

Descarga Glow

Laila Kazimierski Cristian Ferreyra

Laboratorio 5 Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Universidad de Buenos Aires

12 de Abril de 2011

Resumen

El objetivo de esta experiencia fue caracterizar la descarga Glow en aire, estudiando el comportamiento de la corriente interelectrónica en función de altas tensiones (350V – 600V) y a baja presión ($1,9 \cdot 10^{-1}$ mbar – $2,3 \cdot 10^{-1}$ mbar). Se obtuvieron gráficos que relacionan dichas magnitudes entorno al punto de máxima tensión entre ánodo y cátodo, punto en que se inicia la descarga. Se realizó el análisis para distintas distancias entre ellos y manteniendo fija la presión. Con los datos obtenidos pudo conformarse el gráfico de Tensión de ruptura en función del producto distancia -presión, el cual se contrastó satisfactoriamente con el modelo usado, la curva de Paschen para el aire.

1.-Introducción

1.1.-Descripción genérica de las etapas de descarga

La descarga Glow es una descarga eléctrica autosostenida que se produce en un gas sometido a baja presión y alta tensión a partir de una dada diferencia de potencial entre los electrodos, de un dispositivo como el de la fig. 1.1.1 [1]

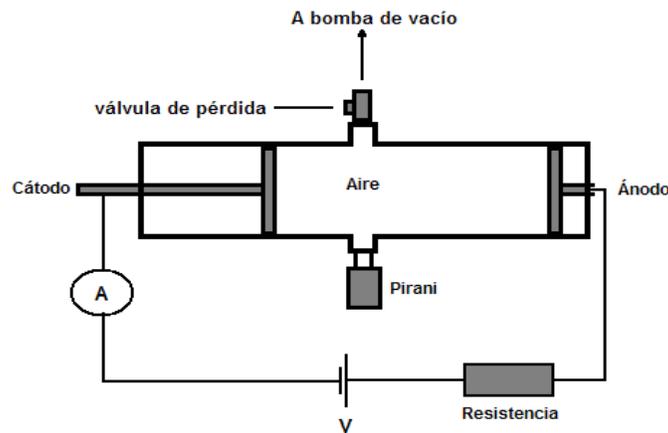


Figura 1.1.1 Dispositivo experimental para descarga glow

Esta diferencia de potencial genera un campo eléctrico que acelera los electrones que, a su vez, ionizan las moléculas del gas. La descarga pasa por distintas etapas: descarga oscura, Glow normal Glow anormal y arco. La figura 1.1.2 muestra la relación entre el voltaje y la intensidad que caracteriza las etapas de descarga. [1]

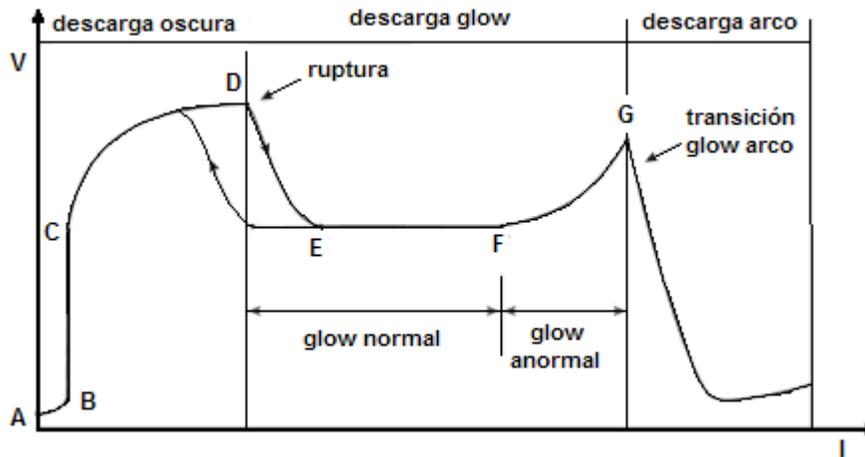


Figura 1.1.2 Relación entre la tensión y la corriente en las distintas etapas de descarga

En la primera, la descarga oscura, el voltaje aumenta en función del aumento de la corriente hasta el punto “de ruptura”, a partir del cual un material no conductor comienza a conducir. En la etapa previa a la instancia de ruptura, los electrones aún no fueron excitados lo suficiente y no se visualiza luz. Sin embargo, a partir del punto D del gráfico de la figura 1.1.2, comienza la descarga Glow, en la que puede verse emisión de luz. El grado de ionización en esta etapa (definido como el cociente entre la densidad de partículas ionizadas y la densidad total) es del orden de 10^{-8} - 10^{-5} . Por último, la etapa de arco se caracteriza por tener corrientes elevadas ($i > 1$ A) y voltajes bajos (decenas de voltios).

1.2-Potencial de ignición

Este potencial (V_t), a partir del cual comienza la descarga Glow, se relaciona con la presión y la distancia entre los electrodos mediante la ecuación (1) [2]

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

donde C es:

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

Las llamadas “Curvas de Paschen” muestran precisamente la relación entre el potencial de ignición y el producto entre la presión y la distancia, siendo experimentalmente modificados algunos de los parámetros. La figura 1.2.1 muestra dichas curvas para distintos gases. [2]

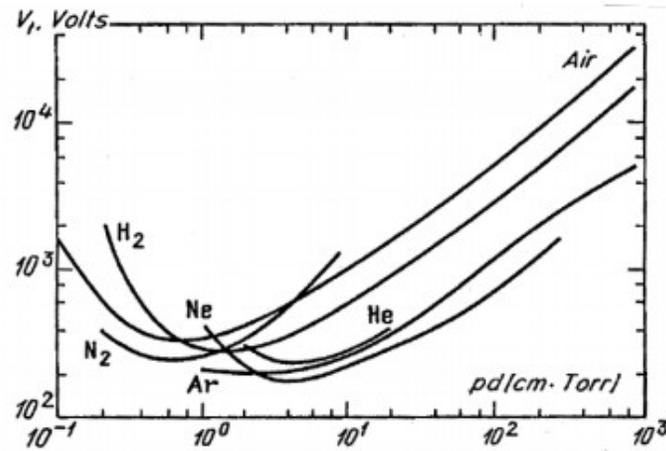


Figura 1.2.1 Curvas de Paschen para distintos gases

A los fines de esta experiencia, se utilizó a modo de referencia la curva de Paschen para el aire y su correspondiente ecuación, (1).

2.-Descripción del experimento

El dispositivo experimental consta de un tubo cilíndrico de vidrio con dos electrodos de aluminio, uno de ellos puede ser desplazado por medio de un vástago metálico que a su vez permite la conexión a tierra del dispositivo, a su vez dicho cilindro posee dos orificios que permiten extraer el aire del interior del mismo y a la vez censar la presión existente.

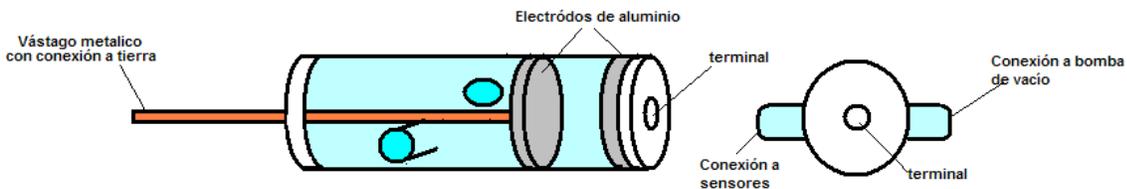


Figura 2.1 Dispositivo experimental

El montaje del experimento se compone de un circuito divisor de tensión, una fuente de alta tensión *Stanford Research System INC modelo PS 325/2500V – 25W*, dos multímetros digitales *Agilent 34401 A*, una bomba de vacío, un sensor de presión *Pirani*, un generador de funciones *Tektronix AFG 3021B*, una *PC*, y los software *LabView* y *Origin*.

La figura 2.2 muestra la disposición de los elementos de trabajo:

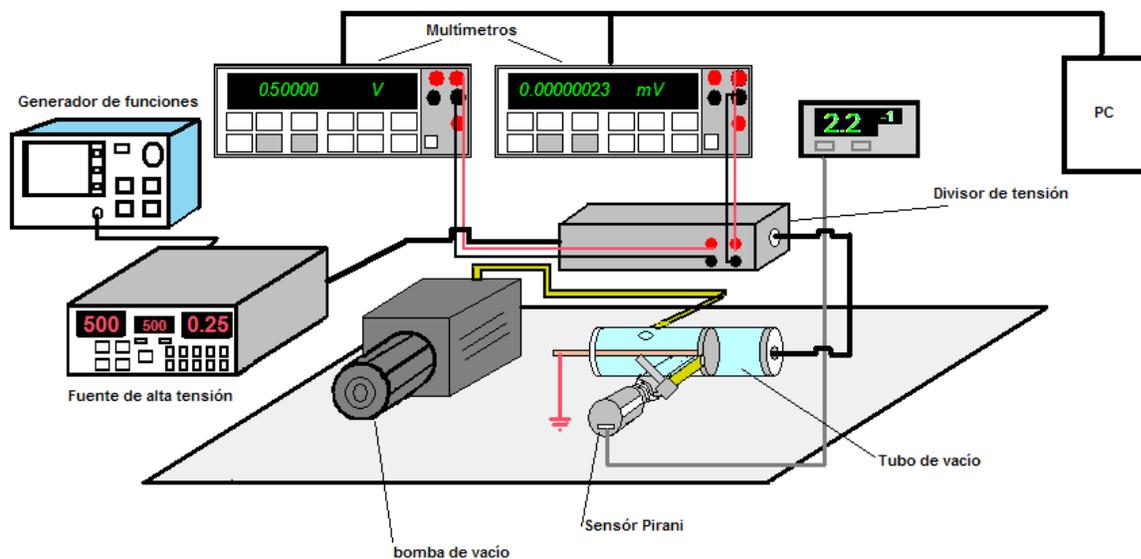


Figura 2.2 Disposición de los elementos de trabajo

2.1.-Determinación del factor de proporcionalidad por el divisor resistivo

Mediante el divisor de tensión se logró disminuir la tensión proporcionada por la fuente, con el objetivo de tener registro de las mediciones con los multímetros disponibles, que no están preparados para soportar los valores de tensión que se manejaron en esta experiencia. Para ello fue necesario hallar el factor de proporcionalidad entre la tensión otorgada y la medida por los multímetros, ya sea tanto para la tensión de alimentación como para la tensión de caída en el ánodo, proporcional a la corriente.

Para tal fin realizó un barrido con la fuente entre los valores 500V y 1000V. Se graficaron las tensiones de salida en función de las proporcionadas por el barrido. De la relación obtenida se extrajo la constante de proporcionalidad.

2.2.-Relación entre voltaje y corriente

Con la configuración de los elementos que muestra la figura 2.2, se conectó la bomba de vacío manteniendo la válvula cerrada. Al abrirla comenzó a producirse vacío en el tubo hasta alcanzar la presión mínima lograda $p = (0.22 \pm 0,01)$ mbar.

Con esa presión de aire entre el ánodo y el cátodo y, además, fijando su distancia en $(3.0 \pm 0,2)$ cm., se realizó un barrido modificando la tensión de la fuente desde 200V aumentándola con un paso de 10V a fin de estimar la tensión a la cual comienza a verse luminosidad. El valor aproximado resultó ser (360 ± 10) V, lo cual permitió definir un rango sobre el cual se realizarían los barridos posteriores.

Se realizó inicialmente un barrido manual de la tensión de la fuente entre 300V y 570V, modificándola de forma creciente cada 10V. Este proceso se repitió de modo decreciente. Posteriormente, se repitió el procedimiento habiendo aumentado a $(5.0 \pm 0,2)$ cm. la distancia entre el ánodo y el cátodo.

Con el objetivo de realizar barridos más exhaustivos, se hizo uso de la posibilidad que brinda la fuente de tensión de ser operada en forma remota desde un generador de funciones, el cual permite obtener

una señal en forma de rampa. De esta manera el generador recorre un rango de voltaje prefijado durante un determinado tiempo, traduciéndose en un incremento gradual de la tensión que entrega la fuente y que es proporcional al de la rampa generada.

Con esta metodología se realizaron 25 barridos (ver detalle en Apéndice 1) modificando la amplitud, offset y período de la señal en forma de rampa del generador de funciones para obtener mayor resolución en las mediciones, fundamentalmente para captar el instante del comienzo de la descarga Glow, es decir, del potencial de ignición. En las mediciones, además de ajustarse los parámetros de la fuente, se fue modificando la distancia interelectródica en el rango de $(1,5 \pm 0,2)$ cm. y $(7,0 \pm 0,2)$ cm., con el objetivo de hallar el potencial de ignición para cada una de estas distancias. La presión se mantuvo en el rango de $(0,19 \pm 0,01)$ mbar y $(0,23 \pm 0,01)$ mbar a lo largo de toda la experiencia.

Al reducirse la amplitud de la rampa se lograba mayor resolución en la adquisición de datos, dado que en el mismo tiempo se recorre menor intervalo. Esto da cuenta, además, que el período resultaba ser otro parámetro mediante el cual podía obtenerse mayor resolución, al ampliarlo. El *offset* evitaba que la tensión proporcionada pudiera tener valores negativos.

3.-Resultados

3.1.-Determinación del factor de proporcionalidad por el divisor resistivo

La figura 3.1.1 muestra la relación obtenida entre la tensión proporcionada por la fuente ($V_{entrada}$) y la que tiene del divisor de tensión (V_{salida}).

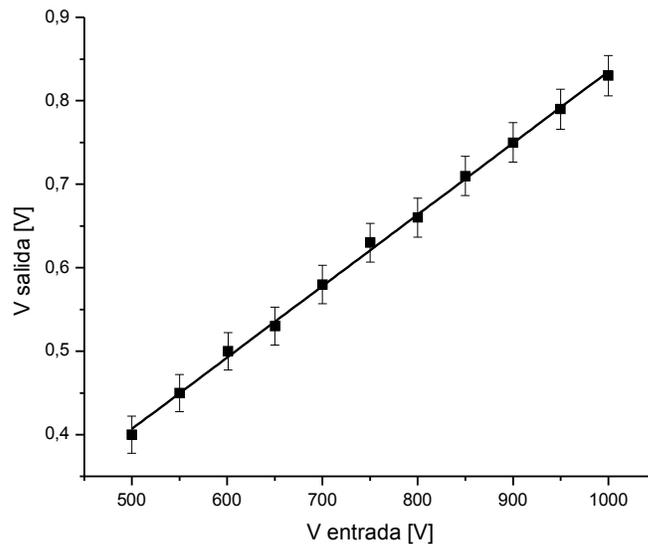


Figura 3.1.1 Relación entre la tensión de salida de la fuente y entrada al tubo

La pendiente del gráfico de la figura 3.1.1 es el factor de proporcionalidad entre ambas tensiones, el cual resultó ser $(8,5 \pm 0,1) \cdot 10^{-4}$.

3.2.-Relación entre voltaje y corriente

Las figuras 3.2.1 y 3.2.2 son el resultado de las relaciones entre la tensión y corriente medidas sobre el tubo, realizando el barrido de tensión de forma manual a distancia ($3.0 \pm 0,2$) cm. entre el ánodo y el cátodo.

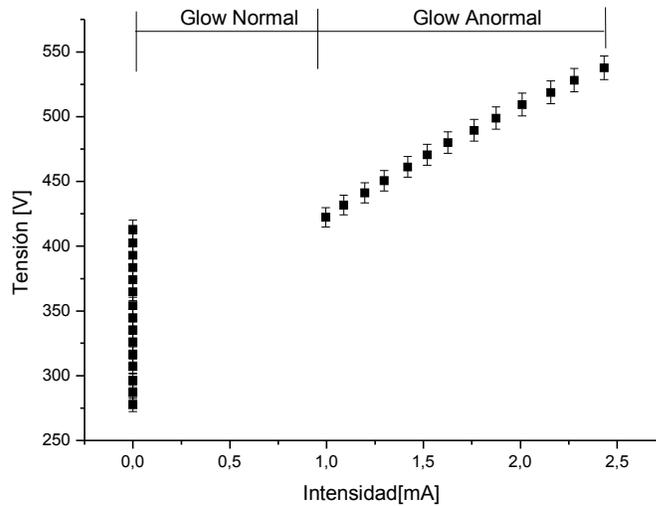


Figura 3.2.1 Relación entre la tensión y la corriente – Barrido manual con $d = 3\text{cm}$ – Creciente

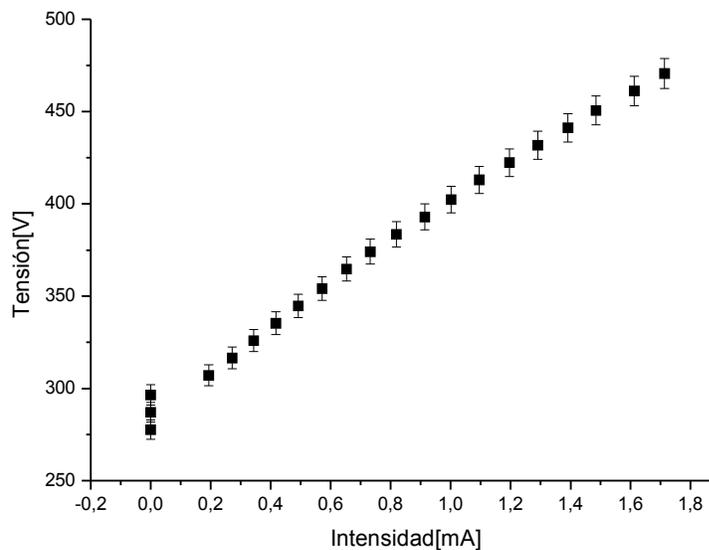


Figura 3.2.2 Relación entre la tensión y la corriente – Barrido manual con $d = 3\text{cm}$ – Decreciente

Se observa que el voltaje de ignición o de ruptura, varía considerablemente si se compara el barrido ascendente con el barrido descendente, a saber :

$$V_{t \text{ ascendente}} : (413 \pm 7) \text{ V}$$

$$V_{t \text{ descendente}}: (296 \pm 6) V$$

Este fenómeno se debe a la presencia de efectos de histéresis del material

Las figuras 3.2.3 y 3.2.4 muestran la misma relación que las figuras 3.2.1 y 3.2.2 habiendo separado el ánodo y el cátodo en $d = (5.0 \pm 0,2) \text{ cm}$.

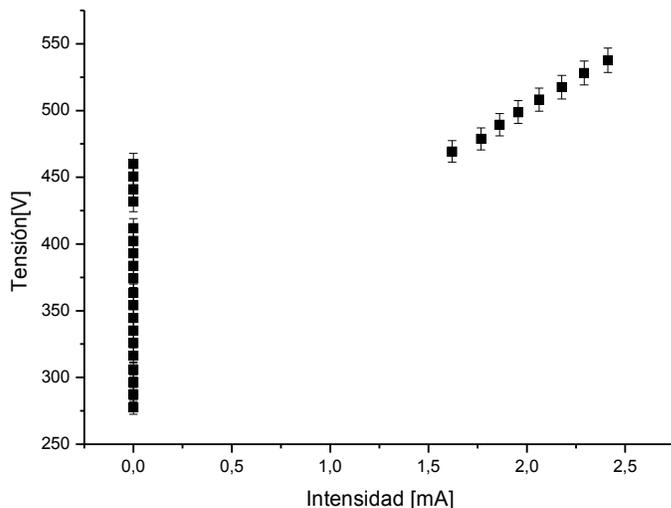


Figura 3.2.3 Relación entre la tensión y la corriente – Barrido manual con $d = 5\text{cm}$ – Creciente

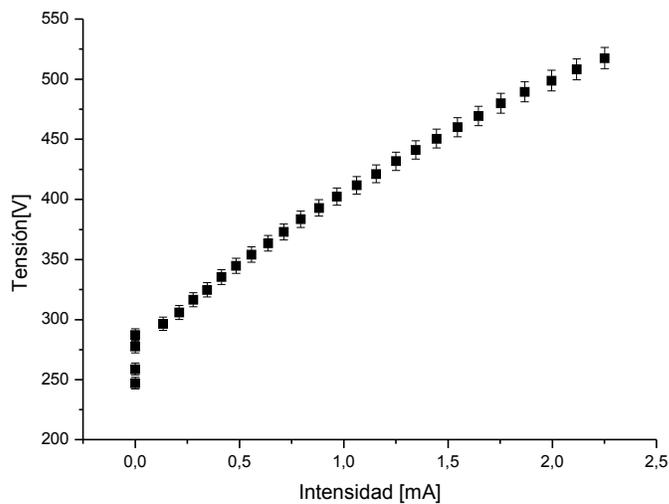


Figura 3.2.4 Relación entre la tensión y la corriente – Barrido manual con $d = 5\text{cm}$ – Decreciente

Al igual que en el caso anterior aparecen nuevamente efectos de histéresis que hacen que el voltaje de ruptura en el barrido creciente difiera sensiblemente respecto al caso del barrido decreciente.

$$V_{t \text{ ascendente}}: (460 \pm 8) V$$

$$V_{t \text{ descendente}}: (287 \pm 5) \text{ V}$$

Así mismo se puede observar la tendencia de que el voltaje de ignición aumenta al aumentar la distancia entre los electrodos manteniendo la presión en un valor constante.

3.3.-Curva de Paschen

En cada uno de los barridos realizados a distintas distancias entre electrodos, se determinó el voltaje de ignición (o ruptura) y la presión con la que se estaba trabajando y, a partir de estos datos, se construyó la curva de Paschen para aire, tal como se muestra en la figura 3.3.1.

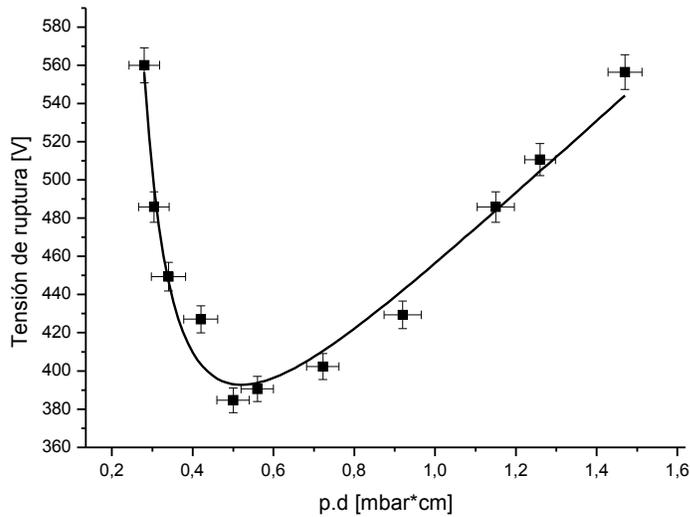


Figura 3.3.1 –Curva de Paschen para el aire, Tensión de ruptura vs. P.d.

Siguiendo el modelo propuesto por Paschen, el ajuste se realizó con una función $y = \frac{Bx}{C + \ln(x)}$.

Obteniéndose un coeficiente de ajuste $R^2=0.96126$

De los datos de ajuste, y las expresiones (1) y (2), fue posible determinar y comparar constantes propias del gas con el que se trabaja, tales como el coeficiente de emisión secundaria (γ) (número de electrones secundarios promedio producidos por los primarios) y otras que se hallan tabuladas. Los valores obtenidos se muestran en la tabla 3.3.1

	Valores Experimentales	Valores Tabulados ^[3]
--	------------------------	----------------------------------

B [V/cm.mbar]	754±12	365
C	1.65±0.01	1.18
$\gamma^{(4)}$	0.130±0.003	0.1
Vt _{min} [V]	393±7	327

Tabla 3.3.1—Constantes determinadas por ajuste de datos

Para determinar la constante γ de acuerdo a la ecuación (2) fue necesario Extraer de tablas la constante. A de la expresión que para el aire resulta ser $A=11.25\text{cm}^{-1}\text{ mbar}^{-1}$ [2]

Al realizar los sucesivos barridos para distintas distancias interelectródicas, se observó también que la tasa de variación de tensión en la zona “glow anormal” variaba en cada caso y que a la vez dicha variación tenía un comportamiento aproximadamente lineal, lo que permitió ajustar una recta en cada caso y así observar el comportamiento de la pendiente de la misma, la cual posee unidades de resistencia. En la figura 3.3.3 se muestra los valores de las pendientes de las rectas de ajuste en función del producto entre presión y distancia ánodo-cátodo.

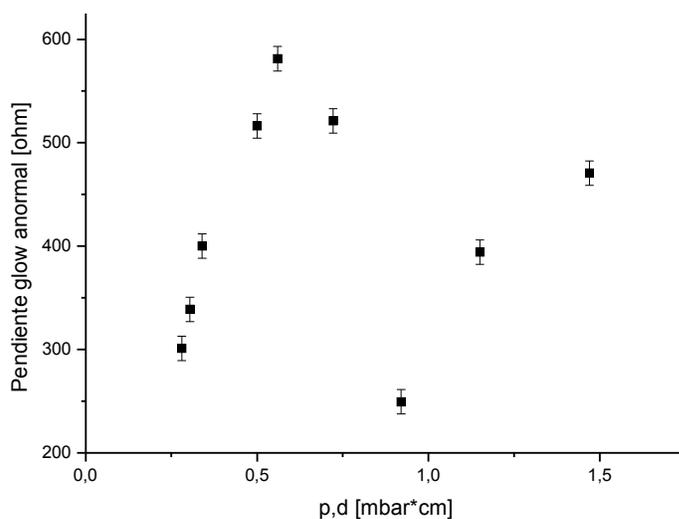


Figura 3.3.3 –Resistencia total en función del producto de presión -distancia

Los valores hallados corresponden a la resistencia total existente al momento que se establece una corriente eléctrica entre los electrodos del dispositivo experimental de acuerdo a la ley de ohm.

Si bien no se halló un modelo teórico que permitiese ajustar los datos experimentales obtenidos, se observa que la resistencia alcanza un máximo a una distancia $d = (2.8 \pm 0.2)$ cm. y una presión $p = (0.20 \pm 0.01)$ mbar, y un mínimo a una distancia $d = (4.0 \pm 0.2)$ cm. y una presión $p = (0.23 \pm 0.01)$ mbar

4.-Conclusiones

Se pudo estudiar el efecto de descarga en aire en función de los parámetros principales de los cuales depende: voltaje, presión y distancia interelectrónica. La curva de Paschen lograda experimentalmente resultó acorde al modelo propuesto, dado que pudo ajustarse de acuerdo a la ecuación (1). A partir del ajuste de datos se logró hallar experimentalmente el coeficiente de emisión secundaria ($\gamma = 0.130 \pm 0.003$), contrastable con el valor tabulado $\gamma = 0.1$ ^[3]. También pudo determinarse satisfactoriamente el potencial de ruptura $V_{t_{min}} = (393 \pm 7)V$ que difiere aproximadamente en un 17% respecto del valor hallado en tablas. La resolución de los elementos utilizados resulta suficiente para reproducir la curva de Paschen para el aire con las distancias y presión determinadas, pero no lo es para la determinación exacta de los potenciales de ignición, dado que la descarga se produce casi instantáneamente, en un tiempo inferior al que se produce entre dos adquisiciones consecutivas.

Por otro lado, resultó notable la dependencia entre la tensión y la corriente en la etapa de descarga glow anormal con respecto al producto de presión por distancia. Se ve en esta instancia un crecimiento quasi-lineal del voltaje en función de la corriente, cuya pendiente se modifica al variar la distancia ánodo-cátodo, de lo cual se concluye que la resistencia, pendiente de dicho crecimiento, depende de la distancia interelectrónica. Si bien no fue cuantificado, se observó también un cambio en la presión en cuanto se produce la descarga glow; la misma crece hasta cierto punto, a partir del cual comienza a descender hasta estabilizarse en el mismo valor que tenía en la instancia previa al inicio de la descarga. Por último, y en relación a los parámetros que podrían ser modificados para una caracterización más detallada de la descarga, hubiera sido interesante repetir la experiencia utilizando otro tipo de gas, para así evaluar cómo dependen de él los parámetros que se obtengan.

5.- Referencias:

[1] **Descarga Glow**, Guía laboratorio 5 , Dpto. de Física FceyN, UBA

[2] **Kelly, Héctor** "Apunte de descarga en gases" Caps 4 y 5 Insitito de física del plasma, CONICET-UBA.

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

6.-Apéndices

6.1.-Apéndice 1

La tabla A1 muestra los parámetros que fueron modificándose en los barridos de tensión realizados con el generador de funciones en modo “rampa” y la fuente de tensión en modo “set”, todos adquiridos mediante el software *LabView*.

Barrido	Amplitud en el generador de funciones [Vpp]	Offset en el generador de funciones [V]	Tiempo (s)	Distancia entre ánodo y cátodo [cm.]	Presión [10^{-1} mbar]
1	3	1,5	180	3	2,2
2	1,5	0,75	180	3	2,2
3	1	0,5	180	3	2,2
4	1	0,5	180	3	2,2
5	1	0,5	360	3	2,2
6	1	0,5	360	5	2,2
7	2	1	800	5	2,5
8	1	1	800	5	2,3
9	1	1	800	4	2,3
10	2	1	500	7	2,1
11	2	1	100	8	2
12	2,5	1,5	300	8	2
14	1	0,5	300	2	2,1
15	1	0,5	100	1	2
16	2	1	300	1	2
17	2	1	200	2,5	2
18	2	1	200	1,7	2
19	2	1	300	2,6	1,9
20	2	1	300	2,8	2
21	2	1	300	1,5	1,9
22	2	1	300	1,6	1,9
23	2	1	300	6	1,9
24	2	1	300	6,6	1,9
25	2	1	300	3,8	2

Tabla A1 Datos de los barridos realizados usando el generador de funciones y el software Labview

6.2.-Apéndice de errores

Propagación del Error de voltaje

$$V = \frac{V_{mult}}{m}$$

$$\Delta V = \left| \frac{\Delta V_{mult}}{m} \right| + \left| \frac{V_{mult}}{m^2} \right| \Delta m \quad (3)$$

Donde m es el factor de conversión, V_{mult} , es la lectura de tensión del multímetro

Propagación del Error del coeficiente γ del modelo de Paschen

$$\ln \left[\frac{1}{\gamma} + 1 \right] = Ae^{-c}$$

$$\frac{1}{\left(\frac{1}{\gamma} + 1 \right)} \cdot \frac{1}{\gamma^2} \cdot \Delta \gamma = e^{-c} (\Delta A + A \Delta C)$$

$$\Delta \gamma = e^{-c} (\Delta A + A \Delta C) (1 + \gamma) \gamma \quad (4)$$

$$\Delta \gamma = 0.19(11.25 * 0.01) * (1 + 0.13) 0.13 = 0.003$$