UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

LABORATORIO DE FÍSICA BÁSICA III
INFORME No. 7

CARGA Y DESCARGA DE UN CAPACITOR

Integrantes:
Bastos Lizondo Rosemary.
Blanco Alconz John Brandon.
Caballero Burgoa Carlos Eduardo.
Villena Gutiérrez Ismael Cristian.

Docente:
Ing. Flores Flores, Freddy.

Grupo: G3.
Fecha de entrega: 20 de Mayo del 2021.

1. Evaluación previa

1. **¿Qué es un capacitor (condensador) electrolítico?**
   Un condensador electrolítico es un tipo de condensador que usa un líquido iónico conductor como una de sus placas. Típicamente con más capacidad por unidad de volumen que otros tipos de condensadores, son valiosos en circuitos eléctricos con relativa alta corriente y baja frecuencia.

2. **¿Qué interpretación tiene la constante de tiempo en el circuito RC?**
   Cuando t (valor del tiempo) es igual a la constante de tiempo τ, el exponente de e se vuelve -1, y el término exponencial es igual a $1/e$, o aproximadamente 0.37. La constante de tiempo determina qué tan rápido tiende a cero la exponencial. Después de que una constante de tiempo ha pasado, el voltaje ha disminuido hasta el 37 % de su valor inicial.

3. **¿Cómo se puede determinar experimentalmente la constante de tiempo de un circuito RC?**
   Para hallar la constante de tiempo se deben calcular los parámetros de la curva tiempo vs. voltaje, en el proceso de carga o descarga de un condensador, y según el caso usar la ecuación respectiva.

4. **¿Cómo se carga un capacitor?, escribir las ecuaciones.**
   Al conectar un condensador en serie con una resistencia a una fuente de tensión eléctrica (o comúnmente, fuente de alimentación), la corriente empieza a circular por ambos. El condensador va acumulando carga entre sus placas. Cuando el condensador se encuentra totalmente cargado, deja de circular corriente por el circuito.

$$V(t) = V_o(1 - e^{-\frac{1}{RC}})$$
$$I(t) = \frac{V_o}{R}e^{-\frac{1}{RC}}$$

5. **¿Cómo se descarga un capacitor?, escribir las ecuaciones.**
   Si se quita la fuente y se coloca el condensador y la resistencia en paralelo, las cargas empiezan a fluir de una de las placas del condensador a la otra a través de la resistencia, hasta que la carga o energía almacenada en el condensador es nula. En este caso, la corriente circulará en sentido contrario al que circulaba mientras el condensador se estaba cargando.

$$V(t) = V_o e^{-\frac{1}{RC}}$$
$$I(t) = -\frac{V_o}{R}e^{-\frac{1}{RC}}$$

2. Objetivos

- Determinar la relación funcional entre el voltaje del capacitor y el tiempo para el proceso de carga del capacitor.

- Determinar la relación funcional entre el voltaje del capacitor y el tiempo para el proceso de descarga del capacitor.

- Determinar la constante de tiempo τ para el proceso de carga.
- Determinar la constante de tiempo τ para el proceso de descarga.

3. Fundamento teórico

Un capacitor es un dispositivo pasivo que tiene la función de almacenar energía en forma de campo eléctrico.

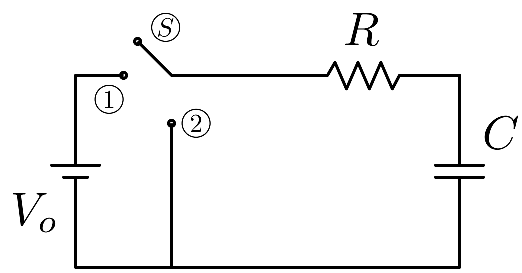

Figura 1: Circuito RC para la carga y descarga del capacitor.

En la **Figura 1** se observa un circuito RC, donde el capacitor y la resistencia están conectados en serie. Para que el capacitor adquiera carga, el interruptor S debe estar en la posición 1, y para que el capacitor se descargue, el interruptor S debe estar en la posición 2.

3.1. Proceso de carga del capacitor

Para el proceso de carga del capacitor, y con la segunda ley de *Kirchhoff*, se tiene:

$$V_0 - V_R - V_C = 0 \tag{1}$$

Donde $V_R = R\,I$, $V_C = Q/C$ y para la corriente $i = dQ/dt$, entonces la **Ecuación 1** es:

$$R\frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{C} = V_0 \tag{2}$$

Cuya solución es:

$$Q = C\,V_0(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

Entonces, el voltaje en el capacitor es:

$$V_c = \frac{Q}{C} = V_0(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \tag{3}$$

El producto RC es una constante que tiene unidades de tiempo, y se conoce como constante de tiempo τ.

La corriente en el proceso de carga es:

$$I = \frac{dQ}{dt} = \frac{V_0}{R}\,e^{-\frac{t}{RC}} \tag{4}$$

Con la ley de *Ohm* y la **Ecuación 4**, se obtiene el voltaje en la resistencia:

$$V_R = V_0\, e^{-\frac{t}{RC}}$$

3.2. Proceso de descarga del capacitor

Para el proceso de descarga del capacitor, la fuente de tensión continua está desconectada del circuito RC (En la **Figura 1**, s está en la posición 2). A partir de ello, la **Ecuación 2** es:

$$R\frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{C} = 0 \tag{5}$$

Cuya solución es:

$$Q = C\, V_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

Entonces, el voltaje en el capacitor es:

$$V_C = V_0\, e^{-\frac{t}{RC}} \tag{6}$$

La corriente en el proceso de la descarga del capacitor es:

$$I = -\frac{V_0}{R}\, e^{-\frac{t}{RC}} \tag{7}$$

y con la **Ecuación 7** el voltaje en la resistencia es:

$$V_R = -V_0\, e^{-\frac{t}{RC}}$$

4. Materiales

- Simulador «PhET Interactive Simulations» Circuit Construction Kit: AC.

En el simulador se usarán los siguientes componentes:

- Capacitor de $0.1[F]$.
- Batería de $9.0[V]$.
- Resistencia de $120[\Omega]$.
- Voltímetro.
- Cronómetro.
- Cables de conexión.

5. Procedimiento experimental

5.1. Carga del capacitor

A continuación se describe el procedimiento experimental que se llevará a cabo.

Figura 2: Simulador para el montaje de circuitos.

1. Ir al simulador ubicado en la dirección web: (https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-ac/latest/circuit-construction-kit-ac_en.html), tal como se muestra en la **Figura 2**.
2. Armar el circuito tal como se muestra en la **Figura 1**.
3. Conectar el voltímetro para la medición del voltaje en el capacitor.
4. Conectar el interruptor S en la posición 1.

5. Paralelamente al paso anterior, cronometrar los tiempos transcurridos para diferentes valores del voltaje marcado por el voltímetro.

6. Registrar las mediciones tomadas, elaborar las gráficas e interpretar los resultados.

5.2. Descarga del capacitor

A continuación se describe el procedimiento experimental que se llevará a cabo.

1. Ir al simulador ubicado en la dirección web: (https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-ac/latest/circuit-construction-kit-ac_en.html), tal como se muestra en la **Figura 2**.

2. Armar el circuito tal como se muestra en la **Figura 1**.

3. Conectar el voltímetro para la medición del voltaje en el capacitor.

4. Cargar el capacitor hasta su máxima capacidad.

5. Conectar el interruptor S en la posición 2.

6. Paralelamente al paso anterior, cronometrar los tiempos transcurridos para diferentes valores del voltaje marcado por el voltímetro.

7. Registrar las mediciones tomadas, elaborar las gráficas e interpretar los resultados.

6. Resultados

En la **Figura 3** se presenta el armado del circuito realizado en el simulador.
Voltaje de la batería:

$$V = 9.0[V]$$

Resistencia del circuito:

$$R = 120.0[\Omega]$$

Capacitancia del condensador:

$$C = 0.1[F]$$

6.1. Carga del capacitor

En el **Cuadro 1** se presentan los valores del tiempo cronometrado, y el tiempo absoluto para determinados valores de voltaje.
A partir de los datos del **Cuadro 1**, se obtiene la gráfica presentada en la **Figura 4**.
Por la forma de la **Figura 4** y considerando la **Ecuación 3**:

$$V = V_0(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

Despejando t obtenemos:

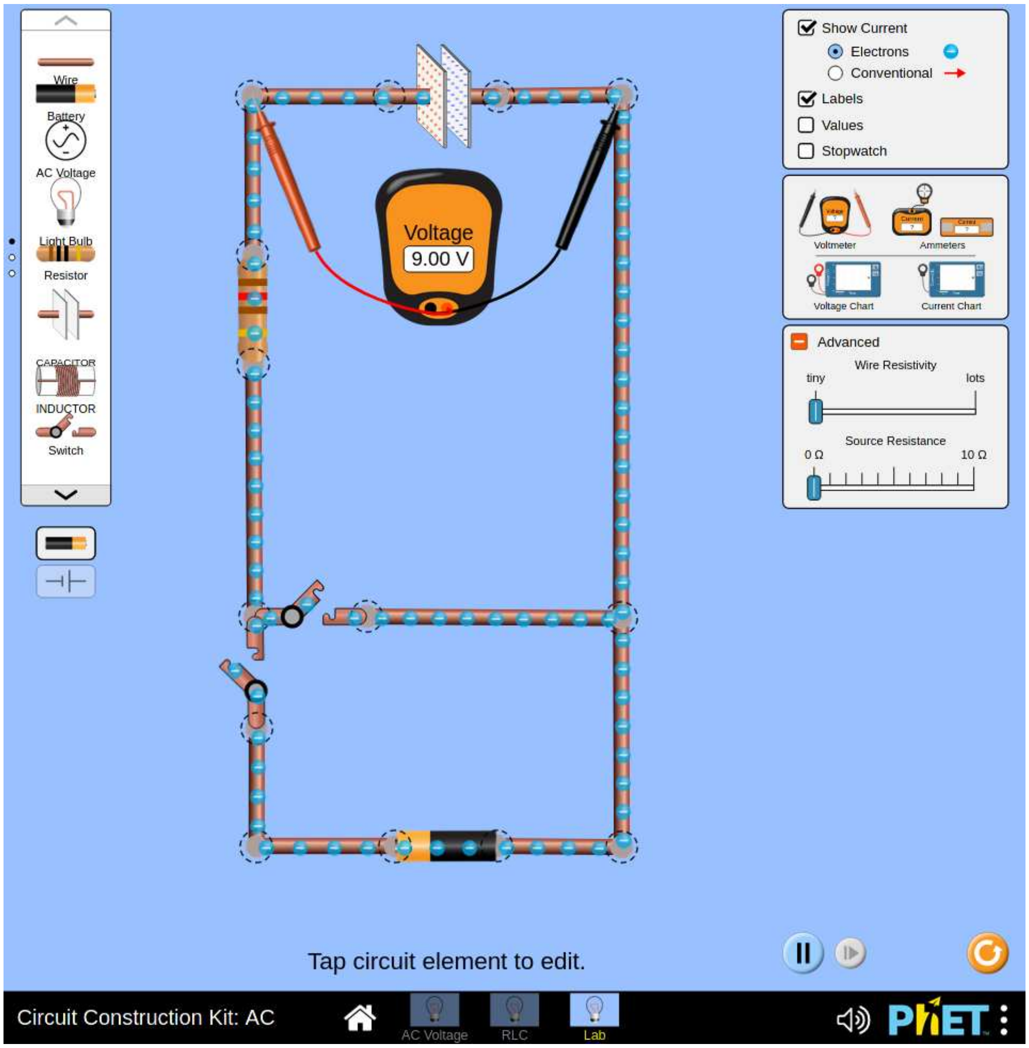

Figura 3: Circuito usado para el experimento.

$$V = V_0 - V_0\, e^{-\frac{t}{\tau}}$$
$$V - V_0 = -V_0\, e^{-\frac{t}{\tau}}$$
$$-\frac{V - V_0}{V_0} = e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Aplicando logaritmos naturales a ambos lados de la ecuación:

$$ln\left(1 - \frac{V}{V_0}\right) = -\frac{1}{\tau}t$$

Haciendo los siguientes cambios de variables:

$$V' = ln\left(1 - \frac{V}{V_0}\right)$$
$$B = -\frac{1}{\tau} \tag{8}$$

i	Cronometrado	$t_i[s]$	$V_i[V]$
1	00:04.37	0	0.05
2	00:05.72	1.35	1.00
3	00:07.33	2.96	2.01
4	00:09.16	4.79	3.00
5	00:11.38	7.01	4.01
6	00:14.03	9.66	5.00
7	00:17.53	13.16	6.01
8	00:22.33	17.96	7.00
9	00:30.63	26.26	8.00
10	01:34.26	89.89	9.00

Cuadro 1: Mediciones del voltaje y tiempo de carga del capacitor.

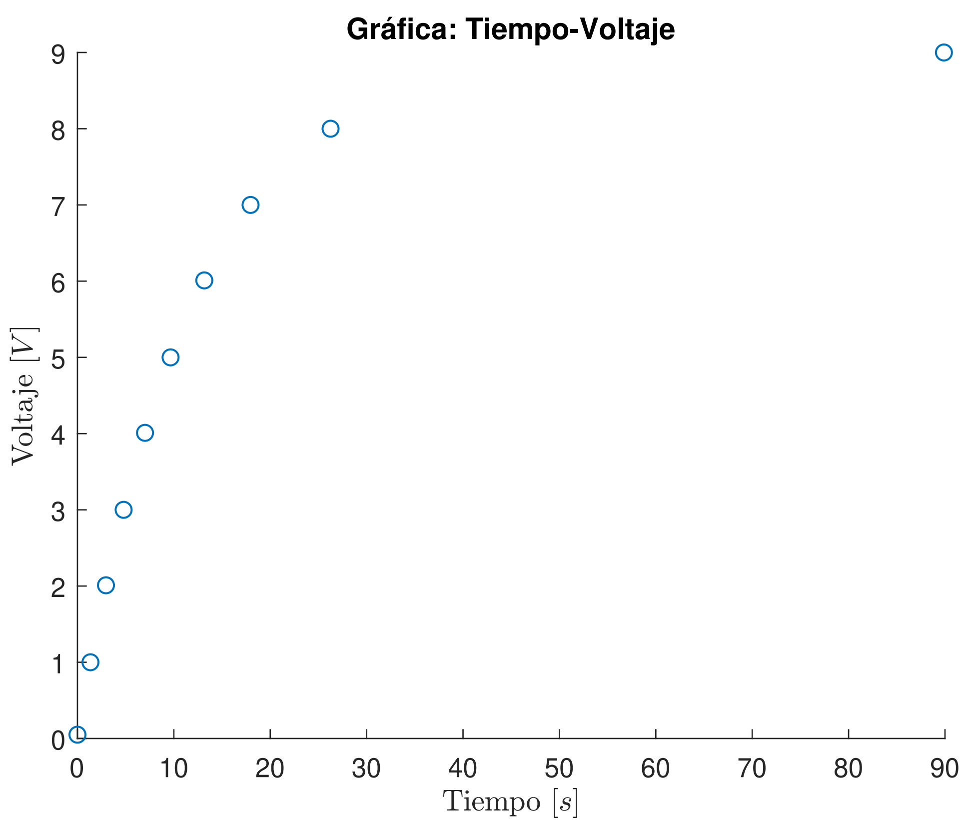

Figura 4: Voltaje del capacitor en función del tiempo (Carga).

$$t' = t$$

Se obtiene:

$$V' = A + Bt'$$

En el **Cuadro 2** pueden apreciarse los valores de la función aplicando los cambios de variable respectivos, tales datos generan la gráfica presentada en la **Figura 5**.

i	t'_i	V'_i
1	0	-0.0056
2	1.35	-0.1178
3	2.96	-0.2527
4	4.79	-0.4055
5	7.01	-0.5898
6	9.66	-0.8109
7	13.16	-1.1020
8	17.96	-1.5041
9	26.26	-2.1972

Cuadro 2: Valores después del cambio de variable.

Se calcularon los parámetros de la recta por el método de los mínimos cuadrados, con la ayuda de los datos presentados en el **Cuadro 3**.

i	$t'_iV'_i$	t'^2_i	V'^2_i	Y	d_i	$d_i^2(10^{-5})$
1	0	0	0.0000	-0.0052	-0.0004	0.0127
2	-0.1590	1.8225	0.0139	-0.1179	0.0001	0.0007
3	-0.7481	8.7616	0.0639	-0.2522	-0.0005	0.0278
4	-1.9422	22.9441	0.1644	-0.4049	-0.0005	0.0292
5	-4.1344	49.1401	0.3479	-0.5902	0.0004	0.0151
6	-7.8336	93.3156	0.6576	-0.8113	0.0004	0.0145
7	-14.5017	173.1856	1.2143	-1.1034	0.0014	0.2027
8	-27.0132	322.5616	2.2622	-1.5039	-0.0002	0.0025
9	-57.6991	689.5876	4.8278	-2.1965	-0.0007	0.0484

Cuadro 3: Valores para el método de mínimos cuadrados.

$$n = 9$$

$$\sum t'_i = 83.1500$$

$$\sum V'_i = -6.9855$$

$$\sum t'^2_i = 1.3613 \times 10^3$$

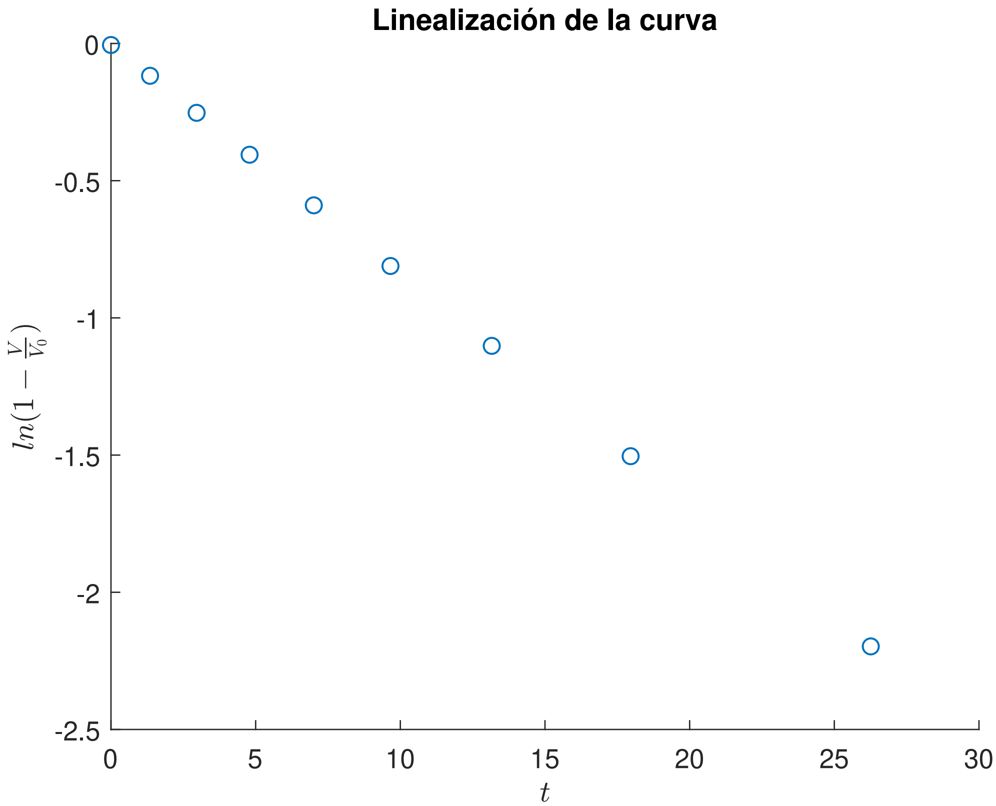

Figura 5: Gráfica de la función linealizada.

$$\sum V_i'^2 = 9.5520$$

$$\sum t_i' V_i' = -114.0313$$

$$\Delta_1 = n\sum I_i^2 - \left(\sum I_i\right)^2 = 5.3379 \times 10^3$$

$$\Delta_2 = n\sum V_i^2 - \left(\sum V_i\right)^2 = 37.1702$$

$$A = \frac{\sum V_i \sum I_i^2 - \sum I_i V_i \sum I_i}{\Delta_1} = -0.0052$$

$$B = \frac{n\sum I_i V_i - \sum I_i \sum V_i}{\Delta_1} = -0.0834$$

$$\sum d^2 = 3.5358 \times 10^{-6}$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum d_i^2}{n-2} = 5.0511 \times 10^{-7}$$

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{\sigma^2 \sum d_i^2}{\Delta_1}} = 3.5891 \times 10^{-4}$$

$$\sigma_B = \sqrt{\frac{\sigma^2 n}{\Delta_1}} = 2.9183 \times 10^{-5}$$

$$A = (-0.0052 \pm 0.0004)[u]; 6.88\,\%$$

$$B = (-0.0834 \pm 0.00003)[s^{-1}]; 0.03\,\%$$

Siendo el coeficiente de correlación:

$$r = \frac{n\sum I_iV_i - (\sum I_i)(\sum V_i)}{\sqrt{\Delta_1\Delta_2}} = -1.0000$$

La ecuación de la recta resultante es:

$$V' = -0.0052 - 0.0834 \cdot t'$$

Por tanto, se comprueba la relación entre el voltaje y el tiempo para el proceso de carga del capacitor descrito por la **Ecuación 3**.

Resultado
$V(t) = 9\left(1 - e^{-\frac{1}{RC}\,t}\right)$

Se determinará la constante de tiempo τ, a partir de la **Ecuación 8**:

$$\tau = -\frac{1}{B} = 11.9837[s]$$

La derivada parcial es:

$$\frac{\partial \tau}{\partial B} = \frac{1}{B^2}$$

Siendo el error de la medición:

$$e_\tau = \left|\frac{1}{B^2}\,e_B\right| = 0.0042$$

Por tanto la constante de tiempo es:

Resultado
$\tau = (11.984 \pm 0.004)[s]; 0.03\,\%$

i	Cronometrado	$t_i[s]$	$V_i[V]$
1	00:05.08	0	8.98
2	00:06.47	1.39	7.99
3	00:08.08	3.00	6.99
4	00:09.94	4.86	5.99
5	00:12.12	7.04	5.00
6	00:14.78	9.70	4.00
7	00:18.22	13.14	3.00
8	00:23.10	18.02	2.00
9	00:31.37	26.29	1.00
10	02:02.65	117.57	0

Cuadro 4: Mediciones del voltaje y tiempo de descarga del capacitor.

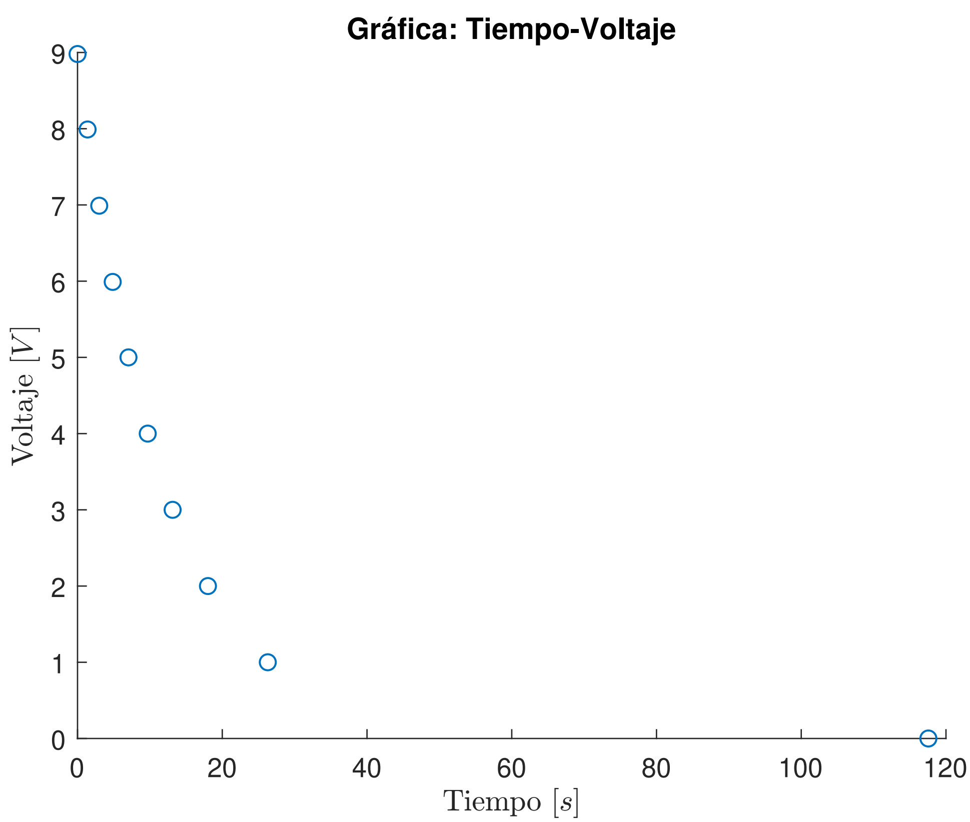

Figura 6: Voltaje del capacitor en función del tiempo (Descarga).

6.2. Descarga del capacitor

En el **Cuadro 4** se presentan los valores del tiempo cronometrado, y el tiempo absoluto para determinados valores de voltaje.

A partir de los datos del **Cuadro 4**, se obtiene la gráfica presentada en la **Figura 6**.

Por la forma de la **Figura 6** y considerando la **Ecuación 6**:

$$V = V_0 \, e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Aplicando logaritmos naturales a ambos lados de la ecuación:

$$ln \, V = ln \, V_0 - \frac{1}{\tau} \, t$$

Haciendo los siguientes cambios de variables:

$$\begin{aligned} V' &= ln \, V \\ A &= ln \, V_0 \\ B &= -\frac{1}{\tau} \\ t' &= t \end{aligned} \tag{9}$$

Se obtiene:

$$V' = A + Bt'$$

En el **Cuadro 5** pueden apreciarse los valores de la función aplicando los cambios de variable respectivos, tales datos generan la gráfica presentada en la **Figura 7**.

i	t'_i	V'_i
1	0	2.1950
2	1.39	2.0782
3	3.00	1.9445
4	4.86	1.7901
5	7.04	1.6094
6	9.70	1.3863
7	13.14	1.0986
8	18.02	0.6931
9	26.29	0

Cuadro 5: Valores después del cambio de variable.

Se calcularon los parámetros de la recta por el método de los mínimos cuadrados, con la ayuda de los datos presentados en el **Cuadro 6**.

$$n = 9$$

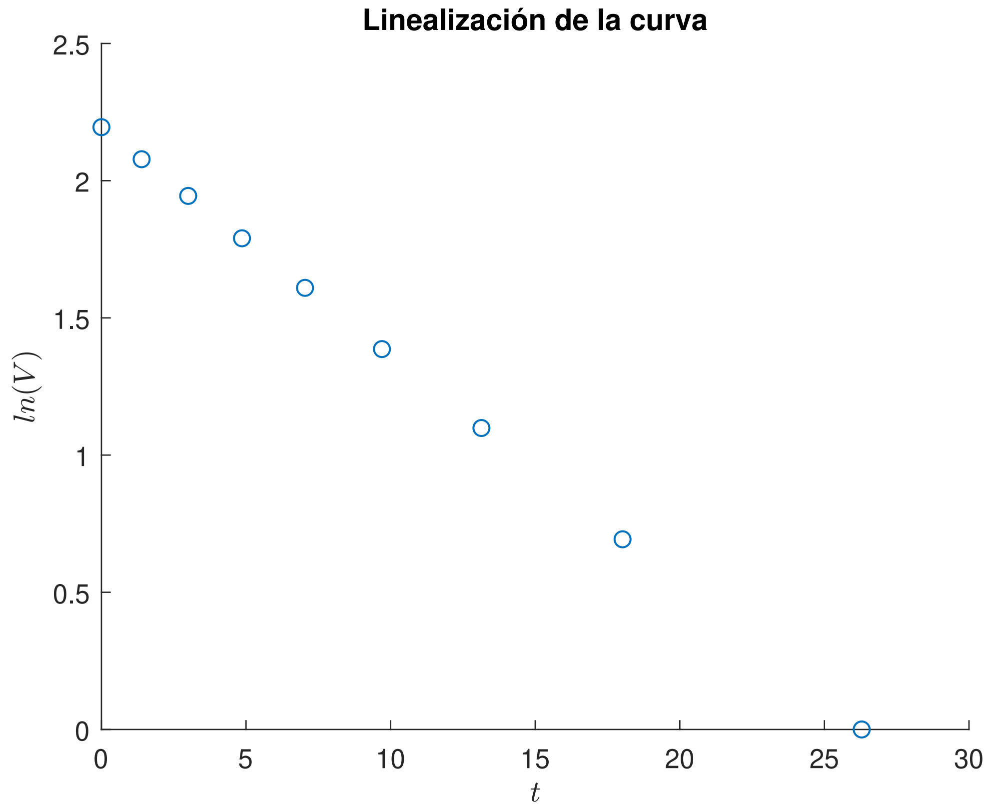

Figura 7: Gráfica de la función linealizada.

i	$t'_iV'_i$	t'^2_i	V'^2_i	Y	d_i	$d_i^2(10^{-5})$
1	0	0	4.8180	2.1954	-0.0004	0.0146
2	2.8887	1.9321	4.3189	2.0794	-0.0012	0.1424
3	5.8334	9.0000	3.7810	1.9450	-0.0005	0.0299
4	8.6998	23.6196	3.2044	1.7898	0.0003	0.0080
5	11.3304	49.5616	2.5903	1.6079	0.0016	0.2414
6	13.4471	94.0900	1.9218	1.3859	0.0004	0.0153
7	14.4358	172.6596	1.2069	1.0988	-0.0002	0.0048
8	12.4905	324.7204	0.4805	0.6916	0.0016	0.2429
9	0	691.1641	0	0.0014	-0.0014	0.2091

Cuadro 6: Valores para el método de mínimos cuadrados.

$$\sum t'_i = 83.4400$$

$$\sum V'_i = 12.7953$$

$$\sum t'^2_i = 1.3667 \times 10^3$$

$$\sum V_i'^2 = 22.3218$$

$$\sum t_i'V_i' = 69.1257$$

$$\Delta_1 = n\sum I_i^2 - \left(\sum I_i\right)^2 = 5.3385 \times 10^3$$

$$\Delta_2 = n\sum V_i^2 - \left(\sum V_i\right)^2 = 37.1780$$

$$A = \frac{\sum V_i \sum I_i^2 - \sum I_i V_i \sum I_i}{\Delta_1} = 2.1954$$

$$B = \frac{n\sum I_i V_i - \sum I_i \sum V_i}{\Delta_1} = -0.0835$$

$$\sum d^2 = 9.0844 \times 10^{-6}$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum d_i^2}{n-2} = 1.2978 \times 10^{-6}$$

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{\sigma^2 \sum d_i^2}{\Delta_1}} = 5.7641 \times 10^{-4}$$

$$\sigma_B = \sqrt{\frac{\sigma^2 n}{\Delta_1}} = 4.6775 \times 10^{-5}$$

$$A = (2.1954 \pm 0.0006)[u]; 0.03\,\%$$

$$B = (-0.0835 \pm 0.00005)[s^{-1}]; 0.06\,\%$$

Siendo el coeficiente de correlación:

$$r = \frac{n\sum I_i V_i - (\sum I_i)(\sum V_i)}{\sqrt{\Delta_1 \Delta_2}} = -1.0000$$

La ecuación de la recta resultante es:

$$V' = 2.1954 - 0.0835 \cdot t'$$

Por tanto, se comprueba la relación entre el voltaje y el tiempo para el proceso de descarga del capacitor descrito por la **Ecuación 6**.

Resultado
$V(t) = 9\, e^{-\frac{1}{RC}\, t}$

Se determinará la constante de tiempo τ, a partir de la **Ecuación 9**:

$$\tau = -\frac{1}{B} = 11.9830[s]$$

La derivada parcial es:

$$\frac{\partial \tau}{\partial B} = \frac{1}{B^2}$$

Siendo el error de la medición:

$$e_\tau = \left| \frac{1}{B^2} e_B \right| = 0.0067$$

Por tanto la constante de tiempo es:

Resultado
$\tau = (11.983 \pm 0.007)[s]; 0.05\,\%$

7. Cuestionario

1. **Demostrar que la constante de tiempo RC, tiene unidades de tiempo.**
   Analizando sus unidades:

$$RC = [\Omega][F]$$

   Por la ley de *Ohm*, sabemos que: $V = I\,R$:

$$RC = \left[\frac{V}{A}\right][F]$$

   Por la definición de capacitancia: $C = Q/V$:

$$RC = \left[\frac{V}{A}\right]\left[\frac{C}{V}\right] = \left[\frac{C}{A}\right]$$

   Por la definición de corriente eléctrica: $I = Q/T$:

$$RC = \left[\frac{C}{A}\right] = [C]\left[\frac{s}{C}\right] = [s]$$

2. **¿Se consiguió el mismo valor de la constante de tiempo en el proceso de carga y descarga?, si no es el caso ¿Cuál es el error porcentual?**
   Se obtuvieron valores muy próximos:

$$\tau_c = 11.9837[s]$$
$$\tau_d = 11.9830[s]$$

$$\text{diferencia} = 0.00064[s]$$
$$\text{diferencia porcentual} = 0.0053\,\%$$

3. **¿Qué tipos de capacitores existen?**
   Los capacitores pueden ser:

   - Capacitores fijos.
     - De cerámica.
     - De lámina de plástico.
     - De múltiples placas.
       - De mica.
       - De poliéster.
       - Electrolíticos.
       - De tantalio.
   - Capacitores variables.
     - Variables giratorias.
     - Ajustables “trimmer”.