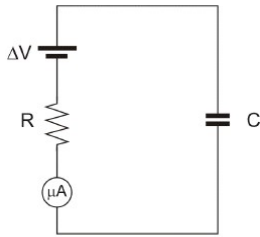


CURVA DE CARGA DE UN CONDENSADOR

OBJETIVOS:

Medir la curva de carga de un condensador en un circuito como el de la figura:



para diferentes valores de la capacidad del condensador **C** (ΔV y **R** ctes.) , de la resistencia de carga **R** (ΔV y **C** ctes.) y de la diferencia de potencial ΔV (**C** y **R** ctes.) .

INTRODUCCIÓN:

Aplicando la ley de Ohm en el circuito anterior se encuentra que,

$$\Delta V = \Delta V_R + \Delta V_c = IR + \frac{Q}{C} = \frac{dQ}{dt} R + \frac{Q}{C},$$

una ecuación diferencial que, si la fuente es de corriente continua, tiene como solución:

$$Q(t) = C\Delta V(1 - e^{-t/RC}).$$

Por lo tanto, aplicando que $I = dQ/dt$, se encuentra que la intensidad que circula por el circuito mientras se carga el condensador viene dada por:

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

dependencia que se pretende demostrar experimentalmente.

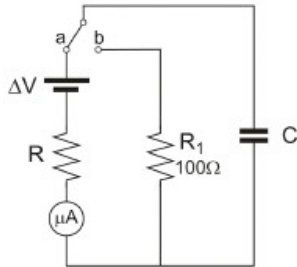
MONTAJE EXPERIMENTAL

El material necesario para la realización de la práctica es el siguiente:

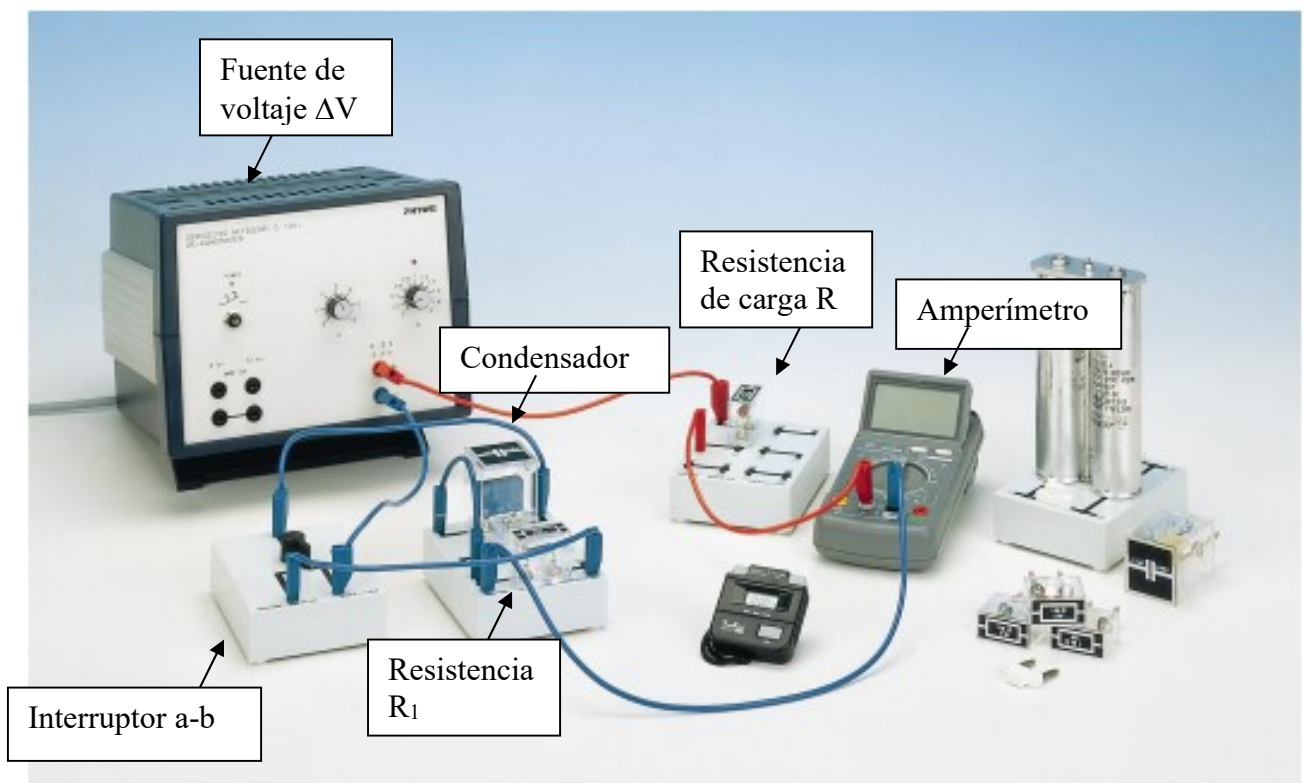
- Una fuente de alimentación, con la que suministraremos al circuito la diferencia de potencial ΔV .
- Cuatro condensadores de diferente capacidad **C** (4.7 μF , 10 μF , 30 μF y 60 μF)
- Varias resistencias. Se pueden combinar en serie o en paralelo para obtener diferentes valores de la resistencia de carga **R** del circuito
- Una resistencia tampón **R₁**.
- Un amperímetro (se coloca en la escala de μA y mide con una precisión instrumental de 0.1 μA)

- Un conmutador
- Cronómetro (cuya precisión instrumental es 0.01 s)
- Cables y cajas de conexión

Estos dispositivos se disponen en un circuito cuyo esquema es el siguiente:



que se corresponde al siguiente montaje experimental



PROCEDIMIENTO Y MEDIDAS

Antes de iniciar cualquier medida nos aseguraremos de que el condensador está descargado. Para ello se desconecta el condensador de la fuente de alimentación situando el interruptor en la posición “b”. Así el condensador queda conectado únicamente a la resistencia tampón y se descarga prácticamente de forma instantánea.

Las medidas comienzan al situar el interruptor en la posición “a”. Así el condensador queda conectado a la fuente de alimentación y a la resistencia de carga y comienza a cargarse, lo que provoca el progresivo decaimiento exponencial de la intensidad según la ecuación (1). Para medir dicha intensidad, en el laboratorio el amperímetro se coloca en la escala de los μA con una precisión instrumental de $0.1 \mu\text{A}$. Cada vez que la intensidad disminuye en $0.1 \mu\text{A}$ se anota el tiempo al que esto sucede y así se construyen las tablas de **I** frente a **t**.

Como indica la ecuación (1), el decaimiento de la intensidad con el tiempo depende de los tres elementos que hay en el circuito: El voltaje de la fuente de alimentación **V**, la resistencia de carga **R** y la capacidad del condensador **C**. El objetivo de la práctica es estudiar el comportamiento de la curva **I(t)** variando cada uno de esos parámetros. Por eso la práctica se realiza en tres fases distintas. En la primera se fija un condensador (preferentemente el de $30 \mu\text{F}$) y un voltaje (de 10 V aproximadamente) y se mide la curva **I(t)** para cuatro resistencias de carga **R** diferentes (se pueden utilizar las resistencias disponibles individualmente, o combinándolas en serie o en paralelo). En la segunda se fija la resistencia de carga **R** (a un valor que no se haya usado en el apartado anterior) y el voltaje **V** (que puede ser el mismo que en el apartado anterior) y se mide la curva de **I** frente a **t** para cada uno de los cuatro condensadores disponibles. Por último, se fija un condensador (en nuestro caso será el de $10 \mu\text{F}$) y una resistencia de carga **R** (que sea distinta a todas las empleadas anteriormente) y medimos el decaimiento de la intensidad con el tiempo para cuatro voltajes diferentes (Nota: En el laboratorio, para medir los voltajes con precisión, se utiliza un polímetro, pues la escala de la rueda de la fuente de alimentación es solo una indicación).

Los resultados obtenidos son:

i) Medidas a **V** y **C** constantes, variando **R**.

V = 10 V; C = 30 μF							
R1 = 4,7 M Ω		R2 = 6,9 M Ω		R3 = 3,2 M Ω		R4 = 5 M Ω	
I(μA)	t(s)	I(μA)	t(s)	I(μA)	t(s)	I(μA)	t(s)
2,2	0,00	1,4	0,00	3,1	0,00	2,0	0,00
2,1	2,67	1,3	14,28	3,0	3,50	1,9	7,30
2,0	9,00	1,2	28,89	2,9	6,91	1,8	14,67
1,9	14,62	1,1	46,53	2,8	9,78	1,7	23,31
1,8	23,08	1,0	62,92	2,7	13,21	1,6	30,78
1,7	30,40	0,9	83,24	2,6	16,45	1,5	40,73
1,6	38,41	0,8	103,38	2,5	19,82	1,4	51,22
1,5	47,03	0,7	128,11	2,4	24,71	1,3	61,31
1,4	56,52	0,6	153,72	2,3	29,32	1,2	70,89
1,3	64,71	0,5	184,09	2,2	32,26	1,1	82,12
1,2	75,62	0,4	218,32	2,1	37,78	1,0	95,67

1,1	87,56	0,3	261,97	2,0	41,52	0,9	112,24
1,0	97,63	0,2	318,22	1,9	46,71	0,8	124,74
0,9	111,27	0,1	392,67	1,8	52,11	0,7	140,33
0,8	126,67			1,7	57,56	0,6	163,04
0,7	141,22			1,6	63,23	0,5	181,89
0,6	162,31			1,5	69,84	0,4	206,52
0,5	183,42			1,4	75,73	0,3	239,78
0,4	205,56			1,3	83,42	0,2	277,62
0,3	235,89			1,2	90,89	0,1	329,49
0,2	274,32			1,1	99,78		
0,1	350,24			1,0	107,62		
				0,9	117,83		
				0,8	130,78		
				0,7	142,32		
				0,6	157,89		
				0,5	175,42		
				0,4	196,33		
				0,3	223,51		
				0,2	263,22		
				0,1	328,67		

ii) Medidas a **V** y **R** constantes, variando **C**.

V = 10 V; R = 5,7 MΩ							
C1 = 4,7 μF		C2 = 10 μF		C2 = 30 μF		C2 = 60 μF	
I(μA)	t(s)	I(μA)	t(s)	I(μA)	t(s)	I(μA)	t(s)
1,8	0,00	1,8	0	1,8	0,00	1,8	0,00
1,7	0,79	1,7	1,53	1,7	5,60	1,7	8,72
1,6	2,73	1,6	5,12	1,6	16,20	1,6	28,45
1,5	4,22	1,5	8,56	1,5	27,30	1,5	50,33
1,4	6,28	1,4	12,72	1,4	39,40	1,4	74,67
1,3	7,74	1,3	16,78	1,3	52,30	1,3	98,56
1,2	9,62	1,2	20,89	1,2	66,60	1,2	120,53
1,1	12,27	1,1	25,44	1,1	80,30	1,1	150,12
1,0	14,78	1,0	30,13	1,0	98,40	1,0	182,00
0,9	17,51	0,9	36,51	0,9	117,20	0,9	210,32
0,8	20,73	0,8	43,87	0,8	135,60	0,8	270,43
0,7	24,32	0,7	51,82	0,7	158,10	0,7	310,67
0,6	28,37	0,6	60,73	0,6	183,20	0,6	365,40
0,5	32,26	0,5	69,86	0,5	216,40	0,5	427,78
0,4	38,89	0,4	83,22	0,4	260,30	0,4	503,21
0,3	46,51	0,3	98,91	0,3	304,20	0,3	599,82
0,2	56,42	0,2	120,17	0,2	372,30	0,2	738,45
0,1	74,29	0,1	160,12	0,1	491,50	0,1	960,52

iii) Medidas a **R** y **C** constantes, variando **V**.

C = 10 μ F; R = 4,4 M Ω							
V = 8.5 V		V = 11.5 V		V = 10,2 V		V = 6 V	
I(μ A)	t(s)	I(μ A)	t(s)	I(μ A)	t(s)	I(μ A)	t(s)
2,0	0,00	2,6	0,00	2,3	0,00	1,4	0,00
1,9	3,37	2,5	3,34	2,2	2,13	1,3	1,88
1,8	5,55	2,4	4,84	2,1	5,09	1,2	5,32
1,7	8,09	2,3	6,55	2,0	6,19	1,1	9,61
1,6	10,18	2,2	8,62	1,9	10,14	1,0	13,37
1,5	13,27	2,1	10,90	1,8	12,52	0,9	17,81
1,4	16,02	2,0	12,99	1,7	13,77	0,8	23,54
1,3	18,71	1,9	14,65	1,6	17,11	0,7	28,67
1,2	21,99	1,8	17,43	1,5	20,20	0,6	34,32
1,1	25,99	1,7	19,37	1,4	23,28	0,5	42,21
1,0	30,02	1,6	22,02	1,3	25,13	0,4	50,56
0,9	33,99	1,5	24,84	1,2	27,89	0,3	64,72
0,8	39,37	1,4	28,18	1,1	32,12	0,2	82,29
0,7	44,77	1,3	31,40	1,0	36,76	0,1	110,11
0,6	50,99	1,2	34,21	0,9	40,31		
0,5	58,27	1,1	38,21	0,8	45,24		
0,4	67,08	1,0	41,43	0,7	51,69		
0,3	77,63	0,9	46,18	0,6	58,66		
0,2	93,78	0,8	51,18	0,5	66,37		
0,1	113,53	0,7	56,84	0,4	75,23		
		0,6	62,67	0,3	86,41		
		0,5	70,23	0,2	108,92		
		0,4	79,16	0,1	137,59		
		0,3	91,01				
		0,2	105,08				
		0,1	127,21				

ANÁLISIS:

En total hemos medido doce curvas de **I** frente a **t**. Para cada una de ellas has de hacer lo siguiente:

- Realizar una tabla donde además de presentar **t** e **I**, también incluyas $\ln(I)$ con su incertidumbre, $s[(\ln(I))]$, calculada utilizando las reglas de propagación de incertidumbres. Además de eso, ten en cuenta que el procedimiento de medida del tiempo en el laboratorio tiene una incertidumbre que va más allá de los 0.01 s de precisión del cronómetro. El motivo es que existe un tiempo de reacción desde el momento en que uno ve que la intensidad cambia hasta que pulsa el cronómetro y toma el tiempo. Una estimación de una incertidumbre en los tiempos de unas pocas décimas de segundo, por ejemplo 0.3 s, es razonable. Redondea los datos de **t** de acuerdo a esa incertidumbre.

- ii) Representar en una gráfica las medidas de **I** frente a **t** tal cual las has tomado en el laboratorio.
- iii) Representar en una gráfica el $\ln(I)$ frente a **t**. En esta gráfica has de realizar un ajuste lineal por mínimos cuadrados. A continuación tienes que relacionar y comparar los resultados de dicho ajuste con los valores de **R**, **C** y ΔV del circuito correspondiente. Para ello, el primer paso es aplicar logaritmos a ambos lados de la expresión $I(t) = \frac{\Delta V}{R} e^{-t/RC}$ para obtener la expresión teórica de la recta de $\ln(I)$ frente a **t**. Calcula el término independiente y la pendiente de dicha recta teórica con los valores de **R**, **C** y ΔV correspondiente. Tendrás que calcularlos con su incertidumbre. Para ello, utiliza la fórmula de propagación considerando que $s(V) = 0.1 \text{ V}$ y que $s(C)$ y $s(R)$ son un 5% de su valor nominal. Finalmente, compara esos valores con la pendiente y el término independiente que hayas obtenido del ajuste.
- iv) El primer punto de cada medida se corresponde con la intensidad medida a $t = 0 \text{ s}$, es decir, $I(0)$. Teniendo en cuenta esto y utilizando la ecuación (1) ¿Cuál es la relación entre $I(0)$ y los valores **R**, **C** o ΔV del circuito correspondiente? ¿Y con la pendiente o el término independiente del ajuste? Cuando hayas respondido a estas preguntas, realiza las comparaciones correspondientes.

IMPORTANTE:

- Ten cuidado con las unidades al hacer logaritmos. No es lo mismo utilizar μA , mA o A , pues no es lo mismo el logaritmo de 1, que el de 10^{-3} o el de 10^{-6} . Para asegurarte, emplea siempre unidades S.I. arrastrando la potencia correspondiente.
- Recuerda que, como se te ha explicado en las clases preparatorias, las incertidumbres tienen unidades, se expresan con dos cifras significativas y que has de expresar tus datos en concordancia con esa incertidumbre. Las medidas directas, sin embargo, son una excepción: Cuando se mide una magnitud con una precisión de por ejemplo, 0.1, no se añade un cero a la incertidumbre y se expresan los datos hasta la centésima. Si una precisión instrumental tiene una sola cifra significativa, déjala como está y expresa los datos en concordancia. En esta práctica has de tener en cuenta eso cuando re-expreses los datos del tiempo. Eso sí, aplica la regla de las dos cifras significativas al propagar incertidumbres a todas aquellas magnitudes que obtengas a partir de las medidas directas.
- Debes de incluir en la práctica las fórmulas concretas que hayas utilizado en la propagación de incertidumbres. Es decir, no la fórmula general que aparece en los

apuntes, sino la fórmula final que resulta al aplicar esa fórmula general a la magnitud concreta que estás calculando.

- En las gráficas, lo que se representa en cada eje tiene que estar identificado y con unidades. Los datos experimentales se representan mediante símbolos y las expresiones teóricas y los ajustes mediante líneas. Cuando en una gráfica se realiza un ajuste por mínimos cuadrados, debe de identificarse y justificarse explícitamente que tipo de ajuste es (simple o ponderado) y a qué tipo de recta (con o sin término independiente) en función de la ley física que estemos estudiando. Si el mismo ajuste se repite en gráficas sucesivas, indícalo únicamente la primera vez. No obstante, recuerda que en cada ajuste que hagas debes de indicar los parámetros de la recta resultante con sus unidades, sus incertidumbres (que también tienen unidades) y el coeficiente de regresión hasta la primera cifra distinta de nueve. Obviamente, la recta resultante debe de estar en la gráfica junto con los puntos experimentales. Recuerda también que para cualquier cosa que calcules a partir de los parámetros de los ajustes tendrás hacer propagación de incertidumbres y escribir la fórmula que has utilizado en esa propagación, tal y como se ha indicado anteriormente.