

Estudio de una descarga “glow” en aire y ley de Paschen

Mariano Poisson (marianopoisson@gmail.com), Enzo Tagliacruzchi (e_taglia@hotmail.com)

Laboratorio 5, FCEyN – UBA

12 de octubre de 2007

En el presente trabajo se estudió el comportamiento del aire a altos voltajes (≈ 1000 V) y a presiones inferiores a la atmosférica (≈ 0.1 torr). Se obtuvieron curvas de voltaje vs. corriente y se ajustaron exitosamente los datos mediante la ley de Paschen, determinándose los parámetros de la misma. Se determinó el coeficiente de emisión secundaria de Townsend del aire a partir de datos experimentales y tabulados, hallándose un valor de 0.3 ± 0.1 . Se encontraron efectos de histéresis en la curva V vs. I.

1. INTRODUCCIÓN Y TEORÍA

El efecto “glow” es un fenómeno que se presenta al aplicar una tensión (de 100 V hasta algunos centenares de kV) a un gas entre dos electrodos. Cuando se eleva gradualmente la tensión se observa que la corriente entre los electrodos pasa de ser prácticamente nula a tener un valor apreciable. Al superar este voltaje crítico, además, puede observarse una luminiscencia en el gas (a la cual se debe el nombre del fenómeno: “glow”). Alternadas con las zonas de mayor brillo se presentan asimismo franjas oscuras regularmente distribuidas (de las cuales no nos ocuparemos en el presente trabajo).

La explicación de este fenómeno está estrechamente relacionada con el de *descarga Townsend*. Al incrementar la diferencia de potencial entre cátodo y ánodo se movilizan algunos electrones libres presentes en el gas (mayoritariamente arrancados de las moléculas del gas por radiaciones cósmicas y ambientales) y se observa una corriente muy pequeña. No obstante al incrementar la tensión y por lo tanto la energía de los electrones “semilla”, estos finalmente poseen la energía suficiente para arrancar electrones secundarios de otras moléculas. El proceso entonces se multiplica de manera geométrica y la corriente aumenta exponencialmente con la tensión aplicada. Al continuar aumentando la tensión la relación de la corriente con la misma atraviesa distintos regímenes (figura 1).

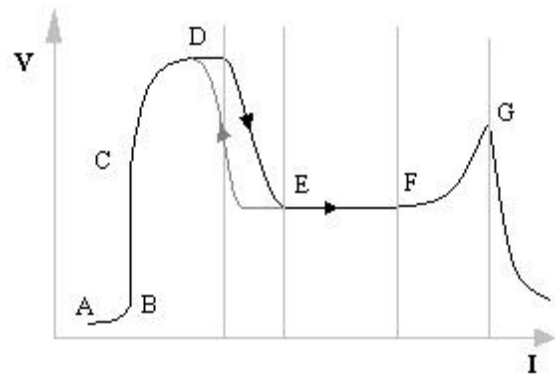


Fig.1: Un gráfico esquemático de V vs. I y los distintos regímenes presentes

Las distintas regiones delimitadas en la figura son:

A – B : La corriente es pequeña, las cargas no poseen suficiente energía para ionizar al gas

B – C : Todas las cargas contribuyen a la corriente, que se satura pero aún no hay ionización

C – D - E : Ocurre la descarga Townsend y aumenta exponencialmente la corriente en función del voltaje. El gas se vuelve conductor.

E – F : Este es el régimen de “glow” normal. La corriente aumenta a expensas del área por la cual fluye la corriente.

F – G : Esta región corresponde al “glow” anormal y ocurre cuando el área del cátodo se cubre totalmente

G : En este punto ocurre una descarga de arco entre ambos electrodos.

Al aumentar el voltaje y cruzar el punto D, si luego se disminuye, la corriente no sigue la curva D – E en sentido inverso sino que existe un fenómeno de histéresis.

En 1889 Friedrich Paschen publicó una ley experimental para relacionar el voltaje de ruptura con la presión del gas y la distancia interelectródica. Postuló que la misma era una función no lineal del producto de ambas $V_{ruptura} = f(pd)$. Dentro del orden de las magnitudes con las que nosotros trabajaremos el voltaje de ruptura puede modelarse por

$$V_{ruptura} = \frac{Bpd}{C + \ln(pd)} \quad (1)$$

donde C está relacionado con el coeficiente de emisión secundario g (número de electrones secundarios promedio producidos por los primarios) mediante

$$C = \ln \left(\frac{A}{\ln \frac{1}{(g+1)}} \right) \quad (2)$$

Un análisis más detallado de estas fórmulas se puede encontrar en [1]

El objetivo del presente trabajo será obtener curvas de V vs. I para aire dentro de la región A – B- C – D de la figura 1, los respectivos voltajes de ruptura y graficarlos en función del producto de la presión por la distancia interelectródica para obtener la curva de Paschen.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El dispositivo experimental (figura 2) consta de un tubo de gas (en este caso, aire) entre dos electrodos conectados en serie con una resistencia y un generador de corriente continua. Para reducir la presión del gas empleamos una bomba de vacío, medimos la presión del sistema determinando el voltaje en un barómetro Pirani y luego convirtiéndolo en un valor de presión mediante una fórmula de calibración adecuada.

La distancia entre ánodo y cátodo fue regulada manualmente dentro del rango 5 mm – 6 cm. El voltaje máximo aplicable al sistema era de 1000 V y la presión alcanzada fue del orden de 0.1 torr (1/1000 de la presión atmosférica).

Medimos el voltaje y la intensidad de corriente con dos multímetros conectados a los puertos COM de una computadora, mediante un programa en QBasic que nos permitió realizar la adquisición para posteriormente llevar los datos al Microcal Origin 7.0 donde fueron analizados. Para medir la presión de manera continua en función del tiempo empleamos una placa de adquisición de datos MPLI y realizamos la calibración correspondiente.

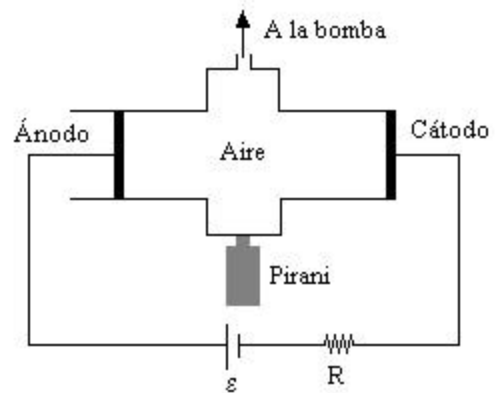


Fig 2: Esquema del dispositivo experimental

3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Siguiendo el procedimiento descrito en la sección anterior obtuvimos las curvas de V vs. I para distintas distancias interelectródicas (figura 3).

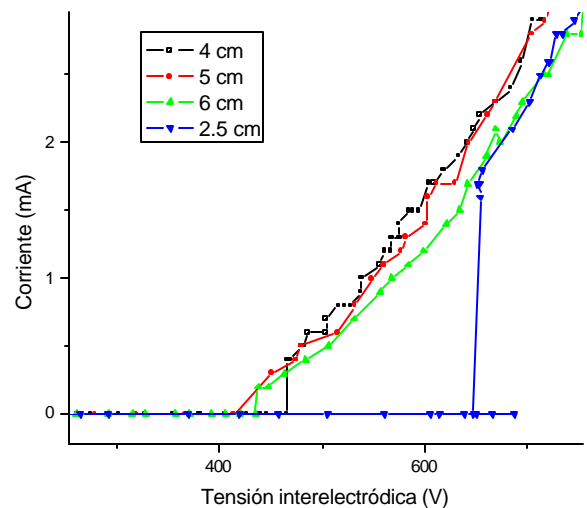


Fig 3: V vs I para diferentes descargas interelectródicas. (Observar el salto abrupto para la distancia de 2.5 cm)

Una vez obtenidas las curvas correspondientes a una gama de distancias interelectródicas entre 6 y

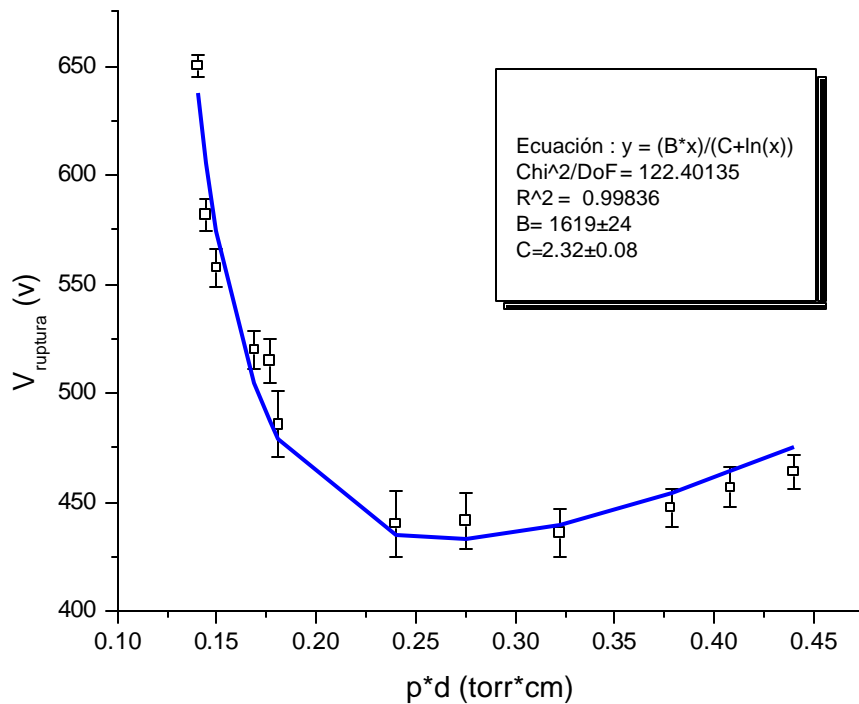


Fig 4: $p \cdot d$ vs voltaje de ruptura (curva de Paschen) y el ajuste no lineal por la fórmula 1

0.5 cm hallamos el potencial de ruptura para cada una de ellas y realizamos un ajuste con la fórmula 1 (figura 4).

Determinamos el error en la medición de la distancia como la mínima división del instrumento (1 mm) para distancias mayores a 2 cm y como dos veces la misma para distancias menores a 2 cm. Al comenzar la descarga glow observamos que la presión efectúa un salto brusco, posiblemente debido a un efecto térmico (figura 5). La diferencia de presión debida a ese salto fue considerada el error en la medición de la misma. Por último, como puede observarse en la figura 3 que al alcanzarse el potencial de ruptura nuestra frecuencia de adquisición es lo suficientemente baja como para inducir un error de hasta 20 V ($\approx 5\%$ de error relativo) en la medición del voltaje de ruptura, error que consideramos el de mayor importancia en nuestras mediciones.

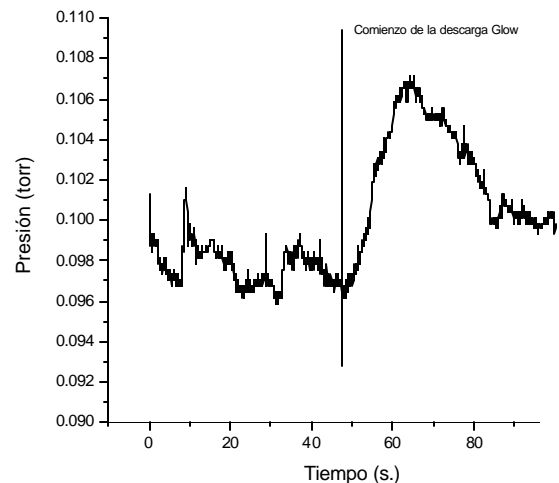


Fig 5: Comportamiento de la presión al comenzar la descarga Glow

Finalmente, a fin de estudiar un posible fenómeno de histéresis en la curva V vs. I , con una distancia fija entre ambos electrodos (figura 6). En esta curva observamos que el punto de corriente nula se encuentra situado en un mayor potencial al aumentar la tensión que al realizar el camino inverso. La diferencia entre ambos voltajes es del orden de 100 V, diferencia lo suficientemente amplia como para no atribuirla al error asociado a la determinación del voltaje y la corriente.

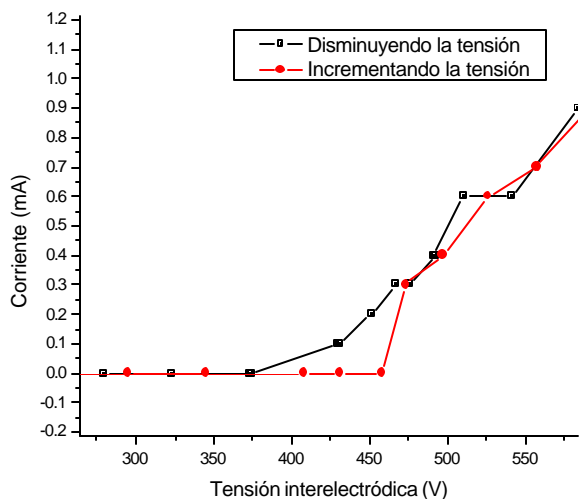


Fig 5: Curvas V vs I en ambos sentidos (fenómeno de histeresis)

4. CONCLUSIONES

A partir del análisis realizado en el apartado anterior hallamos un potencial mínimo de ruptura para el aire de 434 ± 15 V, que ocurre en un valor de 0.26 ± 0.04 torr*cm. El ajuste realizado mediante la fórmula 1 (figura 4) arrojó como resultado un valor de $B = 1619 \pm 24$ V*cm⁻¹*torr⁻¹ y $C = 2.32 \pm 0.08$. A partir de estos datos y del valor tabulado de A ⁽²⁾ deducimos un coeficiente de ionización secundaria de Townsend para el aire de $g=0.3 \pm 0.1$. La tabla 1 resume los datos obtenidos y su comparación con los valores tabulados.

	Valores experimentales	Valores tabulados ⁽²⁾
V_{\min} (V)	434 ± 15	327
pd_{\min} (torr*cm)	0.26 ± 0.04	0.56
B (V*cm ⁻¹ *torr ⁻¹)	1619 ± 24	365
C	2.32 ± 0.08	1.18
g	0.3 ± 0.1	0.1

Tabla 1: Magnitudes experimentales y tabuladas para aire

Claramente nuestras mediciones no se encuentran, dentro de su error, en el valor de las magnitudes tabuladas. No obstante sí realizamos mediciones dentro del orden de magnitud de las mismas. Creemos que estas discrepancias se deben a muchas variables sobre las que no tuvimos control en nuestro experimento, por ejemplo, la temperatura del gas. También pudimos comprobar que el

potencial de ruptura parece ser sensible a otros factores, como ser la historia pasada del sistema. Realizando una medición incrementando el potencial y luego decrementándolo, hallamos una diferente ubicación del punto de corriente nula. Atribuimos este fenómeno a que, una vez ionizado el gas, al disminuir el voltaje los electrones libres dentro del gas no solamente se deben a radiaciones ambientales, sino al fenómeno de ionización recientemente inducido.

Para obtener una mejor ajuste en la curva de Paschen hubiese sido conveniente poder alcanzar tensiones más altas que 1000 V y tener algún control sobre las presiones y no solamente sobre las distancias. El estar restringidos a este rango de tensiones y tener que trabajar a presión constante fue una de las principales limitaciones del experimento, a pesar de las cuales realizamos un ajuste satisfactorio de acuerdo a la ley empírica de Paschen.

Investigar los voltajes mínimos de ruptura, en qué valor de $p*d$ estos ocurren, calcular g , etc. para otros gases sería una extensión interesante del experimento, así como analizar la dependencia con la temperatura y fenómenos de histeresis en la curva de V vs. I.

5. REFERENCIAS

1. Curso online de descargas en gases – Héctor Kelly. Capítulos 4 y 5 (www.lfp.uba.ar/Kelly/teoricas/Cap4.pdf y www.lfp.uba.ar/Kelly/teoricas/Cap5.pdf)
2. High Voltage Experimenter’s Handbook (<http://home.earthlink.net/~jimlux/hv/hvmain.htm>)