

ANALISIS DE CIRCUITOS RC PARA CARGA Y DESCARGA DE CONDENSADOR

Resumen

El presente informe tiene como objetivo estudiar el comportamiento del voltaje, la corriente y la carga en un circuito RC durante los procesos de carga y descarga del condensador en un determinado tiempo. Se llevaron a cabo experimentos en un laboratorio de física para analizar las características eléctricas del circuito RC, que está compuesto por una resistencia (R) y un condensador (C) conectados en serie a una fuente de alimentación. En la primera parte del experimento, se cargó el condensador desde un estado de descarga completa hasta la carga máxima, registrando los valores de voltaje y corriente en función del tiempo. En la segunda parte, se estudió la descarga del condensador después de desconectar la fuente de alimentación. El objetivo principal es obtener una descripción cuantitativa del comportamiento del circuito, para lo cual se utilizarán técnicas de regresión para ajustar los resultados experimentales a ecuaciones matemáticas que describan los procesos de carga y descarga en función del tiempo. Esto permitirá una mejor comprensión y modelado del comportamiento eléctrico del circuito RC.

Palabras Claves: Circuito RC, Comportamiento eléctrico, Carga y descarga del condensador, Experimentos en laboratorio, Técnicas de regresión

1. INTRODUCCIÓN

Los circuitos RC, también conocidos como circuitos resistencia-capacitancia, son elementos fundamentales en la electrónica y desempeñan un papel crucial en una amplia variedad de aplicaciones. Estos circuitos son una combinación de resistores y capacitores que trabajan en conjunto para almacenar y liberar cargas eléctricas. Su naturaleza de respuesta temporal los hace ideales para diversas funciones, como filtrado, temporización y atenuación de señales.

Un circuito RC consiste en un resistor (R) y un capacitor (C) conectados en serie o en paralelo. El resistor limita el flujo de corriente eléctrica, mientras que el capacitor almacena carga eléctrica en su estructura dieléctrica. Cuando se aplica una tensión a un circuito RC, el capacitor se carga gradualmente a través del resistor. Durante el proceso de carga, el voltaje en el capacitor aumenta exponencialmente hasta alcanzar la tensión de entrada [1].

$$I(t) = \frac{V_{entrada}}{R} e^{-\frac{t}{RC}}$$

Figura 1. Ecuación que describe la corriente eléctrica que fluye a través del resistor (R) hacia el capacitor.

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

Figura 2. Ecuación que describe la carga eléctrica que es almacenada por el condensador.

Cuando se desconecta la fuente de tensión o se interrumpe el flujo de corriente, el capacitor comienza a descargarse a través del resistor. Este proceso de

descarga también sigue una ley exponencial, disminuyendo el voltaje almacenado en el capacitor [1].

$$I(t) = -\frac{V_{carga}}{R} e^{-\frac{t}{RC}}$$

Figura 3. Ecuación que describe la corriente eléctrica disminuyendo en la descarga del condensador.

$$V(t) = V_{carga} e^{-\frac{t}{RC}}$$

Figura 4. Ecuación que describe el voltaje disminuyendo en la descarga del condensador.

Estas ecuaciones son fundamentales para entender cómo el capacitor se carga y descarga a través del resistor en un circuito RC. El propósito de este trabajo es explorar y comprender las ecuaciones que describen la carga y descarga de los circuitos RC a través de la experimentación. Mediante el análisis de datos obtenidos de mediciones prácticas y la comparación con los resultados teóricos, se busca validar y establecer la relación entre los parámetros del circuito y las ecuaciones fundamentales que rigen su comportamiento. A través de esta metodología experimental, se busca fortalecer la comprensión de los circuitos RC y su aplicación en la electrónica, asegurando una base sólida para futuros diseños y optimización de sistemas.

2. MATERIALES Y METODOS

Los materiales utilizados en el experimento incluyeron una fuente de voltaje ajustada a 20V, una resistencia de 20 kΩ, un condensador de 4700 μF, un protoboard, un voltímetro, un amperímetro y cables de cobre. El

experimento comenzó con el condensador descargado. El circuito RC se ensambló conectando el voltímetro en paralelo al condensador y el amperímetro en serie con la resistencia. Luego, se encendió la fuente de alimentación y el condensador comenzó a cargarse. Durante este proceso, se anotaron las lecturas de voltaje y corriente en intervalos regulares. Una vez que el condensador alcanzó su capacidad máxima de almacenamiento de energía, se desconectó la fuente de alimentación y se registraron nuevas lecturas de voltaje y corriente cada diez segundos a medida que el condensador se descargaba.

La recopilación de datos se ingresó como variables del software utilizado [2] y se analizaron posteriormente utilizando técnicas de regresión para ajustar ecuaciones matemáticas que describieran los procesos de carga y descarga del condensador en función del tiempo. El análisis tuvo como objetivo comprender el comportamiento eléctrico del circuito RC y obtener información sobre las relaciones cuantitativas entre el voltaje, la corriente y la carga durante los procesos de carga observado en la figura 5 y descarga como puede observarse en la figura 6, los datos relacionados con la carga se obtuvieron de la ecuación [1] que describe la carga como el producto entre el voltaje y una capacitancia de 4700 μF .

```
# Datos proporcionados
tiempo = [10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200,
210, 220, 230, 240, 250, 260, 270, 280, 290, 300, 310, 320, 330, 340, 350, 360, 370, 380,
390, 400, 410, 420, 430, 440, 450, 460, 470, 480, 490, 500, 510, 520, 530]
voltaje = [1.9, 3.33, 4.8, 6.89, 7.25, 8.2, 9.3, 10.01, 10.89, 11.64, 12.3, 12.9, 13.45, 13.98, 14.39,
14.8, 15.2, 15.57, 15.89, 16.16, 16.4, 16.66, 16.89, 17.08, 17.27, 17.45, 17.61, 17.7, 17.91,
18.01, 18.13, 18.25, 18.34, 18.42, 18.5, 18.58, 18.65, 18.71, 18.76, 18.81, 18.85, 18.89, 18.92,
18.95, 18.97, 18.99, 19.0, 19.01, 19.02, 19.03, 19.03, 19.03, 19.04]
corriente = [0.04, 0.76, 0.7, 0.66, 0.58, 0.54, 0.5, 0.46, 0.42, 0.4, 0.38, 0.34, 0.31, 0.28, 0.26, 0.24,
0.23, 0.21, 0.2, 0.19, 0.18, 0.16, 0.15, 0.14, 0.13, 0.12, 0.12, 0.11, 0.1, 0.1, 0.09, 0.09,
0.08, 0.08, 0.08, 0.08, 0.07, 0.07, 0.07, 0.07, 0.06, 0.06, 0.06, 0.06, 0.06, 0.06, 0.05,
0.05, 0.05, 0.05, 0.05, 0.05]
carga = [89288.6, 156400.82, 225571.2, 323788.66, 348786.5, 385358.8, 437844.2, 478489.94, 511764.66, 547819.16,
578826.2, 608222.6, 632069.3, 650976.12, 670243.66, 695511.2, 714388.8, 731696.58, 746734.66, 759423.04,
770701.6, 782928.04, 793728.66, 802657.52, 811586.38, 820045.3, 827564.34, 831793.8, 841662.54, 846361.94,
852001.22, 857648.5, 861869.96, 865629.48, 869389.0, 873148.52, 876438.1, 879257.74, 881607.44, 883957.14,
885836.9, 887716.66, 889126.48, 890536.3, 891476.18, 892416.06, 892886.0, 893355.94, 893825.88, 894295.82,
894765.76]
```

Figura 5. Datos obtenidos en la carga del condensador ingresados como Arrays para las variables de voltaje, corriente, carga y tiempo en el software.

```
# Datos proporcionados
tiempo = [10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200, 210, 220, 230, 240, 250, 260, 270, 280, 290, 300, 310, 320, 330, 340, 350, 360, 370, 380, 390, 400, 410, 420, 430, 440, 450, 460, 470, 480, 490, 500, 510, 520, 530]
voltaje = [16.81, 15.55, 14.38, 13.21, 12.19, 11.24, 10.38, 9.6, 8.82, 8.18, 7.54, 7.02, 6.51, 6.01, 5.28,
5.18, 4.72, 4.39, 4.02, 3.72, 3.45, 3.22, 2.99, 2.74, 2.48, 2.32, 2.16, 2.01, 1.85, 1.79, 1.64, 1.49,
1.34, 1.29, 1.2, 1.12, 1.04, 0.98, 0.91, 0.85, 0.8, 0.75, 0.7, 0.65, 0.61, 0.57, 0.54, 0.51,
0.48, 0.45, 0.42, 0.4, 0.38, 0.35, 0.34, 0.32, 0.3, 0.28, 0.27, 0.25, 0.24, 0.23, 0.21, 0.2, 0.19,
0.18, 0.17, 0.16, 0.15, 0.14, 0.14, 0.13, 0.13, 0.12, 0.12, 0.12, 0.11, 0.11, 0.1, 0.1, 0.1,
0.1, 0.09]
corriente = [0.76, 0.72, 0.67, 0.62, 0.57, 0.52, 0.49, 0.44, 0.41, 0.39, 0.37, 0.33, 0.29, 0.27, 0.25, 0.23,
0.22, 0.2, 0.18, 0.17, 0.16, 0.14, 0.13, 0.12, 0.11, 0.1, 0.1, 0.09, 0.08, 0.08, 0.07, 0.07, 0.06,
0.06, 0.06, 0.05, 0.05, 0.04, 0.04, 0.04, 0.04, 0.03, 0.03, 0.03, 0.03, 0.02, 0.02, 0.02, 0.02,
0.02, 0.02, 0.02, 0.02, 0.02, 0.02, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01,
0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01,
0.01, 0.01, 0.01, 0.01]
carga = [789969.14, 738756.7, 675773.72, 620790.74, 572856.86, 528212.58, 487797.72, 451142.4, 414487.88, 384418.92,
35434.76, 329897.82, 306870.82, 282431.94, 248126.32, 243428.52, 221811.68, 204423.9, 188915.88, 174817.66,
162129.2, 146621.29, 137892.42, 127485.9, 116545.12, 109026.89, 101507.89, 94417.94, 86938.9, 82929.62,
75190.4, 70491.8, 62971.96, 60822.26, 56392.8, 52833.28, 48873.76, 46054.12, 42704.54, 39045.9, 37595.2,
35245.5, 32895.8, 30546.1, 29086.22, 28196.4, 26786.58, 25376.26, 23966.94, 22557.12, 21147.3, 19737.48,
18397.6, 17857.72, 16447.9, 15977.96, 15038.88, 14098.2, 13158.32, 12088.38, 11740.5, 11278.56, 10808.62,
9983.74, 9300.28, 8928.36, 8458.92, 7988.88, 7519.85, 7049.84, 6579.16, 6079.16, 5579.16, 5109.22,
4689.22, 4239.24, 3839.26, 3439.28, 3109.34, 2809.34, 2509.34, 2209.34, 1909.34, 1609.34, 1309.34, 1009.34, 709.34, 409.34, 109.34, 19.34]
```

Figura 6. Datos obtenidos en la descarga del condensador ingresados como Arrays para las variables de voltaje, corriente, carga y tiempo en el software.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Empezamos a observar los resultados obtenidos en la carga del condensador, el software nos permite generar un gráfico de dispersión denotado con punto

azules para las variables a estudiar en función del tiempo, de igual manera nos genera una curva de color rojo en que muestra la regresión que se ajusta al comportamiento de los datos ingresados como se manifiesta en las figuras 7, 8 y 9.

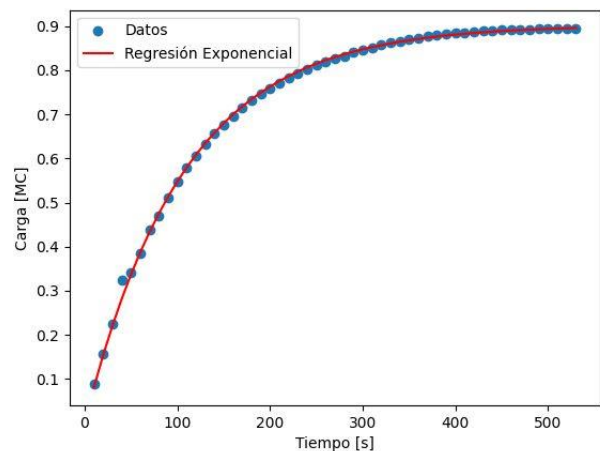


Figura 7. Gráfico de la carga eléctrica medida en Megacoulombs vs tiempo en segundos para un condensador cargándose.

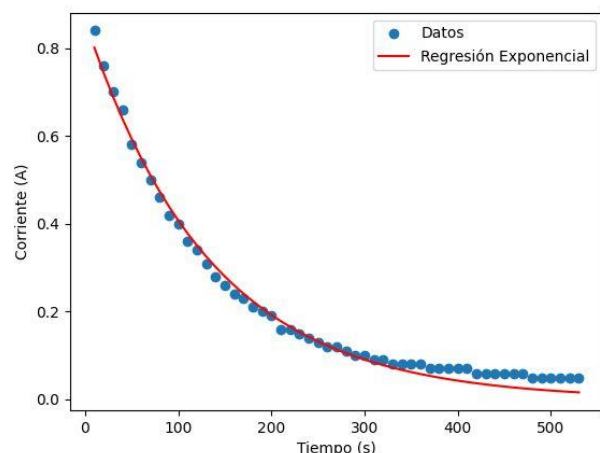


Figura 8. Gráfico de la corriente eléctrica medida en amperes vs tiempo en segundos para un condensador cargándose.

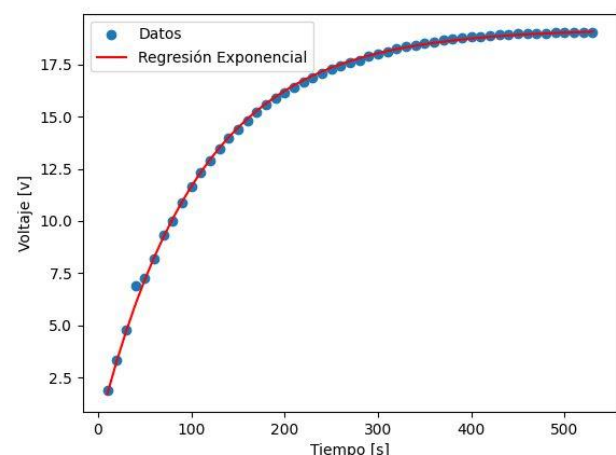


Figura 9. Gráfico del voltaje medido en volts vs tiempo en segundos para un condensador cargándose.

Para obtener las regresiones exponenciales de la carga y el voltaje es necesario definir una función modificada de la regresión exponencial que se ajuste más al modelo teórico descrito en la introducción de este documento como se observa en la figura 10.

```
# Función exponencial
def exponencial_func(t, Qmax, RC):
    return Qmax * (1 - np.exp(-t / RC))
```

Figura 10. Regresión exponencial modificada dentro del software.

Únicamente la corriente puede ser tratada con una regresión exponencial común como se observa en la figura 11.

```
# Función exponencial
def exponencial_func(t, Qmax, RC):
    return Qmax * (1 - np.exp(-t / RC))
```

Figura 11. Regresión exponencial sin modificar.

El resultado que obtiene el programa visualizado en la figura 12 nos muestra el índice de correlación de la regresión, las ecuaciones que se ajustan a cada variable implicada en la carga del condensador y una estimación experimental de la resistencia usada que se acerca al valor de la resistencia que se usó en el circuito.

```
R cuadrado: 1.00
Ecuación de la regresión exponencial:
Q(t) = 962460.8875045126 * (1 - exp(-t / 107.11269855335514 ))

Redondeado se obtiene:
Q(t) = 962460.89 * (1 - exp(-t / 107.11))

capacitancia conocida en microfaradios: 4700
Valor de la resistencia (R): 23 kΩ

Ecuación de la regresión exponencial para la corriente:
I(t) = 0.8640167555797303 * e^(-0.007508385446380657 * t)

Redondeado se obtiene:
I(t) = 0.86 * e^(-0.01*t)

Coeficiente de correlación (R cuadrado) para la corriente:
R^2 = 0.9905395815065181

capacitancia conocida en microfaradios: 4700
Valor de la resistencia (R): 28 kΩ
R cuadrado: 1.00

Ecuación de la regresión exponencial:
V(t) = 19.203747191197923 * (1 - exp(-t / 107.11278324535785 ))

Redondeado se obtiene:
V(t) = 19.20 * (1 - exp(-t / 107.11))

capacitancia conocida en microfaradios: 4700
Valor de la resistencia (R): 23 kΩ
```

Figura 12. Resultados arrojados por el software para el análisis del circuito RC cuando un condensador está cargándose.

Por último, analizamos los datos obtenidos en la descarga del capacitor de los gráficos ilustrados en las figuras 13, 14 y 15.

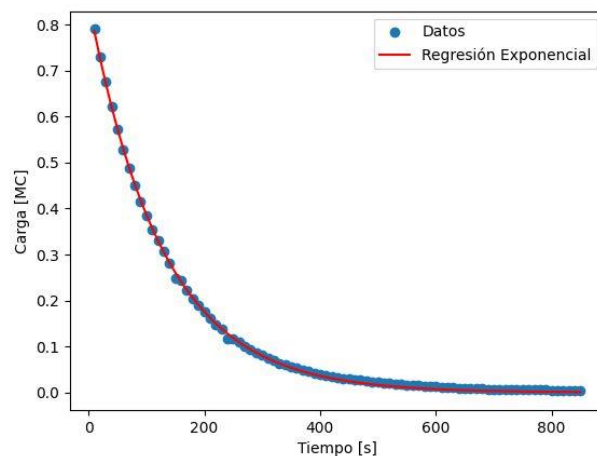


Figura 13. Gráfico de la carga eléctrica medida en Megacoulombs vs tiempo en segundos para un condensador descargándose.

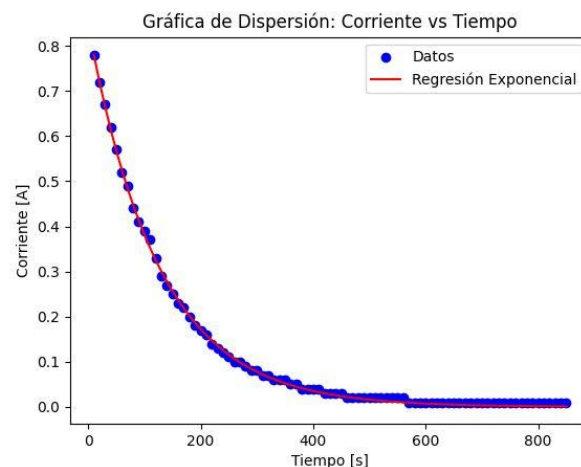


Figura 14. Gráfico de la corriente eléctrica medida en amperes vs tiempo en segundos para un condensador descargándose.

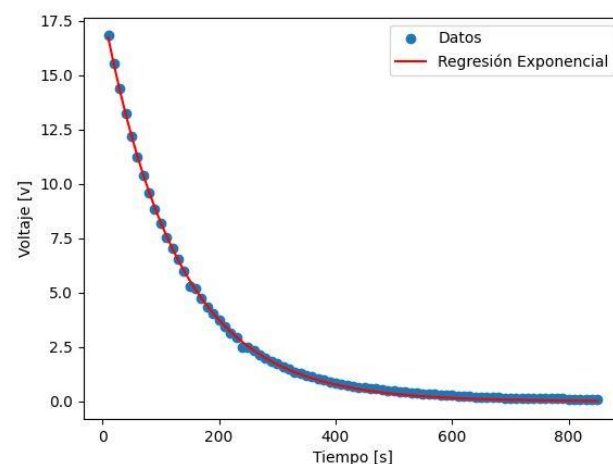


Figura 15. Gráfico del voltaje medido en volts vs tiempo en segundos para un condensador descargándose.

Sin embargo, no es necesario modificar la regresión en estos datos al igual que sucede con la corriente para un condensador cargándose, cada una de estas regresiones fueron calculadas usando la regresión exponencial explicada en la figura 11 y por último

obtenemos la interpretación de estos datos con nuestro software cuyos resultados puedes ser vistos en la figura 16.

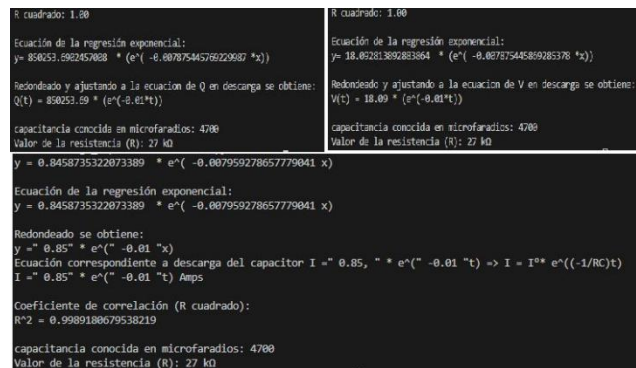


Figura 16. Resultados arrojados por el software para el análisis del circuito RC cuando un condensador está descargándose.

4. CONCLUSIONES

A través de experimentos en el laboratorio, se obtuvieron datos precisos de voltaje, corriente y carga en función del tiempo, que fueron analizados y comparados con las ecuaciones teóricas.

En el proceso de carga del condensador, se observó que tanto la corriente como el voltaje siguen un comportamiento exponencial. Estos datos fueron ajustados mediante técnicas de regresión exponencial modificada, lo que permitió obtener una ecuación matemática que describe con precisión la carga eléctrica almacenada en el condensador en función del

tiempo. Además, se obtuvo una estimación experimental de la resistencia utilizada en el circuito, que se acercó al valor real.

Por otro lado, durante la descarga del condensador, tanto la corriente como el voltaje también siguieron una ley exponencial. En este caso, las regresiones exponenciales estándar fueron suficientes para describir el comportamiento de estas variables. Las ecuaciones resultantes proporcionan una descripción cuantitativa del comportamiento del circuito RC en los procesos de carga y descarga del condensador. Estos hallazgos son esenciales para comprender cómo el circuito RC almacena y libera energía eléctrica.

5. REFERENCIAS

- [1] H. D. y. R. A. F. YOUNG, Física universitaria, con física moderna volumen 2., Mexico: PEARSON EDUCACIÓN, 2009.
- [2] J. Plata, «Github,» 2023. [En línea]. Available: <https://github.com/josebladex/Recursos-Python-Fisica-II.git>.