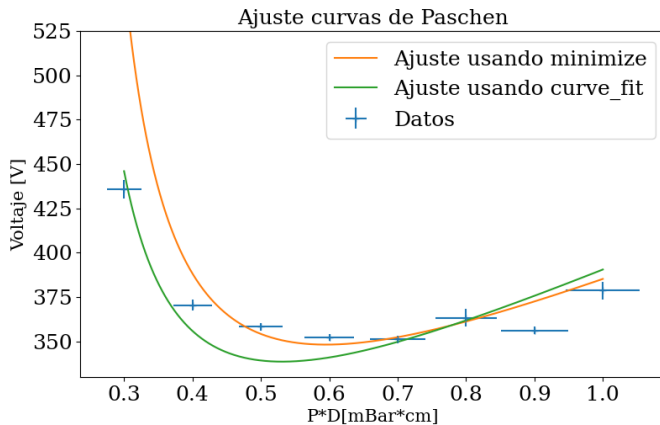


Figura 4. CAPTION

Discussion

*hay que hablar sobre la falta de puntos en el grafico
 *hay que hablar sobre la fuente que habia que ser cuidadoso con que se pasaba si le dabas vltajes altos.
 sobre

$$Y = a X + b \quad (6)$$

REFERENCIAS

- [1] R. Loudon, The Quantum Theory of light, Oxford Science Publications, 3rd ed. (Oxford, 2007), capítulo 3, p. 121.
- [2] Scott D.E. Primer on "Gas Discharges"
- [3] D. Leibfried, R. Blatt, C. Monroe, D. Wineland, Quantum dynamics of single trapped ions, Reviews of Modern Physics, Volume 75 (January 2003), sec. III, p. 289
- [4] D. Leibfried, R. Blatt, C. Monroe, D. Wineland, Quantum dynamics of single trapped ions, Reviews of Modern Physics, Volume 75 (January 2003), sec. III. B, p. 290
- [5] Christian Roos, PhD Thesis: Controlling the quantum state of trapped ions.
- [6] https://en.wikipedia.org/wiki/Rabi_cycle