

# Introducción a la Física Experimental

## Guía de la experiencia

### Carga y descarga de un condensador

*Departamento de Física Aplicada*  
Universidad de Cantabria

Febrero 28, 2005

*Tenga en cuenta que la lectura previa de esta guía y la comprobación de las ecuaciones le llevará del orden de tres horas, incluyendo la consulta de las palabras clave, y que la lectura de la bibliografía específica le llevará entre una y dos horas.*

#### Resumen

El estudio de la carga y descarga de un condensador es uno de los ejemplos de fenómenos exponenciales que aparecen en física. La utilización de un circuito RC (resistencia y condensador) permite observar esta variación con el tiempo.

## Introducción

Se denomina *condensador*, o capacitor, al conjunto de dos cuerpos conductores (armaduras) A y B situados, respectivamente, a los potenciales  $V_A$  y  $V_B$  y separados por un medio aislante (*dieléctrico*). Un dispositivo así es capaz de almacenar carga eléctrica  $Q$  proporcional a la diferencia de potencial entre las dos armaduras:  $Q = C \cdot (V_A - V_B)$ . El coeficiente  $C$  recibe el nombre de capacidad del condensador, y depende de la superficie de las armaduras, del espesor del dieléctrico y de su permitividad (constante dieléctrica). Las capacidades se miden en *faradios*, y se notan F. El faradio es una unidad muy grande y habitualmente se utilizan  $\mu F$  y  $nF$ .

La botella de Leiden (*Leiden Jar*) es el primer condensador conocido, fue inventado en 1745 de forma independiente por dos científicos : Peter Van Musschenbroek (Leiden, Holanda) y Ewald G. von Kleist (Andreas Cuneus) cuando recibieron una descarga inesperada de un bote, que había sido puesto en contacto con una máquina electrostática. En la Fig. 1 se muestra un grabado con una botella de Leiden.

La botella estaba hecho de vidrio, parcialmente lleno de agua y conteniendo una varilla de latón sujeta mediante un corcho. La electricidad estática producida por fricción mediante un motor eléctrico es almacenada en la botella

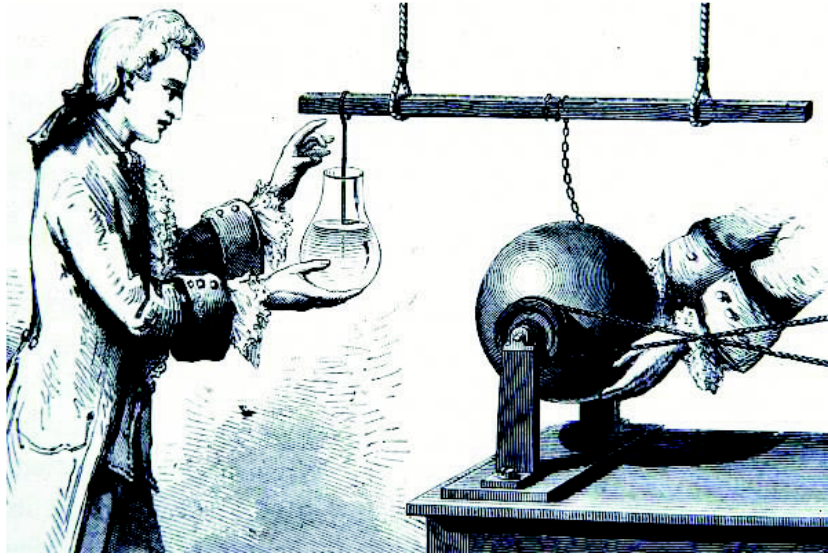


Figura 1: Grabado de época en el que aparece Andreas Cuneus, visitante en el laboratorio de P. Van Musschenbroek, sosteniendo una botella de Leiden y dispuesto a recibir una descarga. En la parte derecha aparece la máquina electrostática de Otto von Guericke, consistente en una bola de azufre que se frota para obtener carga.

a través de la varilla. Sin el bote el material electrificado perdería su carga rápidamente al aire circundante en particular si este es húmedo. Posteriormente William Watson (físico, medico y botánico) mejoró el dispositivo recubriendo el bote de vidrio con láminas metálicas. Surgió así el primer procedimiento para almacenar carga y energía eléctrica.

Un circuito RC como el de la Fig. 2 está formado por un condensador  $C$  en serie con una resistencia  $R$  y está conectado con una fuente de voltaje  $V_e$

## Descripción del material

Se dispone del siguiente material (Fig. 3):

1. Pila de 4.5 V o fuente de alimentación variable.
2. Condensadores de capacidad conocidas ( $10-3000 \mu F$ )
3. Resistencias. ( $1-100 k\Omega$ ).
4. Interruptor bipolar (IB)
5. Conectores (bananas)
6. Multímetro
7. Cronómetro digital

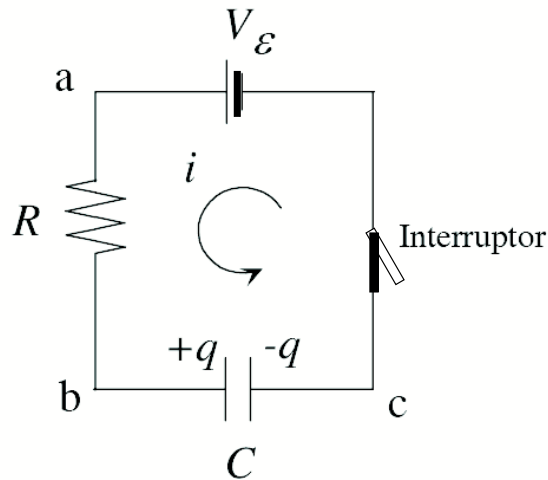


Figura 2: Circuito eléctrico con condensador,  $C$ , resistencia  $R$  y batería,  $V_\epsilon$ . Cuando se cierra el interruptor circula corriente hasta que las placas del condensador se cargan y se alcanza la misma diferencia de potencial que impone la batería.

8. Opcionalmente: osciloscopio y generador de pulsos

## Reflexiones previas a la realización del experimento

1. Definir: dieléctrico, permitividad
2. ¿Qué fenómenos con variación exponencial conoces en la naturaleza?
3. ¿Qué se entiende por energía de un condensador? ¿Cómo puede medirse?  
¿De qué depende?

## Modo operativo

### Primera parte

Antes de proceder a la toma de medidas debemos realizar primero algunas observaciones cualitativas sobre el proceso de carga y descarga del condensador. En primer lugar debemos asegurarnos de que el condensador está descargado. Para ello una los dos terminales mediante uno de los cables de conexión.

ATENCIÓN: los condensadores electrolíticos deben conectarse teniendo en cuenta su polaridad. El terminal más largo es el polo positivo.

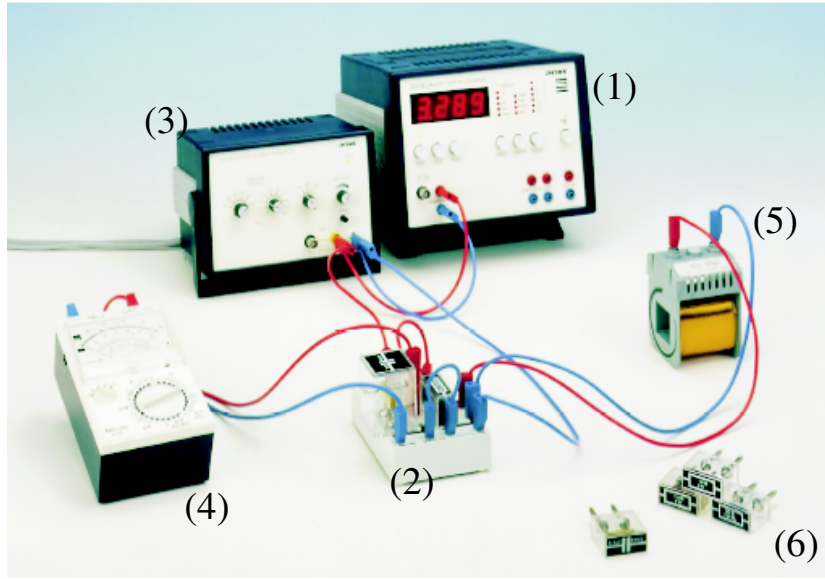


Figura 3: Montaje experimental para estudiar circuitos RCL. Fuente de alimentación (1), condensador y resistencias (2), generador de pulsos (3), multímetro (4), bobina (5) y condensadores de reserva (6).

### **Demostrar la existencia de corrientes de carga y descarga.**

Con el material descrito se monta el circuito de la Fig. 4, en el que la resistencia es una bombilla de 4 V y 0,04 A, y la fuente de tensión  $V_e$  proporciona hasta 12 V, utilizando el condensador de mayor capacidad con el interruptor abierto (se muestra el circuito al profesor).

Manipulando el interruptor bipolar (IB) se cierra el circuito en a, entonces comienza la carga del condensador  $C$ . ¿Circula corriente durante el proceso de carga? ¿En qué dirección? ¿De qué depende el tiempo de carga del condensador?

Al cabo de un tiempo el condensador se habrá cargado, se abre el circuito de modo que el interruptor va hacia la posición b. ¿Qué le sucede a la bombilla? ¿A qué es debido? ¿De dónde proviene la energía? Repítase la experiencia con condensadores de menor capacidad. ¿La lámpara se enciende con mayor o menor intensidad? ¿Por qué?

### **Sentido de las corrientes de carga y descarga.**

Para ello se monta el circuito de la Fig. 5 ayudándose de un galvanómetro de aguja G y donde se ha sustituido la bombilla por una resistencia  $R$  del orden de los  $k\Omega$ . Utilícese el condensador de mayor capacidad y muéstrase al profesor con el interruptor abierto.

Se conecta el interruptor en a y se observa el sentido de la desviación de la aguja del galvanómetro. Se abre y se conecta por b. ¿Dibuje en qué dirección

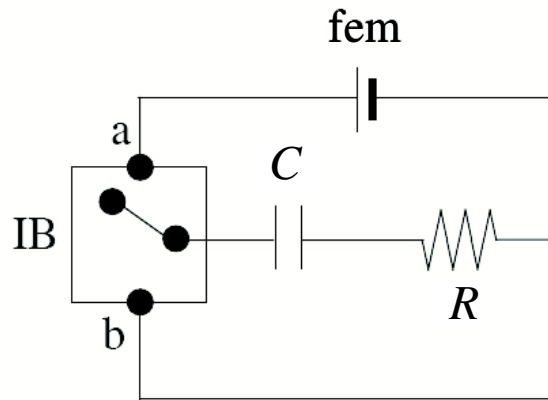


Figura 4: Esquema de circuito y conexiones relacionado con la demostración de la existencia de la carga y descarga del condensador.

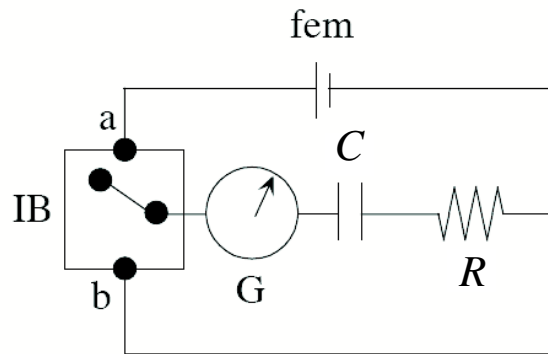


Figura 5: Esquema de un circuito para estudiar la carga de un condensador mostrando la disposición del galvanómetro G en serie con el condensador y la resistencia.

se mueven las corrientes de carga y descarga? Repetir la experiencia con el mismo condensador pero utilizando diferentes resistencias. ¿Qué le ocurre al galvanómetro? ¿Cómo varía el desplazamiento de la aguja?

### Curva de carga de un condensador

Móntese el circuito de la Figura 5, en el que se ha introducido un voltímetro V. Ahora emplearemos una resistencia de  $100\text{ k}\Omega$ . Una vez comprobado el circuito por el profesor, se procede a realizar la carga del condensador. Cronometramos y anotamos los valores del voltímetro y los correspondientes tiempos. Para ello colocamos el interruptor en la posición a, asegurándonos que el voltímetro V no se sale de escala cuando conectamos el condensador a la máxima tensión posible.

¿Cómo sabremos si el condensador está completamente cargado? ¿Coincide

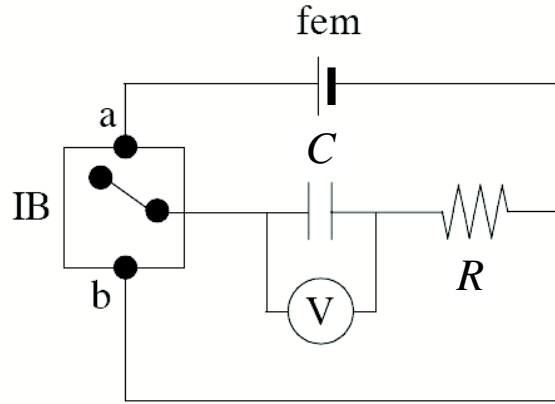


Figura 6: Esquema de un circuito para estudiar la descarga de un condensador mostrando la disposición del voltímetro  $V$  en paralelo con el condensador.

la tensión máxima alcanzada por el condensador con la tensión de la fuente? ¿De qué depende el proceso de carga? Describamos el proceso. Inicialmente ( $t=0$ ) el circuito está abierto y el condensador descargado. Cuando se cierra el interruptor las cargas comienzan a moverse produciendo una corriente en el circuito, que pasa por la resistencia y se acumula carga en el condensador, hasta que la diferencia de potencial en el condensador es igual a la f.e.m. ( $V_\epsilon$ ) de la fuente. Una vez el condensador se ha cargado completamente, cesa la corriente en el circuito. En ese momento aplicando las leyes de Kirchhoff al circuito se obtiene:

$$\sum_i V_i = 0. \quad (1)$$

Por tanto la ecuación del circuito es:

$$iR + \frac{Q}{C} - V_\epsilon = 0. \quad (2)$$

Teniendo en cuenta que la intensidad de corriente  $i = dQ/dt$ , tendremos, separando variables:

$$\frac{dQ}{CV_\epsilon - Q} = \frac{1}{RC} dt. \quad (3)$$

Integrando obtenemos  $Q$  y derivando con respecto al tiempo  $i(t)$

$$Q(t) = CV_\epsilon \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t}{RC}\right) \right] \quad (4)$$

$$i(t) = \frac{V_\epsilon}{R} \exp\left(-\frac{t}{RC}\right) \quad (5)$$

$$(6)$$

Para la diferencia de potencial,

$$V(t) = V_0 \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t}{RC}\right) \right]. \quad (7)$$

¿Cuál es el valor máximo de la carga? ¿En qué tiempo se alcanzaría? La intensidad disminuye exponencialmente con el tiempo ¿cuál es su valor cuando el condensador adquiere su carga máxima? A la cantidad  $RC$  se le denomina constante de tiempo o *tiempo característico del circuito* y representa el tiempo necesario para que la corriente disminuya hasta  $1/e$  su valor inicial.

Expresa los datos obtenidos  $V(t)$  en forma de tabla y represente gráficamente los valores de la tensión en el condensador en función del tiempo de carga  $t$ . Represente la carga del condensador y la intensidad de corriente en función del tiempo. Calcule la energía máxima almacenada en el condensador. Ajuste por mínimos cuadrados los datos obtenidos a las expresiones correspondientes y calcule el valor de la constante de tiempo a partir de la pendiente de la recta obtenida en la representación logarítmica. Compare con el resultado obtenido con el producto  $RC$  teniendo en cuenta los valores nominales de  $R$  y  $C$  dados por el fabricante.

### Curva de descarga de un condensador

Ahora procedemos a la descarga del condensador situando el interruptor en la posición b. La diferencia de potencial a través del condensador impulsa la corriente por la resistencia y el condensador se descarga. Al disminuir la carga, la diferencia de potencial y la corriente también disminuyen.

Para analizar cuantitativamente el fenómeno, aplicamos nuevamente las leyes de Kirchhoff. El cambio de potencial a través del condensador es  $Q/C$ , y a través de la resistencia es  $-iR$ , por tanto:

$$-iR + \frac{Q}{C} = 0. \quad (8)$$

Cuando  $i(t)$  es positiva, la corriente en el circuito reduce la carga  $Q(t)$  en el condensador

$$\frac{Q}{C} - R \frac{dQ}{dt} = 0. \quad (9)$$

La regla de la trayectoria cerrada da como resultado una ecuación diferencial de la carga en función del tiempo, que teniendo en cuenta que  $Q(t=0) = Q_0$  permite obtener

$$Q(t) = Q_0 \exp\left(-\frac{t}{RC}\right). \quad (10)$$

La corriente viene dada por:

$$i(t) = \frac{Q_0}{RC} \exp\left(-\frac{t}{RC}\right). \quad (11)$$

y la diferencia de potencial entre las armaduras del condensador:

$$V(t) = V_0 \exp\left(-\frac{t}{RC}\right). \quad (12)$$

Una medida del tiempo que tarda el condensador en descargarse es su constante de tiempo:

$$\tau_C \equiv RC. \quad (13)$$

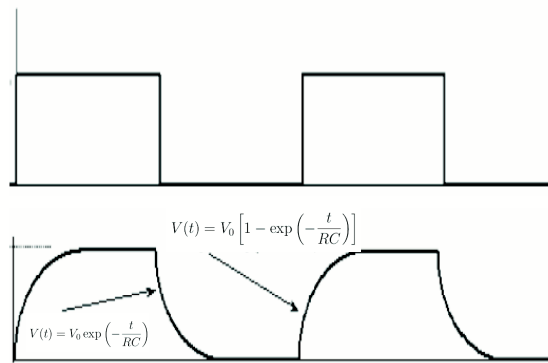


Figura 7: Curvas teóricas de carga y descarga de un condensador.

### Carga y descarga de un condensador mediante un osciloscopio.

Cuando se conecta el circuito  $RC$  a un generador de señales cuadradas, podemos observar en un osciloscopio el proceso de carga y descarga. El generador de funciones permite obtener un voltaje como onda cuadrada cuya frecuencia puede modificarse. Utilizando el osciloscopio de dos canales es posible visualizar la señal procedente del generador de señales en el canal 1 (CH1) y la señal procedente del condensador en el canal 2 (CH2) (v. Fig. 6).

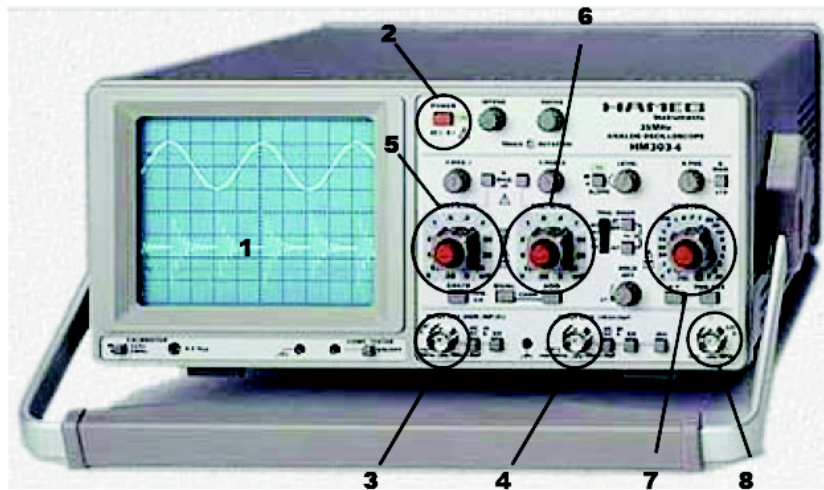


Figura 8: Vista frontal de un osciloscopio.

## Manejo del osciloscopio.

### Entradas principales.

- INPUT CHI: entrada para el canal I (3) e INPUT CHII para el canal II (4) o la señal horizontal externa en el caso de que se apriete la tecla X-Y.

### Mandos principales.

- Interruptor (POWER) (2) para conectar el instrumento a la red.
  - Asociados al tubo de rayos catódicos:
    - Brillo (INTENS) para ajustar la intensidad del haz de electrones que incide sobre la pantalla del tubo de rayos catódicos.
    - Enfoque (FOCUS) para conseguir una traza bien definida.
    - Desplazamiento horizontal de la traza (X-POS).
    - Desplazamiento vertical de la traza I (Y-POS I) y de la traza II (Y-POS II) de forma independiente.
    - Tecla para conectar la entrada al potencial de referencia cero o tierra (GD).
    - Tecla para eliminar la componente constante de la señal de entrada o dejarla pasar (AC/DC).
    - Selector de las diferentes escalas (VOLTS/DIV) para conseguir una figura en la pantalla de tamaño (altura) adecuado, uno para cada canal (5, 6). Sólo en la posición de calibrado (CAL) del botón central de ajuste los valores corresponden a los que indica el mando.
    - Teclas para visualizar una de las dos señales (CHI/II) o ambas señales simultáneamente (DUAL)
    - Tecla para invertir la señal (INVERT).
    - Selector del ritmo de barrido (TIME/DIV) (7). Sólo en la posición de calibrado (CAL) del botón central de ajuste los valores corresponden a los que indica el mando.
    - Tecla (AT/NORM) para realizar el sincronismo de forma automática o mediante la ayuda de una señal externa denominada disparador o TRIGGER que se introduce por la entrada auxiliar (TRIG.INP) (8).
    - Botón (LEVEL) para variar el valor al que se produce el sincronismo.

## Preguntas adicionales relacionadas con el experimento

1. Enuncie las reglas de Kirchhoff. ¿Con qué reglas o leyes de conservación se corresponden?
2. ¿Qué unidades tiene  $\tau_C$ ? ¿A qué se debe el decaimiento exponencial de la carga y de la corriente en un circuito RC?
3. ¿Qué ocurre con la energía almacenada en el condensador? ¿En qué se transforma? ¿Se conserva la energía? Demuéstrelo

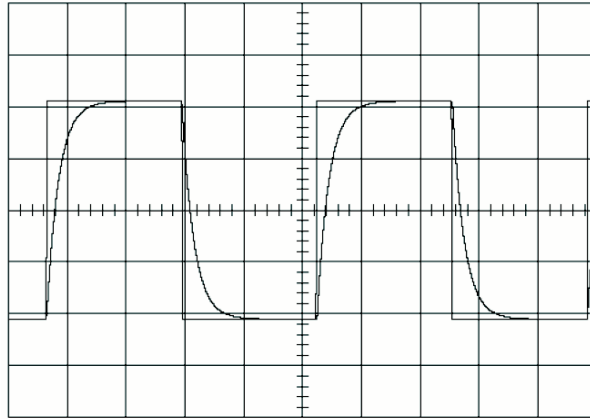


Figura 9: Curvas de carga y descarga de un condensador tal y como se observan en la pantalla de un osciloscopio.

4. Si se duplica la resistencia en un circuito RC ¿cómo varía la constante de tiempo? ¿qué pasa si la capacidad se duplica?
5. Se conectan en paralelo dos condensadores de 16 y 20  $\mu\text{F}$ . ¿Qué resistencia se debe conectar con ellos para que la constante de tiempo del circuito sea de 1 ms?

## Referencias

- [1] T. B. Greenslade, Jr., *The Physics Teacher*, **32**, 536-537 (1994))
- [2] R.A. Serway y J.W. Jewett, Jr., Ed. Thomson, *Física 2*, 3ª Edición, Madrid, pág. 788 y ss.
- [3] P.A. Tipler, *Física para la ciencia y la tecnología*, 4ª Edición, Barcelona, Vol. 2, pág. 760 y ss.  
En [http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/campo\\_electrico/rc/rc.htm](http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/campo_electrico/rc/rc.htm)