

Carga y descarga de un condensador

César Ortúñez, David Mateos & Alejandro Zubiri

11 de abril de 2025

Índice

1. Objetivo	2
2. Material	2
3. Fundamentos teóricos	2
3.1. Fenómeno de carga	3
3.2. Fenómeno de descarga	3
4. Procedimiento experimental	4
4.1. Estudio del fenómeno de carga	4
4.2. Estudio del fenómeno de descarga	4
5. Tratamiento de datos	4
5.1. Representar los voltajes V_R y V_C	4
5.2. $Q(t)$	8
5.3. V sobre resistencia	10
5.4. Representar V_r y V_c	15
5.5. Determinar el valor de la carga máxima y la evolución temporal de la carga partir de los valores de V_c y del valor de C	17
5.6. Determinar V_0 y τ a partir de los parámetros de la recta y el error cometido en τ	19

1. Objetivo

- Estudiar el proceso de carga de un condensador en un circuito R-C y determinar su tiempo característico.
- Analizar el proceso de descarga de un condensador en un circuito R-C y estimar su tiempo característico.
- Observar el fenómeno de polarización de carga eléctrica.
- Adquirir conocimientos sobre dispositivos electrónicos y práctica en el montaje de circuitos.

2. Material

- Fuente de voltaje en corriente continua.
- Condensador.
- Resistencia.
- Cables.
- Módulo Board.
- Dos polímetros en modo voltímetro.
- Cronómetro.

3. Fundamentos teóricos

Un condensador es un dispositivo formado por dos placas metálicas separadas por un dieléctrico. Los dieléctricos tienen baja conductividad y están compuestos por dipolos eléctricos, como la molécula de agua (Figura 1).

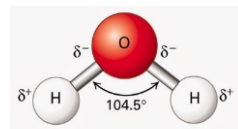


Figura.1.a. Distribución de cargas

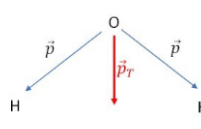


Figura.1.b. Momentos por enlace

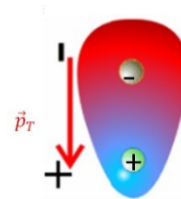


Figura.1.a. Representación del dipolo de la molécula de agua

Figura 1: Representación del dipolo de la molécula de agua.

La polarización del dieléctrico ocurre cuando se aplica un campo eléctrico externo, alineando los dipolos (Figura 2). En un condensador plano-paralelo, el campo eléctrico total \vec{E} es la suma del campo externo \vec{E}_o y el campo inducido \vec{E}_i :

$$\vec{E} = \vec{E}_o + \vec{E}_i$$

La capacidad C del condensador se define como:

$$C = \frac{Q}{V}$$

donde Q es la carga almacenada y V la diferencia de potencial.

3.1. Fenómeno de carga

Al conectar el circuito R-C a una fuente de voltaje V_o , la corriente $i(t)$ y el voltaje $V_C(t)$ evolucionan según:

$$i(t) = \frac{V_o}{R} e^{-\frac{t}{RC}}, \quad V_C(t) = V_o \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$$

El tiempo característico de carga es $\tau = RC$.

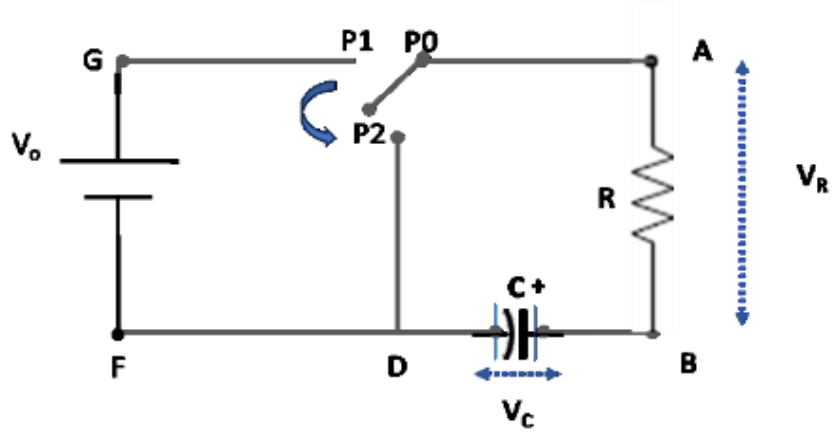


Figura 2: Circuito R-C durante la fase de carga.

3.2. Fenómeno de descarga

Al desconectar la fuente, el condensador se descarga a través de la resistencia. La corriente y el voltaje siguen:

$$i(t) = -\frac{V_o}{R} e^{-\frac{t}{RC}}, \quad V_C(t) = V_o e^{-\frac{t}{RC}}$$

El tiempo de relajación $\tau = RC$ indica el tiempo que tarda el dieléctrico en despolarizarse.

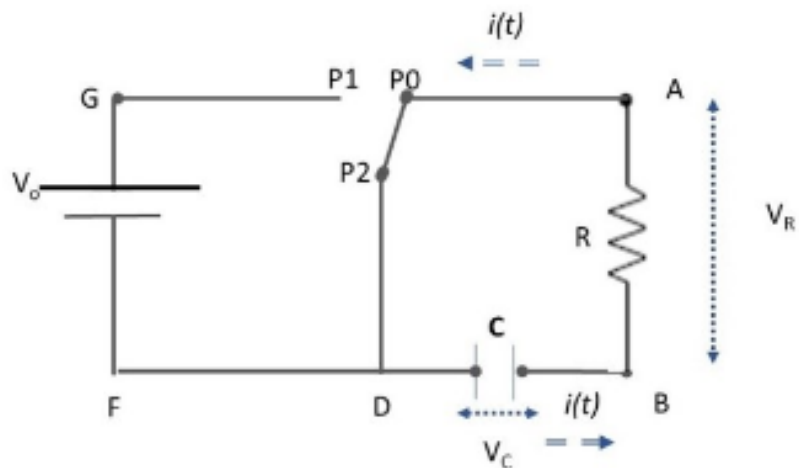


Figura 3: Circuito R-C durante la fase de descarga.

4. Procedimiento experimental

4.1. Estudio del fenómeno de carga

1. Montar el circuito R-C.
2. Medir los valores de R y C con el polímetro.
3. Conectar los voltímetros para medir V_R y V_C .
4. Ajustar la fuente a 5 V y definir $t_1 = 3RC$.
5. Registrar V_R y V_C en una tabla con columnas: tiempo, V_R , V_C .

4.2. Estudio del fenómeno de descarga

1. Cambiar el interruptor a la posición P2.
2. Registrar nuevamente V_R y V_C para $t \approx 3RC$.

5. Tratamiento de datos

5.1. Representar los voltajes V_R y V_C

En el laboratorio, se tomaron las siguientes medidas de los Voltajes, V_R V_C :

Voltaje (resistencia) [V]	Voltaje (condensador) [V]
3.66	1.52
3.56	1.61
3.47	1.70
3.38	1.79
3.30	1.87
3.22	1.95
3.14	2.03
3.06	2.10
2.99	2.18
2.92	2.25
2.85	2.32

En base a una medida periódica mediante el tiempo.

Tiempo [s]	Voltaje (resistencia) [V]	Voltaje (condensador) [V]
0	3.66	1.52
10	3.56	1.61
20	3.47	1.70
30	3.38	1.79
40	3.30	1.87
50	3.22	1.95
60	3.14	2.03
70	3.06	2.10
80	2.99	2.18
90	2.92	2.25
100	2.85	2.32

Además sabemos con certeza el error de la medición del tiempo que es de $\varepsilon_t(s) = 0,01$

Mediante la lectura de los manuales de los polímetros, podemos deducir lo siguientes errores:

$$\varepsilon_{V_R}(\%) = 0,7\%$$

$$\varepsilon_{V_C} (\%) = 0,5 \%$$

También contamos con el error de resolución de cada una:

$$\varepsilon_{V_R} = 0,1$$

$$\varepsilon_{V_C} = 0,1$$

Por lo tanto definimos el error absoluto como el valor máximo entre ε_R , y el error de resolución. Para calcular el error hay que seguir la siguiente formula:

$$\text{Error relativo } (\%) = \frac{\varepsilon_x}{\bar{x}} \cdot 100 \longrightarrow \varepsilon_x = \frac{\text{Error relativo } (\%) \cdot \bar{x}}{100}$$

Por lo que en los casos de V_R V_C :

$$\varepsilon_{V_{R_i}} = \frac{0,7 \% \cdot \bar{V}_{R_i}}{100}$$

$$\varepsilon_{V_{C_i}} = \frac{0,7 \% \cdot \bar{V}_{C_i}}{100}$$

Haciendo los calculos correspondientes mediante V_R V_C , obtenemos:

Error de V_R [V]	Error de V_C [V]
0.02562	0.00760
0.02492	0.00805
0.02429	0.00850
0.02366	0.00895
0.02310	0.00935
0.02254	0.00975
0.02198	0.01015
0.02142	0.01050
0.02093	0.01090
0.02044	0.01125
0.01995	0.01160

Entonces ahora para determinar el Error Absoluto debemos comparar y quedarnos con el máximo entre:

Índice	Error de resolución [V]	Error de V_R [V]
1	0.010	0.02562
2	0.010	0.02492
3	0.010	0.02429
4	0.010	0.02366
5	0.010	0.02310
6	0.010	0.02254
7	0.010	0.02198
8	0.010	0.02142
9	0.010	0.02093
10	0.010	0.02044
11	0.010	0.01995

En todos los casos, el error experimental de V_R es mayor que el error de resolución del instrumento. Por tanto, se debe considerar el error absoluto experimental como dominante, quedándose:

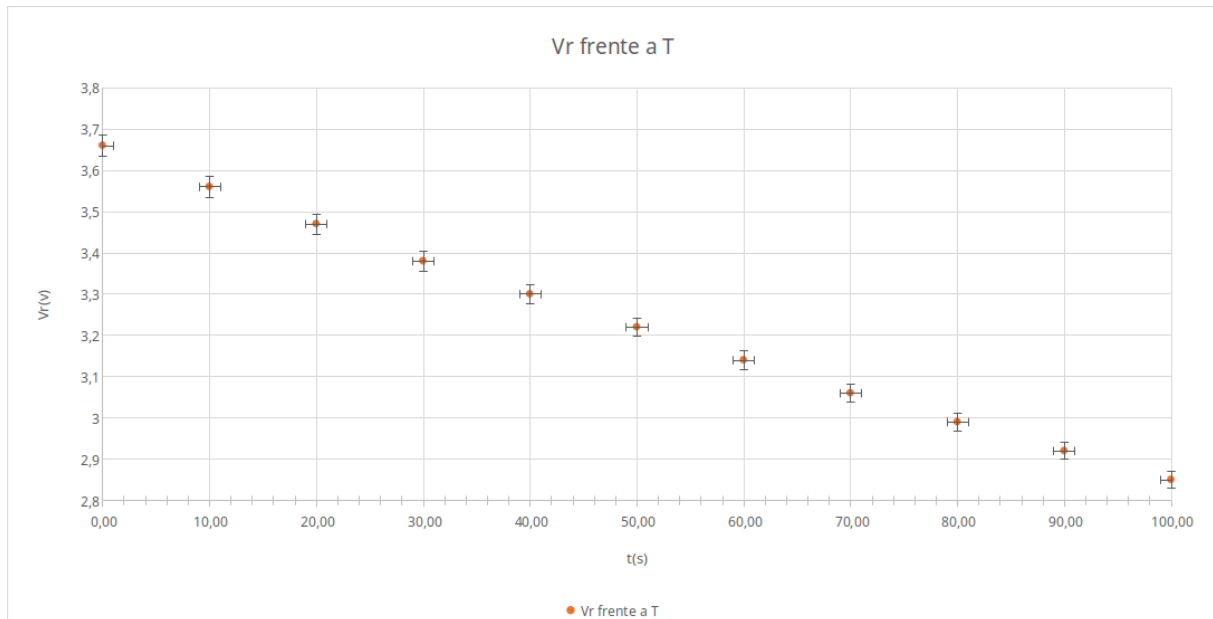
Índice	Error absoluto de V_R [V]
1	0.030
2	0.020
3	0.020
4	0.020
5	0.020
6	0.020
7	0.020
8	0.020
9	0.020
10	0.020
11	0.020

Índice	Error de resolución [V]	Error de V_C [V]
1	0.010	0.00760
2	0.010	0.00805
3	0.010	0.00850
4	0.010	0.00895
5	0.010	0.00935
6	0.010	0.00975
7	0.010	0.01015
8	0.010	0.01050
9	0.010	0.01090
10	0.010	0.01125
11	0.010	0.01160

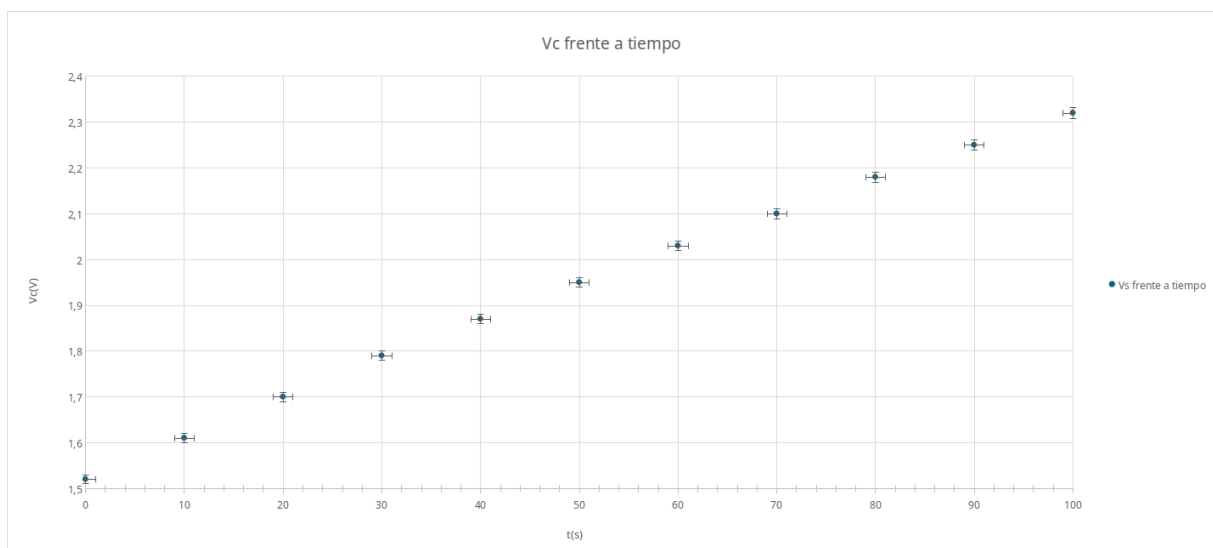
Aquí, sin embargo prevalece el error de resolución del instrumento al error experimental. Por lo que se debe de considerar el error absoluto como el de resolución del instrumento, quedándose:

Índice	Error absoluto de V_C [V]
1	0.010
2	0.010
3	0.010
4	0.010
5	0.010
6	0.010
7	0.010
8	0.010
9	0.010
10	0.010
11	0.010

Tras esto, ya tenemos los datos necesarios para graficar. Vamos a hacer una representación de V_R y V_C frente al tiempo con sus tablas de errores.



Representación gráfica de V_R frente a $t(s)$



Representación gráfica de V_C frente a $t(s)$

La expresión matemática del voltaje en la resistencia durante la descarga de un condensador en un circuito RC es una función exponencial decreciente de la forma:

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

Esta ecuación describe un comportamiento característico en el que el voltaje disminuye rápidamente al inicio y se va atenuando con el tiempo, acercándose asintóticamente a cero. Por esta razón, la representación gráfica de V_R frente al tiempo muestra una curva descendente suave, coherente con el proceso de descarga exponencial típico en circuitos eléctricos de primer orden.

La ecuación que describe el voltaje en el condensador durante el proceso de carga en un circuito RC es:

$$V_C(t) = V_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right),$$

Esta expresión corresponde a una función exponencial creciente, lo cual significa que el voltaje en el condensador aumenta rápidamente al inicio del proceso de carga y se va estabilizando conforme se aproxima asintóticamente a V_0 . Al representar V_C frente al tiempo, se obtiene una curva ascendente suave

que refleja cómo el condensador acumula carga progresivamente hasta alcanzar su valor máximo. Este comportamiento es característico de los sistemas de primer orden en respuesta a un escalón de voltaje.

5.2. $Q(t)$

La medida de capacitancia del condensador usado en el circuito eléctrico de carga y descarga es de:

$$47\eta F = 47 \times 10^{-6} F$$

Ademas la capacitancia del condensador la podemos relacionar mediante la siguiente formula:

$$C = \frac{Q}{V_c} \longrightarrow Q(t) = C \cdot V$$

Sustituyendo:

$$Q(t) = 47 \times 10^{-6} \cdot V_c$$

Tenemos $Q(t)$ expresado en función de C y V_c , es decir $Q(C, V_c)$.

Procedemos a calcular los errores mediante la formula genérica de propagaciones de errores, expresada matemáticamente como:

$$\varepsilon_A = \left| \frac{\partial A}{\partial x} \right| \varepsilon_x + \left| \frac{\partial A}{\partial y} \right| \varepsilon_y$$

En este caso concreto sustituimos y se queda:

$$\varepsilon_Q = \left| \frac{\partial Q}{\partial C} \right| \varepsilon_C + \left| \frac{\partial Q}{\partial V_c} \right| \varepsilon_{V_c}$$

Calculando:

$$\left| \frac{\partial Q}{\partial C} \right| = V_c$$

$$\left| \frac{\partial Q}{\partial V_c} \right| = C$$

La expresión de propagación de errores se queda en:

$$\varepsilon_Q = V_c \cdot \varepsilon_C + C \cdot \varepsilon_{V_c}$$

Ahora para poder calcular $Q(t)$ solo nos harán falta las siguientes dos expresiones:

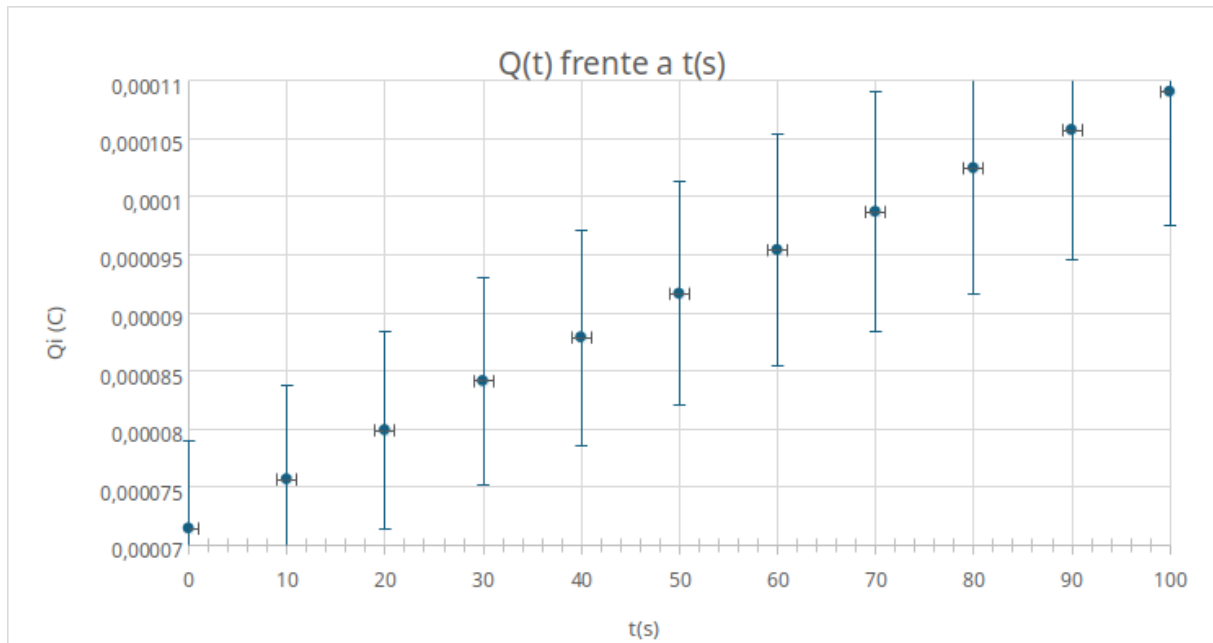
$$Q_i = C \cdot V_{0_i}$$

$$\varepsilon_{Q_i} = V_{0_i} \cdot \varepsilon_C + C \cdot \varepsilon_{V_{0_i}}$$

Mediante los cálculos correspondientes con esas formulas y los datos ya mencionados llegamos a las siguientes dos tablas:

Q_i (C)	Error de Q_i (C)
$7,144 \times 10^{-5}$	$7,614 \times 10^{-6}$
$7,567 \times 10^{-5}$	$8,037 \times 10^{-6}$
$7,990 \times 10^{-5}$	$8,460 \times 10^{-6}$
$8,413 \times 10^{-5}$	$8,883 \times 10^{-6}$
$8,789 \times 10^{-5}$	$9,259 \times 10^{-6}$
$9,165 \times 10^{-5}$	$9,635 \times 10^{-6}$
$9,541 \times 10^{-5}$	$1,001\ 81 \times 10^{-5}$
$9,870 \times 10^{-5}$	$1,036\ 35 \times 10^{-5}$
$1,0246 \times 10^{-4}$	$1,075\ 83 \times 10^{-5}$
$1,0575 \times 10^{-4}$	$1,110\ 38 \times 10^{-5}$
$1,0904 \times 10^{-4}$	$1,144\ 92 \times 10^{-5}$

Representamos la evolución temporal de la carga acumulada en el condensador mediante la siguiente gráfica:



De esta gráfica podemos empezar a sacar las primeras conclusiones. A partir de la gráfica, se observa que la carga $Q(t)$ acumulada en el condensador aumenta de forma progresiva con el tiempo, lo cual es coherente con el comportamiento esperado de un proceso de carga en un circuito RC. Aunque no se tiene una curva ajustada explícitamente, la tendencia es claramente creciente y posiblemente lineal o exponencial en esta región inicial, como predicen las ecuaciones clásicas de carga en condensadores.

La carga máxima que se acumula en el condensador tiene una expresión matemática de la forma:

$$Q_{max} = V_0 \cdot C$$

V_0 representa el voltaje que se le ha aplicado al circuito. Se puede calcular de una manera simple mediante la siguiente formula:

$$V_o = \frac{V_{R_i} + V_{C_i}}{n} = \frac{V_{R_i} + V_{C_i}}{11}$$

Por lo que con V_R y V_C y la formula anteriormente mencionada podemos calcular de forma simple el valor de V_o .

$$V_o = 5,170V$$

Para calcular el error de $V_o(\varepsilon_{V_0})$ usamos la formula de la Cuasivariancia, matemáticamente:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

que aplicada sobre V_o queda la siguiente expresión:

$$s_{V_0}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (V_{0i} - \overline{V_0})^2$$

esto queda:

$$s_{V_0}^2 = 0,004V^2$$

Por lo que V_0 lo podemos expresar de la siguiente manera

$$V_0 = (5,170 \pm 0,004)V$$

La carga máxima Q_{max} que queríamos calcular desde el primer momento, mediante la ecuación:

$$Q_{max} = V_0 \cdot C$$

Ya tenemos los valores necesarios para sustituir.

$$Q_{max} = 5,170V \cdot 47 \times 10^{-6}F = 2,43 \times 10^{-4}C$$

Ahora para hacerlo de manera correcta queda estimar las posibles franjas de error del valor Q_{max} . Esto lo haremos mediante la fórmula genérica de propagaciones de errores, expresada matemáticamente como:

$$\varepsilon_A = \left| \frac{\partial A}{\partial x} \right| \varepsilon_x + \left| \frac{\partial A}{\partial y} \right| \varepsilon_y$$

En este caso concreto sustituimos y se queda:

$$\varepsilon_{Q_{max}} = \left| \frac{\partial Q_{max}}{\partial C} \right| \varepsilon_C + \left| \frac{\partial Q_{max}}{\partial V_0} \right| \varepsilon_{V_0}$$

Calculando:

$$\left| \frac{\partial Q_{max}}{\partial C} \right| = V_0$$

$$\left| \frac{\partial Q_{max}}{\partial V_0} \right| = C$$

La expresión de propagación de errores se queda en:

$$\varepsilon_{Q_{max}} = V_0 \cdot \varepsilon_C + C \cdot \varepsilon_{V_0}$$

Sustituyendo:

$$\varepsilon_{Q_{max}} = 47 \times 10^{-6}F \times 0,004V + 5,170V \times 4,7 \times 10^{-6}F \approx 2,45 \times 10^{-5}C$$

Por lo que llegamos a la expresión de Q_{max} .

$$Q_{max} = (2,43 \times 10^{-4} \pm 2,45 \times 10^{-5}) C$$

El valor obtenido para la carga máxima en el condensador es $Q_{max} = (2,43 \pm 0,25) \times 10^{-4}C$, lo cual representa una incertidumbre aproximada del $\sim 10\%$. Este nivel de error es coherente con la precisión de los instrumentos utilizados en el laboratorio, especialmente considerando que la tensión V_0 se ha estimado a partir de datos experimentales con cierta dispersión. Este resultado permite validar el comportamiento esperado del condensador, confirmando que la carga acumulada depende linealmente del voltaje aplicado y de la capacitancia, tal como predice la ley $Q = C \cdot V$. La incorporación de la propagación de errores permite establecer un margen realista de confianza sobre la medida obtenida.

5.3. V sobre resistencia

En un circuito RC de carga/descarga, la caída de tensión en la resistencia R se describe (en la fase de descarga, por ejemplo) por la ecuación exponencial:

$$V_R(t) = V_0 e^{-\frac{t}{\tau}},$$

Esta forma exponencial hace que la representación directa de V_R frente a t no sea lineal. Para poder linearizar la gráfica y extraer los parámetros τ y V_0 mediante un ajuste, se aplicará el logaritmo neperiano (\ln) a ambos lados de la ecuación. El resultado de esto queda:

$$\ln(V_R(t)) = \ln(V_0 e^{-t/\tau}) = \ln(V_0) + \ln(e^{-t/\tau}).$$

Dado que $\ln(e^x) = x$, obtenemos:

$$\ln(V_R(t)) = \ln(V_0) - \frac{t}{\tau}.$$

Se ha convertido la función exponencial en una función lineal de la variable t .

La ecuación obtenida al aplicar el logaritmo natural a la expresión exponencial de $V_R(t)$ se corresponde con una recta de la forma $y = mx + b$. Esta se considera la recta teórica del modelo, y permite representar los datos de forma lineal. Su pendiente está relacionada con la constante de tiempo del circuito τ , y su ordenada en el origen con el valor inicial de tensión V_0 . Al ajustar experimentalmente una recta a los datos transformados, se puede comparar con este modelo teórico y evaluar la validez del comportamiento exponencial del sistema.

Por lo tanto una vez obtenida $V_R(t)$ como una recta de la forma $y = mx + b$, ya podemos renombrar las variables.

$$Z \equiv \ln(V_R(t)).$$

Entonces, la ecuación anterior queda reescrita como:

$$Z = \ln(V_0) - \frac{t}{\tau}.$$

Es decir, si representamos $Z = \ln(V_R)$ en el eje vertical y t en el eje horizontal, obtenemos una recta de la forma:

$$Z = n + mt, \quad \implies \quad n = \ln(V_0), \quad m = -\frac{1}{\tau}.$$

Esta linealización nos permite ajustar experimentalmente una recta a los datos transformados $\{t_i, \ln(V_{R_i})\}$ y, a partir de ese ajuste, estimar de forma directa el valor de la constante de tiempo τ a partir de la pendiente m , así como verificar el valor de $\ln(V_0)$ a partir de la ordenada en el origen n .

Por tanto, una vez reescrita la expresión de $\ln(V_R(t))$ en forma de recta, se justifica el cambio de variables realizado y se habilita el tratamiento lineal de los datos experimentales, facilitando su análisis gráfico y la obtención de parámetros característicos del circuito RC.

En este paso, se pasa de la teoría a la práctica. Ahora que hemos linealizado la ecuación, necesitamos obtener y representar los valores experimentales para extraer los parámetros τ y V_0 .

Dados los valores de V_R que ya conocemos que son:

Índice	Voltaje en la resistencia V_R [V]
1	3.66
2	3.56
3	3.47
4	3.38
5	3.30
6	3.22
7	3.14
8	3.06
9	2.99
10	2.92
11	2.85

Ahora para cada valor de $V_R(t_i)$, se aplica el logaritmo neperiano, con la expresión:

$$Z_i = \ln(V_R(t_i)).$$

Estos valores Z_i son los que, según la teoría, deberían ajustarse a una recta en función de t_i .

Una vez aplicado los \ln te quedan los siguientes datos:

Índice	$\ln(V_R)$
1	1.2975
2	1.2698
3	1.2442
4	1.2179
5	1.1939
6	1.1694
7	1.1442
8	1.1184
9	1.0953
10	1.0716
11	1.0473

Ahora necesitamos conocer el error de $\ln(V_R)$, primero debemos expresar:

$$f = \ln(V_R)$$

para ello utilizamos la formula genérica de propagaciones de errores, expresada matemáticamente como:

$$\varepsilon_A = \left| \frac{\partial A}{\partial x} \right| \varepsilon_x$$

En este caso concreto sustituimos y se queda:

$$\varepsilon_f = \left| \frac{\partial f}{\partial V_R} \right| \varepsilon_{V_R}$$

Calculando:

$$\left| \frac{\partial f}{\partial V_R} \right| = \frac{1}{V_R}$$

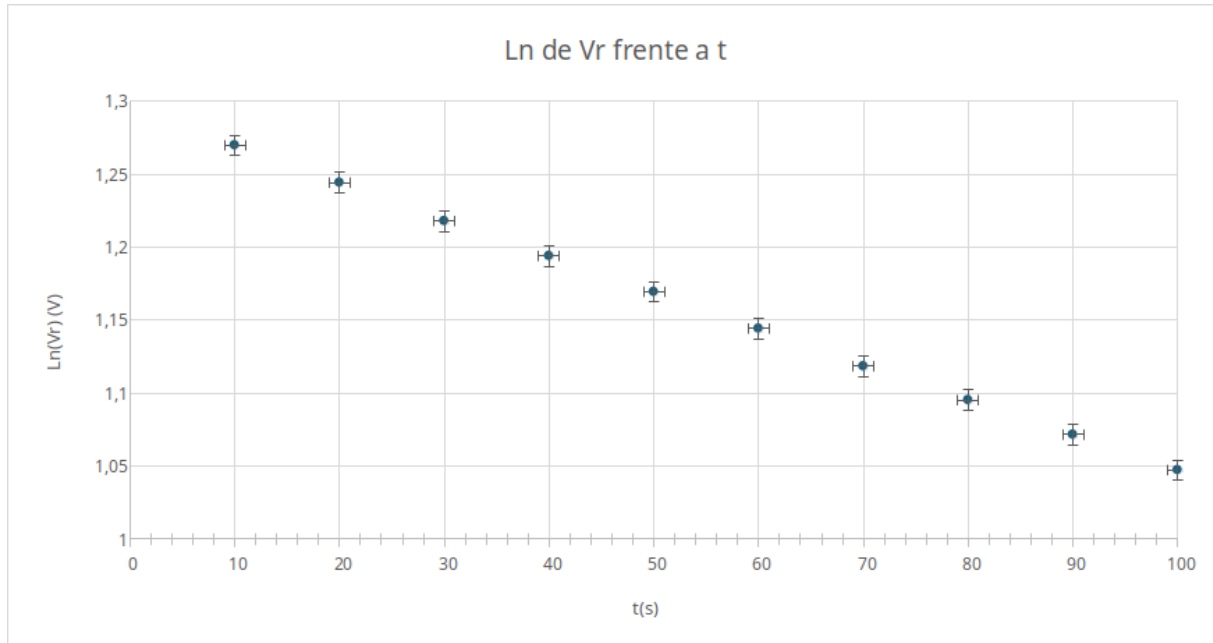
La expresión de propagación de errores se queda en:

$$\varepsilon_Q = \frac{1}{V_R} \cdot \varepsilon_{V_R}$$

Operando, nos queda la siguiente tabla con los errores de V_R :

Índice	Error de $\ln(V_R)$
1	0.007
2	0.007
3	0.007
4	0.007
5	0.007
6	0.007
7	0.007
8	0.007
9	0.007
10	0.007
11	0.007

Una vez conocidos los errores de $\ln(V_R)$ ya podemos graficar $\ln(V_R)$ frente al tiempo, de manera que queda:



Para sacar los datos de Z , que recordamos que es:

$$Z = \ln(V_0) - \frac{t}{\tau}.$$

Lo hacemos mediante el uso de la regresión lineal, que hace uso de la siguiente expresión:

$$Z = mt + n$$

$$m = \frac{n \sum t_i Z_i - \sum t_i \sum Z_i}{n \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2}$$

$$n = \frac{\sum Z_i - m \sum t_i}{n}$$

Operamos y nos queda:

$$m = (\text{pendiente}) = -\frac{1}{\tau} \approx -0,002489$$

$$n = (\text{ordenada}) = \ln(V_0) \approx 1,2944$$

Con sus errores correspondientes:

$$\varepsilon_m \approx 1,51672 \times 10^{-5}$$

$$\varepsilon_n \approx 8,97303 \times 10^{-4}$$

Finalmente, se concluye en esto:

$$\ln(V_R) = (1,2944 \pm 0,0009) + (-0,00249 \pm 0,00002) t$$

Con estos datos podemos, tratar de hacer una aproximación de τ y V_0 .

$$m = -\frac{1}{\tau} \longrightarrow \tau = -\frac{1}{-m} \approx \frac{1}{-0,002489} \approx 401,6s$$

$$n = \ln(V_0) \longrightarrow V_0 \approx e^n \approx e^{1,2944} \approx 3,65V$$

Ademas la regresión lineal da un valor de:

$$R^2 \approx 0,9997$$

Esto quiere decir que la recta se ajusta muy bien a los datos, lo que confirma el modelo experimental

Para calcular el error asociado a τ , denotado como ε_τ , se aplica la fórmula de propagación de errores a la función $\tau(m) = -1/m$, considerando su dependencia exclusiva respecto a m . El error absoluto se expresa como:

$$\varepsilon_\tau = \left| \frac{d\tau}{dm} \right| \cdot \varepsilon_m = \left| \frac{1}{m^2} \right| \cdot \varepsilon_m,$$

entonces:

$$m = -0,00249, \quad \varepsilon_m = 0,00002, \\ \varepsilon_\tau = \frac{\varepsilon_m}{m^2} = \frac{0,00002}{(-0,00249)^2} \approx 3,2 \text{ s.}$$

Por tanto, la constante de tiempo con su error absoluto puede expresarse como:

$$\tau = (401,6 \pm 3,2) \text{ s.}$$

Por otra parte, considerando que la ordenada en el origen del ajuste lineal es $n = \ln(V_0)$, para calcular el error asociado a V_0 , denotado como ε_{V_0} , se aplica nuevamente la fórmula de propagación de errores mediante derivación, considerando únicamente la dependencia respecto a n . El resultado es:

$$\varepsilon_{V_0} = \left| \frac{dV_0}{dn} \right| \cdot \varepsilon_n = |e^n| \cdot \varepsilon_n = V_0 \cdot \varepsilon_n,$$

$$n = 1,2944, \quad \varepsilon_n = 0,000897, \\ \varepsilon_{V_0} = 3,65 \cdot 0,000897 \approx 0,0033 \text{ V.}$$

Por tanto, se puede expresar el valor de V_0 con su error como:

$$V_0 = (3,65 \pm 0,003) \text{ V.}$$

Ahora vamos a comparar τ , para ello vamos a aplicar la formula del error relativo porcentual, donde vamos a comparar τ_{exp} y τ_{teo} . El valor de τ_{exp} ya lo sabemos y es de:

$$\tau = (401,6 \pm 3,2) \text{ s.}$$

Ahora τ_{teo} , tiene la formula de:

$$\tau_{exp} = R \cdot C$$

Sabemos los datos de:

$$C = 47 \times 10^{-6} \text{ F} \\ R = 7,07 \times 10^6 \Omega$$

Por lo que:

$$\tau_{exp} = R \cdot C = 7,07 \times 10^6 \Omega \cdot 47 \times 10^{-6} \text{ F} \approx 332,29$$

Ahora mediante la ecuación del error relativo porcentual, que se expresa como:

$$\text{Error relativo (\%)} = \left| \frac{\tau_{exp} - \tau_{teo}}{\tau_{teo}} \right| \cdot 100$$

Con los valores:

$$\text{Error relativo (\%)} = \left| \frac{401,6 - 334,64}{334,64} \right| \cdot 100 \approx 20,1 \%$$

Este resultado indica que el valor experimental se encuentra razonablemente próximo al valor teórico, con una diferencia del orden del 20,1

5.4. Representar V_r y V_c

En el laboratorio, al experimentar la descarga, se tomaron las siguientes medidas de los voltajes:

Voltaje del condensador (V)	Voltaje de la resistencia (V)
2.28	-2.86
2.37	-2.78
2.44	-2.71
2.52	-2.63
2.59	-2.56
2.66	-2.49
2.73	-2.42
2.79	-2.36
2.85	-2.30
2.91	-2.24
2.97	-2.18

Cuadro 1: Voltajes del condensador y la resistencia

Estas medidas las tomamos respecto a intervalos de tiempo de 10 segundos cada uno, tomando un minuto y cuarenta segundos de datos:

tiempo (s)	Voltaje del condensador (V)	Voltaje de la resistencia (V)
0	2.28	-2.86
10	2.37	-2.78
20	2.44	-2.71
30	2.52	-2.63
40	2.59	-2.56
50	2.66	-2.49
60	2.73	-2.42
70	2.79	-2.36
80	2.85	-2.30
90	2.91	-2.24
100	2.97	-2.18

Cuadro 2: Datos de voltaje del condensador y la resistencia en función del tiempo.

Según las herramientas de medición usados en la toma de datos, el tiempo posee un error de 0,01 mientras que los errores relativos de los voltajes son los siguientes: el de la resistencia posee un error relativo del 0,7 mientras que el del condensador un 0,5. Para calcular el error, nos basta con tomar el error relativo, multiplicarlo por su media y dividirlo entre 100:

Error de V_r	Error de V_c
0.02562	0.00760
0.02492	0.00805
0.02429	0.00850
0.02366	0.00895
0.02310	0.00935
0.02254	0.00975
0.02198	0.01015
0.02142	0.01050
0.02093	0.01090
0.02044	0.01125
0.01995	0.01160

Cuadro 3: Errores de los voltajes

Para encontrar los valores absolutos, tomamos el error mas grande entre los errores de la tabla anterior y 0,01, luego nos queda:

Error de Vr	Error de Vc
0.02562	0.01
0.02492	0.01
0.02429	0.01
0.02366	0.01
0.02310	0.01
0.02254	0.01
0.02198	0.01015
0.02142	0.01050
0.02093	0.01090
0.02044	0.01125
0.01995	0.01160

Cuadro 4: Errores de los voltajes

ya solo nos queda graficar ambos voltajes en funcion del tiempo y sacar conclusiones:

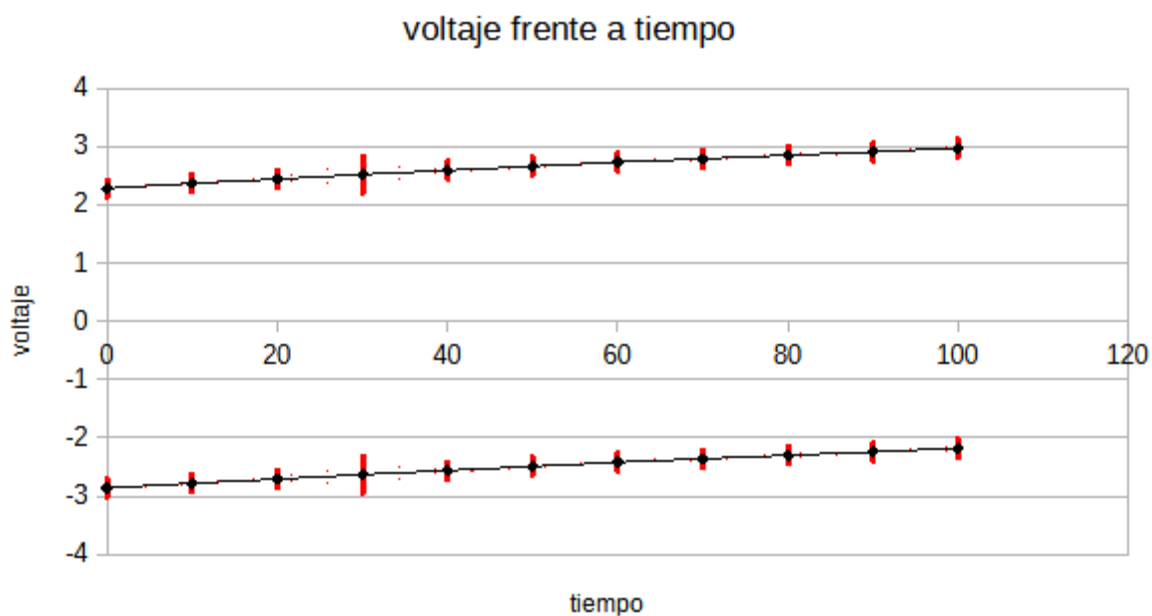


Figura 4: Ambos voltajes frente al tiempo

El grafico concuerda con la teoría, ya que si $V_r = -V_c$, significa que si uno aumenta, el otro tambien tiene que aumentar en su misma cantidad en función del mismo tiempo.

5.5. Determinar el valor de la carga maxima y la evolucion temporal de la carga partir de los valores de Vc y del valor de C

Para hallar el valor de la carga máxima, usaremos la siguiente formula:

$$Q_M = V_o \cdot C \quad (1)$$

Teniendo en cuenta que:

$$C = 47 \cdot 10^{-6} F \quad (2)$$

$$V_o = 5,15 \quad (3)$$

Solo nos queda sustituir los valores:

$$Q_M = V_o \cdot C = 5,15 \cdot 47 \cdot 10^{-6} = 24,25 \cdot 10^{-4} \quad (4)$$

Nos piden determinar la evolución de la carga en función del tiempo mediante los valores de C y Vc poseemos los valores de Vc:

Voltaje del condensador (V)	Error de Vc
2,28	0,01
2,37	0,01
2,44	0,01
2,52	0,01
2,59	0,01
2,66	0,01
2,73	0,01015
2,79	0,0105
2,85	0,0109
2,91	0,01124
2,97	0,0116

Usamos la definición de Vc:

$$V_c(t) = Q(t)/C; Q(t) = V_C \cdot C \quad (5)$$

Sustituyendo valores nos queda la siguiente tabla:

tiempo (s)	Q media	Error Q
0	0,00010716	9,39999999999974E-07
10	0,00011139	9,39999999999988E-07
20	0,00011468	9,39999999999974E-07
30	0,00011844	9,39999999999974E-07
40	0,00012173	9,39999999999988E-07
50	0,00012502	9,39999999999974E-07
60	0,00012831	9,54099999999985E-07
70	0,00013113	9,86999999999982E-07
80	0,00013395	1,02459999999998E-06
90	0,00013677	0,00000105656
100	0,00013959	1,09040000000001E-06

graficado queda de la siguiente manera:

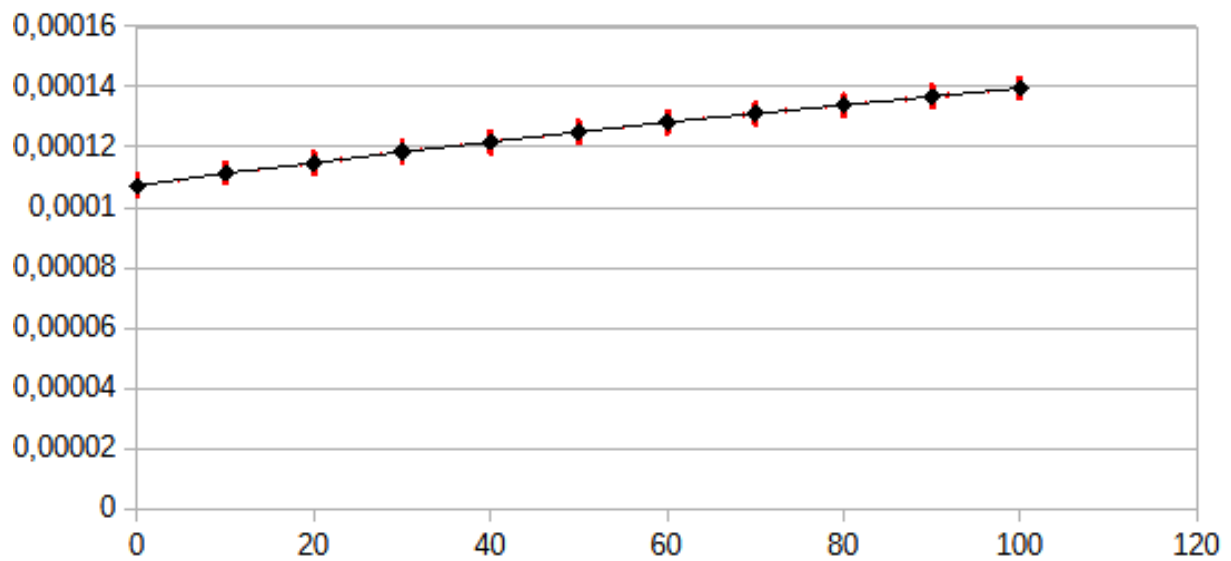


Figura 5: Aumento de carga frente al tiempo

Lo cual concuerda con la ecuación (5) y con la toma de datos, a medida que aumenta el tiempo, V_c aumentará, y al este ser proporcional con la carga, esta última también aumentará

5.6. Determinar V_o y τ a partir de los parámetros de la recta y el error cometido en τ

Nos es dada la siguiente recta:

$$Z = mt + n \quad (6)$$

donde:

$$m = -(\log e/\tau) \quad (7)$$

$$n = \log V_o \quad (8)$$

Estos valores, a su vez, vienen de:

$$V_c(t) = V_o e^{-t/\tau} \quad (9)$$

tomamos logaritmo en base 10 a ambos lados:

$$\log V_c = \log V_o - \log \left(\frac{t}{\tau} \right) \quad (10)$$

haciendo un cambio de variable, llamando Z a $\log V_c$:

$$Z = mt + n \quad (11)$$

V_o es el voltaje en el condensador justo en el momento en que comienza la descarga, grosso modo, es el voltaje total, la suma de los valores absolutos de ambos voltajes

$$V_o = V_c + V_r = 5,15 \quad (12)$$

Nos queda por medir τ , la cual podemos sacar por definición ya que tenemos los valores del condensador y de la resistencia:

$$\tau = RC = 7,0747 \cdot 10^{-6} = 3,3 \cdot 10^{-4} \quad (13)$$

nos queda la siguiente recta:

$$m = -1316,04 \quad (14)$$

$$n = 0,712 \quad (15)$$

$$Z = -1316t + 0,5119 \quad (16)$$

Obtenemos los siguientes valores de Z:

Z	tiempo (s)
-13159,3	10
-26319,3	20
-39479,3	30
-52639,3	40
-65799,3	50
-78959,3	60
-92119,3	70
-105279,3	80
-118439,3	90
-131599,3	100

graficado queda de la siguiente manera:

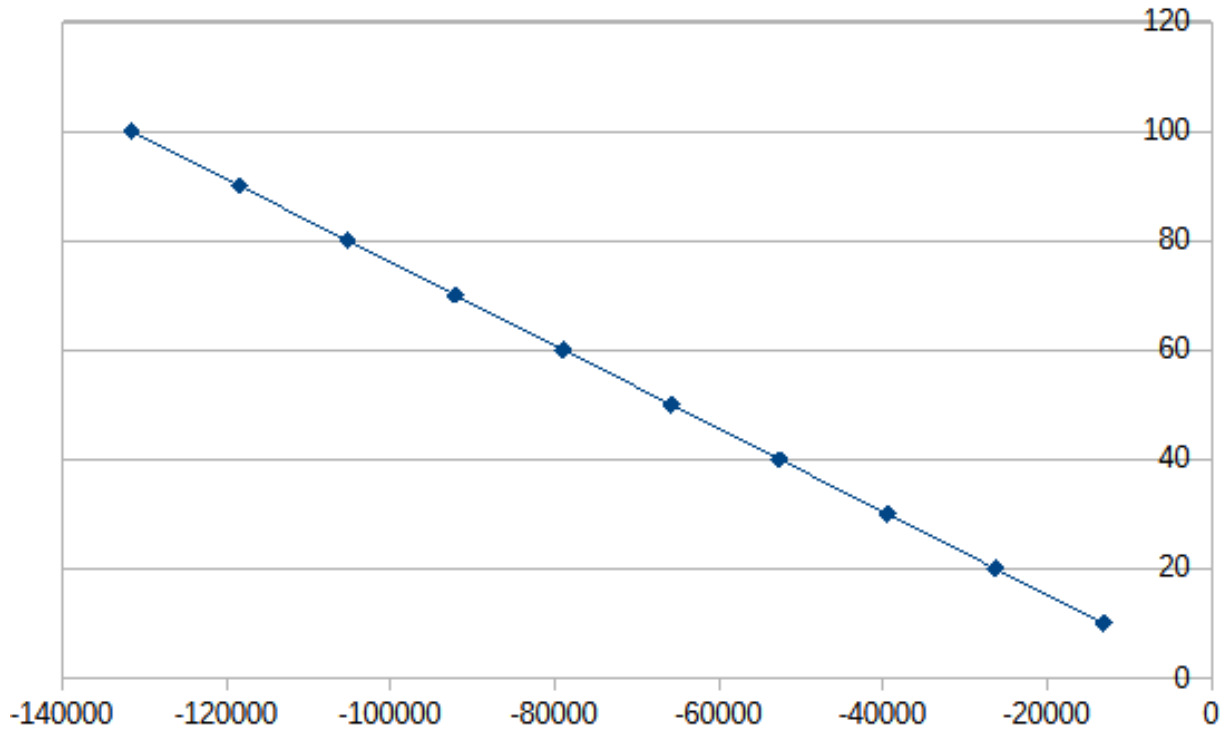


Figura 6: Recta Z

solo nos queda hallar el error que podamos haber cometido en τ . Para ello, aplicamos la formula de propagacion de errores a la función $\tau = -\log e/m$. Para hallar el valor del error absoluto, derivamos τ respecto de m y lo multiplicamos por el error de $m(0,00002)$.

$$error = \log e/m^2 = 0,434/(-1316)^2 = 2,5 \cdot 10^{-7} \quad (17)$$