

DESCARGA “GLOW” EN AIRE

Federico Frith*
federicofrith@hotmail.com

Alejandra Barrios*
alejandra.b.barrios@gmail.com

*Laboratorio 5-Departamento de Física-FCE y N, Universidad de Buenos Aires

Empleando un tubo de descarga con electrodos de aluminio, se estudió el comportamiento de la descarga en aire bajo tensiones elevadas (entre 200 V y 1000 V) y presión baja (alrededor de 0,22 mbar) encontrando descarga “glow”, es decir conducción por ionización, a través del gas para diferentes tensiones dependiendo de la distancia entre electrodos y la presión dentro del tubo. Estos datos fueron modelados por la curva que establece la ley de Paschen, hallando $V_{\text{quiebre}} = (324 \pm 25)V$ en $P \cdot D = (0,4 \pm 0,1) \text{ torr} \cdot \text{cm}$. Pudo además, observarse histéresis en el comportamiento del sistema y se llevó a cabo un análisis del espectro de emisión del aire bajo descarga “glow”, observándose líneas correspondientes al violeta y el azul.

INTRODUCCIÓN

Descarga “glow”

El efecto o descarga “glow” se observa básicamente en el estudio de descarga en gases cuando al aplicar una tensión DC elevada (>200 V), a presiones bajas (~0.22mbar-1.5 mbar), entre dos electrodos dentro del tubo, se observa la transición de un gas de ser no conductor a ser conductor para una tensión dada, llamada “Tensión de ruptura”. Una de las características apreciables a simple vista de la descarga “glow” es la emisión de luz, producto de la excitación de los niveles electrónicos de los átomos del gas por los electrones que se propagan a lo largo del tubo con energías de varios eV. Los colores presentes en la emisión de luz dependen básicamente de la composición del gas que se encuentre dentro del tubo. Las franjas de mayor o menor brillo regularmente distribuidas se deben principalmente a las energías ganadas por los electrones en el campo eléctrico generado por los electrodos. La región donde se forma el *Glow catódico* es justamente la región donde se forma una estructura de dos o tres capas de diferentes colores. En la práctica se llevo a cabo un análisis del espectro de emisión del aire en la descarga “glow” obteniéndose las líneas de emisión del aire.

Desde el punto de vista del circuito de descarga, el efecto glow se distingue por un abrupto aumento de la corriente, señal de que el gas se ha vuelto conductor. La explicación de este fenómeno esta relacionada con el de la descarga *Townsend*. Al comenzar a aumentar la tensión entre los electrodos se registra una pequeña corriente debido a algunos electrones libres en el gas. Al seguir aumentando la tensión los electrones adquieren la energía suficiente para arrancar electrones secundarios de las moléculas del gas. Esto genera un efecto cadena que se traduce en un crecimiento exponencial de la corriente con la tensión aplicada. Al seguir aumentando la tensión la relación corriente-tensión atraviesa varias etapas (figura. 1)

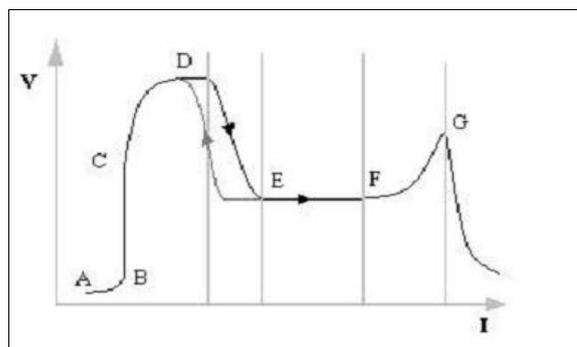


Figura 1: Curva de tensión interelectródica en función de la corriente

En la región A-B, la corriente es pequeña y las cargas no poseen suficiente energía para ionizar el gas.

En la región B-C, las cargas contribuyen a la corriente que se satura pero no se observa ionización masiva.

En la región C-D-E se produce la descarga *Townsend*, la corriente aumenta exponencialmente con la tensión aplicada y el gas se vuelve conductor.

En la región E-F, se observa el régimen del *glow normal*, la corriente aumenta a expensas del área del cátodo.

La región F-G, corresponde al *glow anormal*, el área de cátodo se cubre totalmente. En el punto G ocurre una descarga de arco entre ambos electrodos, mas allá de este punto la corriente disminuye drásticamente.

Si se realiza el camino inverso desde G hacia atrás no se vuelve por la misma curva, sino que se observa el fenómeno de Histéresis.

En la experiencia no se llegan a apreciar las regiones A-E ya que las corrientes involucradas y las variaciones de las mismas para estos regímenes escapan a la resolución del equipo empleado.

Ley de Paschen

En 1889 Paschen presentó una fórmula experimental que relacionaba la tensión o voltaje de ruptura en función de la presión y la distancia entre electrodos y que depende de cada gas. La forma funcional no es lineal sino que depende del producto de la presión con la distancia. Esta fórmula se puede modelar como:

$$V_R = \frac{A \cdot p \cdot d}{B + \ln(p \cdot d)} \quad (1)$$

Donde A y B son constantes de ajuste y B está relacionado con la emisión de electrones secundarios. En el presente trabajo se intentó identificar la curva de la figura 2 y se modeló la curva de Paschen para el aire comparando los valores de ajuste obtenidos con valores tabulados [2]

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Descarga “glow” y ley de Paschen

El esquema experimental que se muestra en la figura 2, consta de un tubo de aire cerrado en sus extremos con dos electrodos de aluminio, conectados a la fuente de alta tensión PS325 mediante un divisor de tensión.

El divisor de tensión posee la resistencia del circuito fuente-tubo de descarga y además permite, en paralelo, bajar la tensión del circuito (alrededor de 1V) por lo que se pudo medir la corriente y la tensión del mismo empleando dos multímetros digitales Hewlett Packard LM-340 conectados al ordenador para la adquisición de los datos. Para lograr presiones bajas de dentro del tubo, se utilizó una bomba de vacío alcanzando una presión mínima de 0.22 mbar.

La presión del sistema se obtuvo midiendo la tensión de un barómetro Pirani, mediante un tercer multímetro Hewlett Packard LM-340, para luego convertir dicha tensión en valores de presión mediante una calibración adecuada.

En un principio de la experiencia, para poder observar en que rango de tensiones se observaba descarga glow, se realizaron barridos manuales operando directamente sobre la tensión de la fuente. Para poder realizar un barrido automático se conectó un generador de funciones Tektronix AF6-3021B a la fuente, de manera tal de variar la tensión mediante una función periódica. La escala del generador de 0 a 10V se correlaciona linealmente con la escala de 0 a 2500V de la fuente. De manera tal que variando 1V en el generador la fuente varía en 250V.

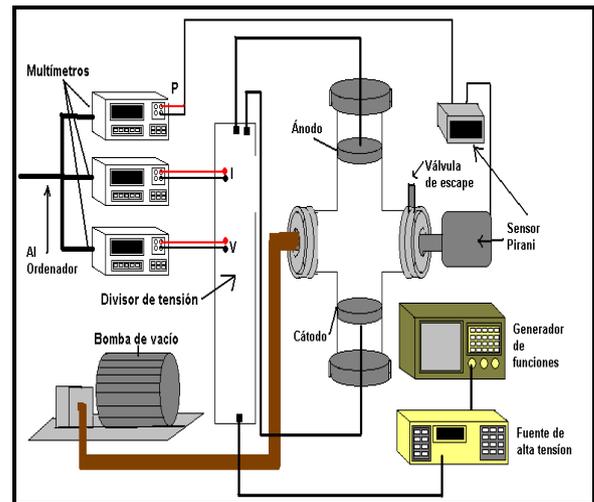


Figura 2: Esquema del dispositivo experimental

Las mediciones se obtuvieron haciendo variar la tensión de entrada, mediante el generador acoplado a la fuente, a través de una función periódica triangular con un periodo de $T=600s$ de manera tal de tener unos 2s por cada 1V, la función triangular permite un barrido ascendente y descendente para poder observar el fenómeno de descarga “glow” normal y la histéresis del mismo, observada en el barrido descendente. La amplitud pico a pico de la función se fijó en 2V, de manera tal de tener una pendiente chica y por ende un barrido con mejor resolución.

Para analizar si el fenómeno podía ser modelado por la ley de Paschen, se realizaron mediciones variando la tensión de la fuente y cambiando la distancia entre electrodos para cada barrido. Las distancias fueron: $d=(1,0 \pm 0,1)cm$, $d=(1,5 \pm 0,1)cm$, $d=(2,0 \pm 0,1)cm$, $d=(3,0 \pm 0,1)cm$, $d=(4,0 \pm 0,1)cm$ y $d=(5,0 \pm 0,1)cm$ en una primera instancia. Luego, se cambió la presión del sistema ($P=0,46$ mbar, $P=0,62$ mbar y $P=1$ mbar) mediante la apertura de la válvula de escape, para una distancia fija $d=(4,0 \pm 0,1)cm$.

Análisis del espectro de emisión del aire

Fijando un valor de tensión para el cual se observaba descarga “glow” se empleó un monocromador manual y un fotodetector Hamatsu 1P28 para poder analizar el espectro de emisión dado por el aire. Para el fotodetector fue necesario emplear otra fuente de alta tensión PS325 mientras que la señal fue registrada mediante un osciloscopio Tektronix SFG-328. (Figura 3)

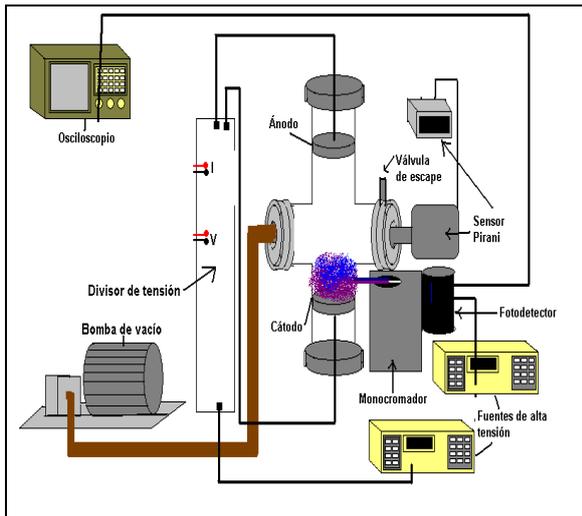


Figura 3: Esquema experimental para la determinación del espectro del aire bajo descarga "glow"

Barriendo el espectro con el monocromador y registrando los máximos de tensión en el osciloscopio fue posible obtener las líneas de emisión del aire.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calibración

Para poder obtener una lectura de la presión del sistema se llevó a cabo una calibración del sensor Pirani. Con la tensión registrada por el multímetro conectado al sensor y los valores mostrados por el mismo, se obtuvo la curva de calibración que se observa en la figura 4

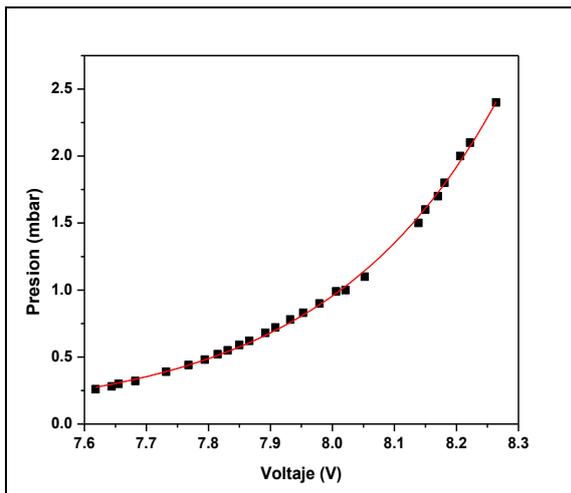


Figura 4: Curva de calibración para la presión. Modelado de los datos con una función exponencial.

Los datos se modelaron con una función de la forma:

$$y = y_0 + A * e^{(x-x_0)/t}$$

y los valores obtenidos para cada uno de esos parámetros fueron:

$$y_0 = (0,04 \pm 0,01) \text{ mbar}$$

$$x_0 = 7,7 \text{ V}$$

$$A = (0,311 \pm 0,01) \text{ mbar}$$

$$t = (0,278 \pm 0,008) \text{ V}$$

Haciendo la correspondiente propagación de los errores, pudo conseguirse el error en la medición de la presión.

Para las calibraciones de la corriente y el voltaje entre los electrodos, se aceptaron las realizadas por los grupos anteriores, a saber:

$$I = V_{salida} / R, \text{ donde } R = 148,8 \Omega$$

$$V_{salida} = (8,5 \pm 0,1) * 10^{-4} * V_{entrada}$$

Descarga "glow" y ley de Paschen

Luego de tener los instrumentos calibrados, se procedió a caracterizar la variación del voltaje entre los electrodos como función de la corriente entregada por la fuente. Una de las mediciones tomadas, para una distancia entre los electrodos de $(2,0 \pm 0,1)$ cm, puede verse en la figura 5.

El comportamiento para la subida y la bajada fueron representados en distintos colores para que pueda apreciarse de manera más directa la histéresis que presentaba el sistema. Los cambios abruptos en cada una de las curvas se corresponden con los momentos en que empieza a haber "glow" para la subida y con el que deja de haberlo para la bajada.

Puede verse también que este gráfico cubre lo que se denomina descarga Townsend, glow normal y glow anormal.

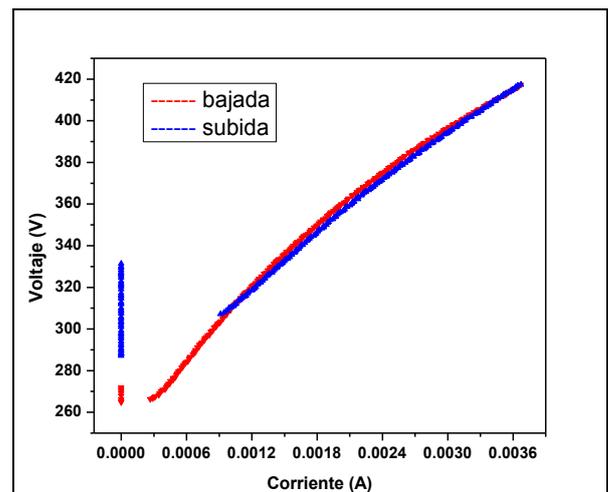


Figura 5: Gráfico del voltaje en función de la corriente para una distancia interelectródica de 2 cm. En azul puede verse el comportamiento durante la subida de la corriente y en rojo durante la bajada. Se aprecia histéresis en dicho comportamiento.

A continuación, se realizó un gráfico para comparar cómo variaba el voltaje de ruptura con la distancia entre los electrodos (figura 6)

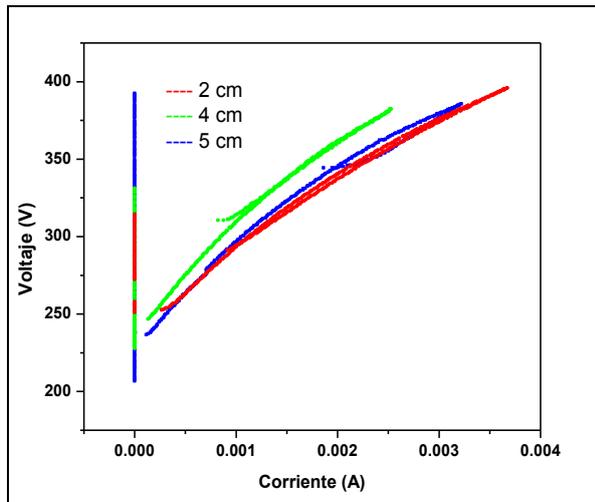


Figura 6: Gráfico del voltaje en función de la corriente para distintas distancias.

Como predecía la teoría, no pudo hallarse ninguna relación directa entre estos parámetros. Se procedió entonces, a considerar la influencia de la presión en el fenómeno, realizando un gráfico del voltaje de ruptura en función del producto de la distancia interelectródica y la presión (figura 7). Los datos se modelaron con una expresión de la forma de la ecuación (1).

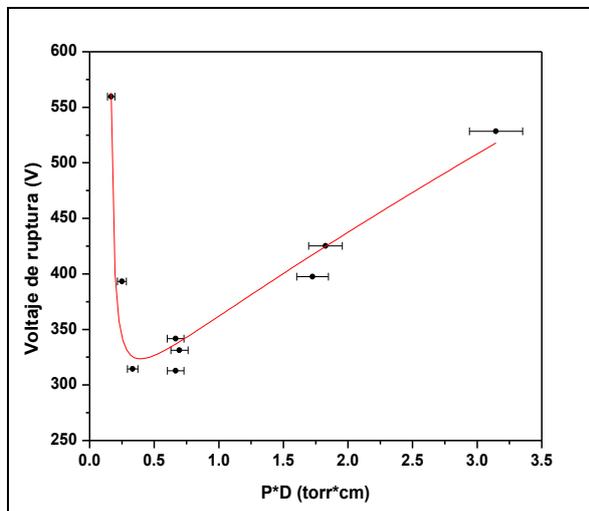


Figura 7: Voltaje de ruptura en función del producto $P \cdot D$. Modelado de los datos con la función de Paschen. $V_{\text{quiebre}}=323,6\text{V}$, ubicado en $P \cdot D=0,41\text{torr} \cdot \text{cm}$.

Mediante el ajuste, pudo obtenerse un $V_{\text{quiebre}}=(324 \pm 25)\text{V}$, ubicado en $P \cdot D=(0,4 \pm 0,1)\text{torr} \cdot \text{cm}$. Mientras que los valores esperados por tabla eran 327V y 0,57 torr*cm respectivamente.

Observando el tamaño de los errores de los datos, mayores en el eje horizontal que en el vertical,

se procuró invertir los ejes y hacer un modelado de esa manera, pero esto último resultó imposible.

Se realizaron además, mediciones de la variación de la presión en el tubo durante la descarga, pudiendo ver que sufre un gran aumento al comienzo de la misma (figura 8)

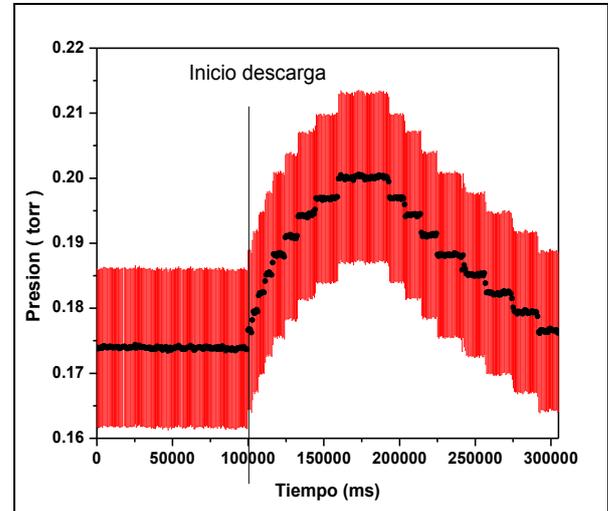


Figura 8: Gráfico de la variación de la presión en función del tiempo. Señalización del comienzo de la descarga "glow" con una recta vertical.

Análisis del espectro de emisión del aire

Tomando los datos de la manera especificada para esta parte del trabajo, lograron divisarse cuatro picos, ubicados en:

- (387 ± 2) nm
- (419 ± 2) nm
- (423 ± 2) nm
- (465 ± 2) nm,

Los errores fueron estimados debido a la forma poco precisa en que se adquirieron los datos.

Teniendo en cuenta que no llegó a realizarse una calibración de los instrumentos agregados para estas últimas mediciones, carece de sentido contrastar estrictamente los resultados con los esperados para los gases que componen el aire atmosférico. Se cree que el primer pico podría corresponderse con uno del argón, el segundo con uno del oxígeno y el tercero con uno del nitrógeno[3], pero ello no posee una justificación sólida.

Cabe mencionar, sin embargo, que todos los valores se encuentran dentro del rango esperado, pues se sabe que las longitudes de onda del violeta van entre los 380 y los 450 nm y las del azul entre los 450 y los 495 nm y durante la experiencia pudo verse que la mezcla de gases dentro del tubo emitía en esos colores.

CONCLUSIONES

Se realizó una calibración para la presión, lo cual luego fue utilizado para medir diversas cosas.

Se observó el fenómeno de histéresis con respecto al voltaje de quiebre al aumentar o disminuir la tensión de la fuente.

Se estudió el régimen en el cual la corriente empezaba a circular entre los electrodos en un cilindro a diferentes presiones y distancias interelectrónicas. Las variaciones de voltaje en función de la corriente fueron consistentes con el marco teórico.

Se estudió los cambios del voltaje de quiebre en función de la distancia y de la presión, verificando que los datos podían modelarse por la función de Paschen.

Se analizó también la variación de presión en el medio al inicio de la descarga de corriente, mostrando un notorio incremento.

Por último, se encontró que las líneas espectrales de emisión del aire atmosférico estaban dentro del rango de los valores esperados.

REFERENCIAS

[1]Curso online de descarga en gases-Héctor Kelly Capítulos 4 y 5 (www.lfp.uba.ar/Kelly/teoricac/Cap4.pdf y www.lfp.uba.ar/Kelly/teoricac/Cap5.pdf)

[2]High Voltage Experimenter's Handbook (<http://home.earthlink.net/~jimlux/hv/hvmain.htm>)

[3]<http://physics.nist.gov/PhysRefData/Handbook/Tables>