

# TÉCNICAS EXPERIMENTALES DE ELECTROMAGNETISMO

Curso 2010-2011

Grupo I de prácticas:

1. Medidas de corriente continua.
2. Medidas de corriente alterna. El osciloscopio.
3. Circuitos resonantes.
4. Transitorios RC, RL y RLC.
5. Medida de la permitividad dieléctrica.
6. Ciclos de histéresis de materiales ferromagnéticos. Transformadores.

Septiembre 2010

# PRÁCTICA N° 1: MEDIDAS DE CORRIENTE CONTINUA

Objetivos: Utilización de voltímetro y amperímetro, tanto analógico como digital, medidas de tensión y corriente en circuitos de corriente continua con resistencias y efecto de carga.

Material: Un voltímetro analógico, un amperímetro analógico y un polímetro digital, pila y portapilas, interruptor (pulsador), resistencias y cables de conexión.

## 1. INTRODUCCIÓN

Un **voltímetro** es un instrumento destinado a medir la diferencia de potencial (d.d.p.) entre dos puntos de un circuito, tal como se indica esquemáticamente en la figura 1. Observemos que el voltímetro se conecta en paralelo. Los voltímetros se suelen construir utilizando un microamperímetro (o galvanómetro) como aparato base al que se añade en serie una resistencia. Esta resistencia, junto a las características del aparato base, define el margen de medida del voltímetro. Los voltímetros usuales disponen de varias escalas, lo que significa que el fabricante ha montado en su interior las resistencias adecuadas para cada una de ellas. Desde el punto de vista de una red eléctrica, el circuito equivalente de un voltímetro es su resistencia interna,  $r_v$ .

Un **voltímetro ideal** sería aquel cuya conexión a cualquier red eléctrica no produjera modificación alguna de las corrientes y potenciales existentes en la misma. De esta forma la diferencia de potencial medida correspondería efectivamente a la existente antes de la conexión. El voltímetro ideal presentaría una resistencia interna infinita. Sin embargo, los voltímetros reales presentan una resistencia interna finita y ello supone que una cierta corriente se desvíe por el aparato al conectarlo a un circuito dado, modificando las corrientes y potenciales preexistentes en el circuito. Este hecho se conoce como **efecto de carga del voltímetro**, y justifica la importancia de conocer las características del aparato que en su momento se utilice, y saber deducir de las mismas si su efecto de carga es o no despreciable. Si el efecto de carga es despreciable, entonces podremos hacer uso del voltímetro como si se tratara de un voltímetro ideal, situación deseable desde el punto de vista práctico. Si por el contrario el efecto de carga no es despreciable, entonces todavía se puede hacer uso del voltímetro, pero teniendo presente que la diferencia de potencial medida es distinta de la preexistente antes de conectar el aparato, la cual puede calcularse en algunos casos a partir de la medida.

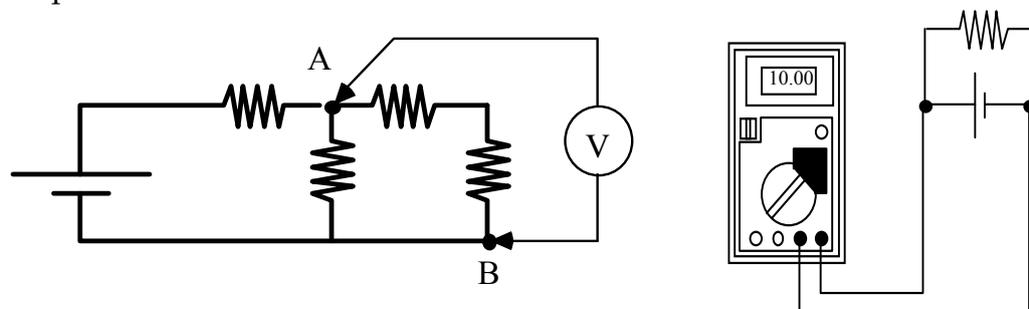


Figura.1 Medida de diferencias de potencial.

La magnitud que representa el efecto de carga de un voltímetro al medir una d.d.p. entre dos puntos  $A$  y  $B$  de un circuito es la variación relativa en dicha d.d.p. antes y después de conectar el aparato, es decir:

$$\varepsilon_r(\%) = \frac{(V_A - V_B) - (V_A - V_B)'}{(V_A - V_B)} \times 100 \quad (1)$$

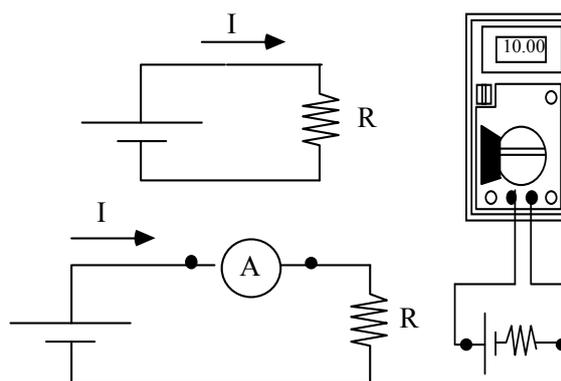
siendo  $(V_A - V_B)'$  la d.d.p. que hay entre los puntos  $A$  y  $B$  al añadir el voltímetro.

Un **amperímetro**, es un instrumento destinado a medir la intensidad de la corriente eléctrica que recorre una rama dada de un circuito. Los amperímetros usuales requieren para ello interrumpir la rama en un punto e intercalar el aparato, de modo que la corriente a medir circule por el interior del mismo (figura 1): los amperímetros se conectan en serie. Los amperímetros analógicos se suelen construir utilizando un microamperímetro como aparato base al que se conecta una resistencia en paralelo. Esta resistencia, junto a las características del aparato base, define el margen de medida del amperímetro.

Los amperímetros usuales disponen de varias escalas, que el fabricante define montando en el interior del aparato las resistencias adecuadas para cada una de ellas. Desde el punto de vista de la red eléctrica en la que se utiliza el aparato, el circuito equivalente de un amperímetro es su resistencia interna,  $r_A$ .

Un **amperímetro ideal** no modificaría las corrientes y potenciales de un circuito al instalarlo en el mismo. De tal forma que la corriente medida sería efectivamente la existente antes de conectar el aparato. El amperímetro ideal presentaría una resistencia interna nula.

Figura 2. Circuito sencillo e instalación del amperímetro.



Sin embargo, los amperímetros reales presentan una resistencia no nula, y ello supone que al conectarlo se modifican las corrientes y potenciales del circuito. Este hecho se conoce como **efecto de carga del amperímetro**, y justifica la importancia de conocer las características del aparato que en su momento se utiliza, y saber deducir de las mismas si su efecto de carga es o no es despreciable. Si el efecto de carga es despreciable, entonces podremos hacer uso del amperímetro como si se tratara de un aparato ideal, situación deseable desde el punto de vista práctico. Si por el contrario el efecto de carga no es despreciable, entonces todavía se puede hacer uso del amperímetro, pero teniendo en cuenta que la corriente medida es distinta de la preexistente antes de conectar el aparato, la cual puede calcularse en algunos casos a partir de la medida.

De manera similar al voltímetro, el efecto de carga de un amperímetro al medir la corriente que pasa por una rama de un circuito se define como:

$$\varepsilon_r(\%) = \frac{I - I'}{I} \times 100 \quad (2)$$

siendo  $I'$  la corriente que circula cuando se añade el aparato.

## 2. MANEJO DE LOS APARATOS ANALÓGICOS Y DIGITALES

En esta práctica usaremos un voltímetro y amperímetro analógicos y un polímetro digital. Este último servirá como voltímetro, amperímetro y óhmetro. Aunque el funcionamiento interno de los aparatos analógicos y digitales puede ser diferente, desde el punto de vista de las medidas ambos se caracterizan de igual forma, teniendo el mismo circuito equivalente. Genéricamente podemos adelantar que en régimen de corriente continua todos los aparatos tienen un borne positivo (+) y un borne negativo (-); el voltímetro mide siempre la diferencia de potencial entre el borne positivo y el borne negativo ( $V_+ - V_-$ ) y el amperímetro la corriente que entra por el borne positivo y sale por el negativo.

Los aparatos analógicos deben conectarse en posición vertical u horizontal según las indicaciones del fabricante ( $\perp$  posición vertical,  $—$  posición horizontal). En esta práctica se utilizarán únicamente para medidas en continua, de manera que **SÓLO SE SELECCIONARAN POSICIONES DEL CONMUTADOR EN LOS RANGOS MARCADOS EN BLANCO** (con el símbolo  $\overline{\hspace{1cm}}$ ). Ambos aparatos tienen dos bornes: uno positivo (+) y otro negativo (COM). Por otra parte, hay diferentes escalas graduadas superpuestas, pero dichas escalas tienen unidades arbitrarias: el fondo de escala nos indica que el aparato mide entre 0 (voltios o amperios) y el valor del fondo de escala. El fondo de escala está determinado por la posición del conmutador o bien por la elección de un determinado borne (según el modelo). Para realizar una medida deberemos fijar, inicialmente, el mayor fondo de escala del aparato; seguidamente, iremos disminuyendo el fondo de escala, **GIRANDO MUY SUAVEMENTE** el conmutador (o cambiando el borne) hasta que hagamos una medida que no sobrepase el fondo de escala. Los aparatos analógicos se dañan cuando la aguja se sale de escala, por lo que nunca deberemos consentir que la medida sea mayor que el fondo de escala o que la aguja se desvíe hacia la parte negativa, y, si sucede por un descuido, deberemos desconectar rápidamente el aparato.

El **voltímetro y amperímetro digital** que se empleará en esta práctica es parte de un polímetro que puede medir diversas magnitudes. Dicho polímetro se puede conectar indistintamente en posición vertical u horizontal. Por lo común, todos los polímetros que se construyen miden las siguientes magnitudes:

- Intensidad de corriente continua
- Intensidad de corriente alterna
- Diferencia de potencial de corriente continua
- Diferencia de potencial de corriente alterna
- Resistencias.

El **polímetro** es pues un aparato que puede hacer las funciones de amperímetro, voltímetro u óhmetro. Cada posición del selector corresponde a una función del polímetro y un margen de medida (por lo que el fondo de escala se determina con un conmutador), que queda indicado. Las unidades de la magnitud que se lee en el dial corresponden a la unidad asociada al fondo de escala seleccionado. Las posibles funciones de nuestro polímetro son:

DCV= voltímetro de corriente continua  
ACV= voltímetro de corriente alterna  
OHMS= óhmetro o medidor de resistencias

DCA= amperímetro de corriente continua  
ACA= amperímetro de corriente alterna.

Para manejar correctamente el polímetro y evitarle posibles daños, el selector debe situarse en la posición que seleccione la función correcta **ANTES DE CONECTARLO** y en el mayor margen o escala posible. Si el indicador no sobrepasa el valor máximo de la escala inferior (lo que se observa cuando aparece un 1 en la pantalla), entonces posicionaremos el selector en la escala inferior, hasta conseguir una medida lo más precisa posible. Es decir, para realizar una medida deberemos elegir el mayor margen de escala posible; seguidamente iremos disminuyendo dicho margen de escala, **GIRANDO MUY SUAVEMENTE EL CONMUTADOR**, hasta encontrar un 1, para “subir” hacia el inmediato superior (así conseguiremos el mayor número de cifras significativas).

Antes de comenzar las medidas de la práctica se recuerda que el error de sensibilidad de una medida directa es el correspondiente al valor más pequeño que puede apreciarse. Así pues, cada vez que se haga una medida con un aparato anotad la escala en la que se hace y la sensibilidad de dicha escala (que no tiene porqué ser la división más pequeña). Si la medida fluctúa en un cierto intervalo, habrá que utilizar dicho intervalo como margen de error.

### 3. MEDIDAS BÁSICAS CON VOLTÍMETRO/AMPERÍMETRO

Montar el circuito de la figura 3.  $\varepsilon$  es la pila de 4,5 V (pila de “petaca”). Utilizar el voltímetro analógico y luego el digital para medir  $V_A - V_B$ . Esta diferencia de potencial corresponderá a la fuerza electromotriz de la pila. Comparad los valores medidos con el valor nominal (4,5 V).

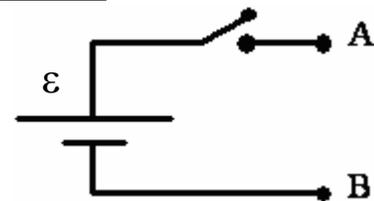


Figura 3.

A continuación montar el circuito de la figura 4. Utilizar el amperímetro analógico y luego el digital para medir la corriente  $I$  que circula por dicho circuito. Comparad los valores medidos con el valor calculado a partir de los valores nominales de la fem de la pila y de la resistencia (código de colores, apéndice 1).

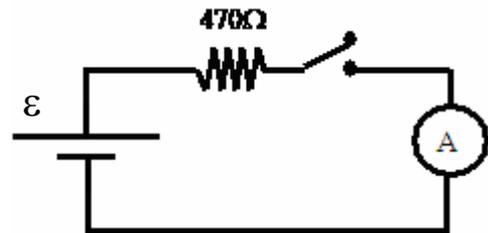


Figura 4.

### 4. MEDIDA DE RESISTENCIAS

En primer lugar mediremos las resistencias utilizando la parte de óhmetro del polímetro digital. Comparad los valores medidos con los valores nominales (código de colores) teniendo en cuenta el error de medida del polímetro y la tolerancia dada por el fabricante.

A continuación determinaremos la resistencia interna del voltímetro y amperímetro analógicos, utilizando medidas de tensión y corriente con ambos aparatos.

En primer lugar determinaremos la resistencia interna del voltímetro analógico,  $r_V$ , **para la escala de 10 V**. Montar el esquema de la figura 4a, siendo  $R$  la caja de resistencias. Realizar varias medidas (al menos 6) de  $V$  e  $I$  para distintos valores de

R, **utilizando la escala del amperímetro más conveniente**, y calcular la resistencia interna del voltímetro  $r_V = V/I$  para la escala de 10V. Una manera es calcular la media de los valores obtenidos, aunque es siempre mucho mejor representar V en función de I, y obtener  $r_V$  del ajuste por mínimos cuadrados. Dependiendo del tiempo disponible se elegirá uno u otro método.

A continuación determinaremos la resistencia interna del amperímetro en **la escala de 10 mA**. Montar el esquema de la figura 4b, siendo R la caja de resistencias. Iniciar el montaje con un valor grande de R para asegurarse que la corriente no exceda el valor máximo admitido por el amperímetro (escala de 10 mA). **Utilizar la escala del voltímetro más adecuada para la caída de potencial que se esté midiendo**. Realizar varias medidas (al menos 6) de V e I variando R (procurando que queden distribuidas uniformemente en todo el intervalo de I) y deducir de las mismas el valor de la resistencia interna del amperímetro  $r_A = V/I$ , para la escala de 10mA.

Comparad los valores de resistencias internas obtenidos con los que se dan en el apéndice 2.

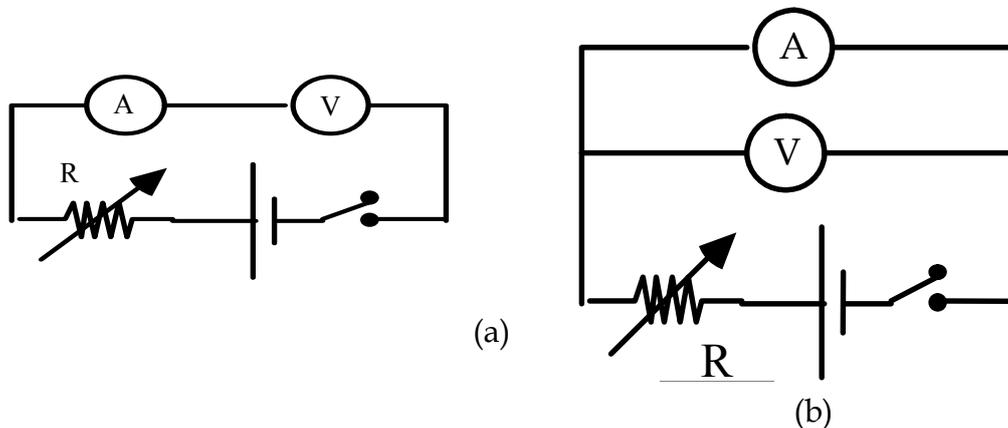


Figura 4

### 5. MEDIDA DE CORRIENTE Y TENSIÓN EN CIRCUITOS DC. EFECTO DE CARGA.

En este apartado montaremos un circuito simple DC con resistencias y vamos a realizar medidas de corriente y tensión, evaluando el efecto de carga de los aparatos en las medidas. Montar, en primer lugar los circuitos de la figura 5. Medir con el voltímetro analógico las d.d.p.  $V_A - V_C$ ,  $V_A - V_B$  y  $V_B - V_C$  usando el mismo fondo de escala (10 V). Observar si se verifica:

$$(V_A - V_C) = (V_A - V_B) + (V_B - V_C) \quad (2)$$

Justificar los resultados obtenidos en base al efecto de carga del voltímetro.

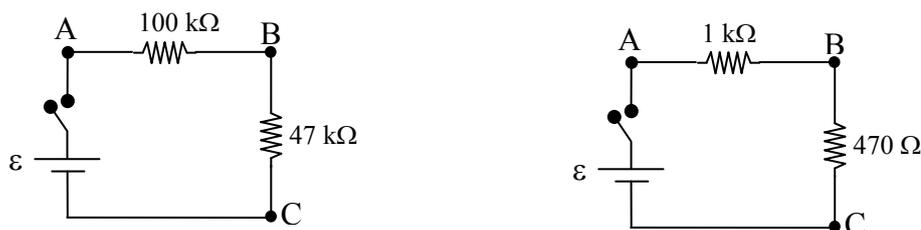
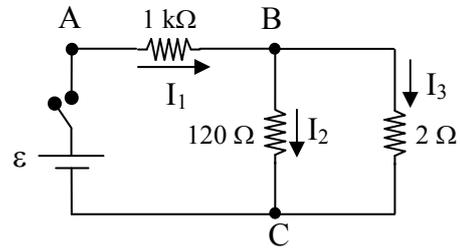


Figura 5

Repetir la misma secuencia de medidas con el voltímetro digital (en la escala de 20 V), así como el análisis de resultados.

A continuación montar el circuito de la figura 6. Medir con el amperímetro analógico (en la escala de 10 mA) las corrientes que pasan por cada una de las resistencias. Comprobar si se cumple:



$$I_1 = I_2 + I_3 \quad (4)$$

Figura 6

Justificar los resultados en base al efecto de carga del amperímetro.

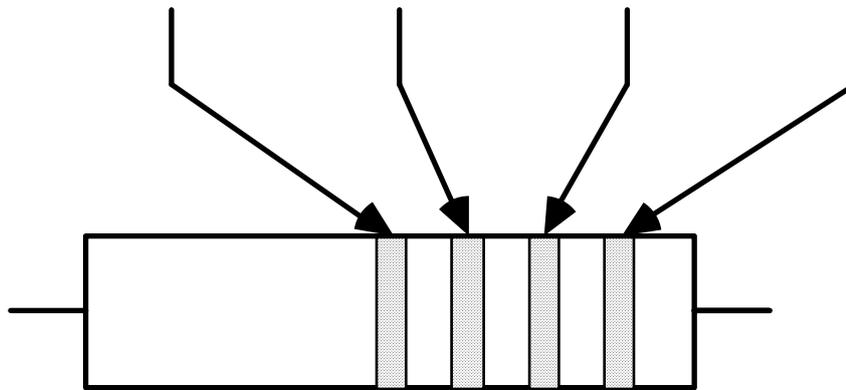
Repetir la misma secuencia de medidas con el amperímetro digital (en la escala de 20 mA), así como el análisis de los resultados.

## 6. CUESTIONES

Realizar los cálculos y comprobaciones propuestos a lo largo del guión.

### APÉNDICE 1: CÓDIGO DE COLORES PARA RESISTENCIAS

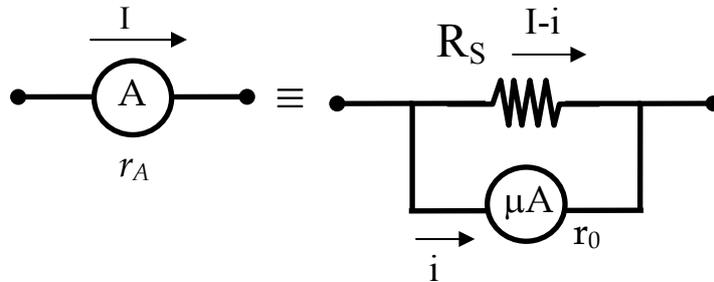
COLOR	1º dígito	2º dígito	factor	tolerancia
plata	-	-	$10^{-2}$	$\pm 10\%$
oro	-	-	$10^{-1}$	$\pm 5\%$
negro	-	0	$10^0$	-
marrón	1	1	$10^1$	-
rojo	2	2	$10^2$	-
naranja	3	3	$10^3$	-
amarillo	4	4	$10^4$	-
verde	5	5	$10^5$	-
azul	6	6	$10^6$	-
violeta	7	7	$10^7$	-
gris	8	8	$10^8$	-
blanco	9	9	$10^9$	-



El valor resultante al aplicar este código de colores viene dado en ohmios.

## APÉNDICE 2: RESISTENCIAS INTERNAS DE LOS APARATOS

Como se ha dicho en la introducción un amperímetro analógico se construye utilizando un microamperímetro como aparato base (con resistencia interna  $r_0$ ), en paralelo con una resistencia,  $R_s$ , cuyo valor permite cambiar el fondo de escala. El amperímetro digital no se construye así, pero su circuito equivalente se puede representar también de esa forma, que presentamos en la siguiente figura:



Así pues, si para un valor dado de  $R_s$  la corriente máxima que puede medir el amperímetro es  $I_{\max}$  (fondo de escala) tendremos:

$$I_{\max} \cdot r_A = i_{\max} \cdot r_0$$

siendo  $i_{\max}$  la corriente máxima que mide el microamperímetro.

Como  $i_{\max}$  y  $r_0$  son características del aparato base, la resistencia interna del amperímetro se puede poner como:

$$r_A (\Omega) = \frac{C(\text{mA} \cdot \Omega)}{\text{Fondo de escala}(\text{mA})}$$

siendo  $C = i_{\max} \cdot r_0$  una constante que depende de las características del aparato base.

Los valores de  $C$  para los aparatos que se utilizan en ésta práctica son los siguientes:

$$C_{\text{digital}} = 200 \text{ mA} \cdot \Omega$$

$$C_{\text{analógico}} = 1000 \text{ mA} \cdot \Omega$$

Por su parte, el voltímetro analógico se construye con un miliamperímetro como aparato base, con una resistencia en serie, cuyo valor permite cambiar el fondo de escala. En este caso la resistencia interna del voltímetro analógico se puede escribir como:

$$r_V (\text{k}\Omega) = \frac{\text{Fondo de escala}(\text{V})}{K(\text{mA})}$$

siendo  $K = i_{\max}$ , la corriente máxima del aparato base.

Los valores de  $K$  para los aparatos que se utilizan en esta práctica son:

$$K(\text{Chauvin-Arnoux}) = 45 \mu\text{A}$$

$$K(\text{YEW}) = 1 \text{ mA}$$

El voltímetro digital se construye de manera diferente, y por lo general suele tener una resistencia interna muy alta, que además es la misma para todas las escalas. El voltímetro digital usado en esta práctica tiene una resistencia interna  $r_V = 10 \text{ M}\Omega$ .

# PRÁCTICA N° 2: MEDIDAS DE CORRIENTE ALTERNA. EL OSCILOSCOPIO

Objetivos: Manejo de osciloscopio y polímetro en medidas de corriente alterna.

Material: polímetro, osciloscopio, generador de funciones, generador de corriente alterna de frecuencia y amplitud fijas y componentes R, L y C.

## 1. INTRODUCCIÓN

En esta práctica vamos a realizar una serie de medidas de corriente alterna utilizando tanto un polímetro como un osciloscopio. En corriente continua las magnitudes vienen caracterizadas únicamente por un valor numérico, mientras que en corriente alterna hay que considerar amplitudes y fases. En esta práctica pondremos de manifiesto esas diferencias y utilizaremos las medidas para obtener los parámetros característicos de los elementos utilizados en los circuitos.

Como ya vimos en la práctica 1, **el polímetro** es un aparato que puede medir diversas magnitudes. Cada posición del selector corresponde a una función del polímetro y un margen de medida (por lo que el fondo de escala se determina con un conmutador), que queda indicado. Las unidades de la magnitud que se lee en el dial corresponden a la unidad asociada al fondo de escala seleccionado. Las posibles funciones de nuestro polímetro son:

DCV= voltímetro de corriente continua

DCA= amperímetro de corriente continua

ACV= voltímetro de corriente alterna

ACA= amperímetro de corriente alterna.

OHMS= óhmetro o medidor de resistencias

Para manejar correctamente el polímetro y evitarle posibles daños, el selector debe situarse en la posición que seleccione la función correcta **ANTES DE CONECTARLO** y en el mayor margen o escala posible. Si el indicador no sobrepasa el valor máximo de la escala inferior (lo que se observa cuando aparece un 1 en la pantalla), entonces posicionaremos el selector en la escala inferior, hasta conseguir una medida lo más precisa posible. Es decir, para realizar una medida deberemos elegir el mayor margen de escala posible; seguidamente iremos disminuyendo dicho margen de escala, **GIRANDO MUY SUAVEMENTE EL CONMUTADOR**, hasta encontrar un 1, para “subir” hacia el inmediato superior (así conseguiremos el mayor número de cifras significativas).

En esta práctica usaremos el polímetro como amperímetro, voltímetro y óhmetro. A continuación recordamos cómo debe usarse en cada uno de los casos:

- CUANDO SE USE COMO VOLTÍMETRO, EL POLÍMETRO DEBE CONECTARSE EN PARALELO (ver figuras 1 y 2).

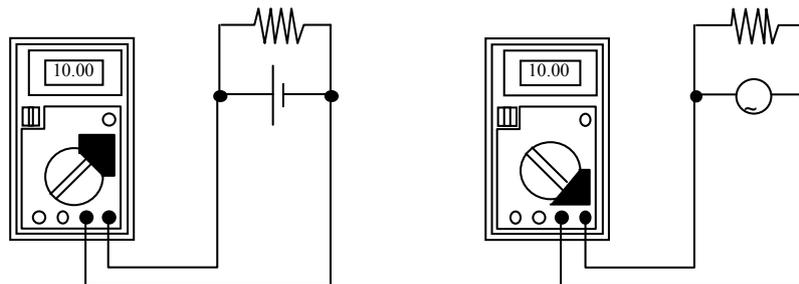


Figura 1

- CUANDO SE USE COMO AMPERÍMETRO, EL POLÍMETRO DEBE CONECTARSE EN SERIE (ver figuras 3 y 4).

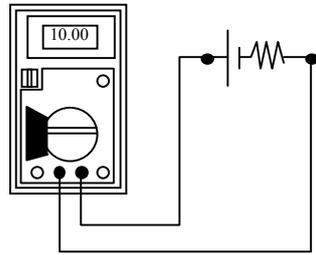


Figura 3

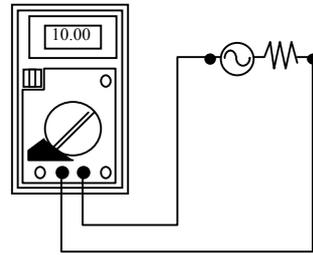


Figura 4

- CUANDO SE USE COMO ÓHMETRO, HAY QUE DESCONECTAR LA RESISTENCIA A MEDIR DE CUALQUIER CIRCUITO DONDE PUDIERA ESTAR CONECTADA, es decir, que para medir el valor de una resistencia con el óhmetro del polímetro la resistencia debe estar completamente aislada de cualquier circuito, como indica la figura 5.

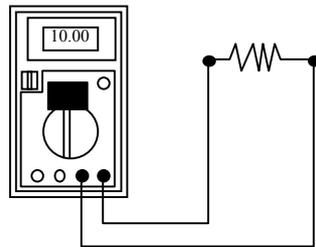


Figura 5

Por otra parte, el **osciloscopio** es un aparato que proporciona una representación gráfica XY en su pantalla. En la configuración más usual, dicha representación gráfica corresponde a la variación de una tensión con el tiempo (eje X = tiempo, eje Y=tensión medida). En esta práctica podremos comparar las medidas de amplitud realizadas con el osciloscopio en esta configuración, con los valores medidos con un polímetro.

Una segunda configuración del aparato permite representar dos tensiones, una (eje Y) en función de la otra (eje X), dejando el tiempo como un parámetro. Esta configuración la utilizaremos en esta práctica para medir diferencias de fase entre dos señales. En los apéndices A y B al final de guión se resume el funcionamiento y las funciones de los mandos del osciloscopio así como la descripción de los métodos de medida de desfases.

Antes de comenzar las medidas de la práctica se recuerda que el error de sensibilidad de una medida directa es el correspondiente al valor más pequeño que puede apreciarse. Así pues, cada vez que se haga una medida con un aparato anotad la escala en la que se hace y la sensibilidad de dicha escala (que no tiene porqué ser la división más pequeña).

**IMPORTANTE:** En el caso de tener una fuente de alimentación con dos salidas independientes, una de corriente continua y otra de alterna, no se deben mezclar nunca ambas salidas, ya que se puede DAÑAR SERIAMENTE LA FUENTE. En

**caso de mínima duda para identificar los bornes correspondientes a las dos salidas consultad con el profesor.**

## 2. MANEJO DEL OSCILOSCOPIO Y MEDIDAS DE COMPROBACION

El objetivo de este apartado es entender el papel de cada uno de los mandos de control del osciloscopio y hacer medidas aprender a hacer las medidas básicas. Para ello se deben leer paralelamente los apéndices A "Mandos del Osciloscopio" y B "Generador de Señal". En esencia se trata de seguir el esquema:

- a) Enchufar el osciloscopio a la red y conectarlo con el mando POWER.
- b) Conectar la señal procedente de un generador (ver Apéndice "GENERADOR DE SEÑAL") al canal 1 (CH I). Situar los mandos de control del disparo en modo automático e interno (ver A.1.3). Ajustar los mandos de control del canal de entrada (A.1.4) y los mandos de control del eje horizontal (A.1.2) hasta conseguir una imagen estable que incluya unos pocos períodos de la señal.
- b) Una vez obtenida una imagen estable en la pantalla del osciloscopio, estudiar uno por uno los mandos del osciloscopio y del generador de señal siguiendo los apéndices A y B.
- c) Recordar que para hacer medidas de tensión en el eje vertical o de tiempos en el eje horizontal, los botones centrales de los conmutadores de dichas escalas deben situarse en la posición de calibrado (ver indicaciones en el apéndice A.1.2 y A.1.4).
- d) Para visualizar la tensión de barrido interno del osciloscopio, desconectar las señales de los canales 1 y 2, y variar el tiempo de barrido (mando de control del eje horizontal: TIME/DIV) en un tiempo muy largo (1 ó 2 segundos). Observaremos que aparece un punto en la pantalla que recorre la pantalla horizontalmente. Comprobar que el tiempo que tarda en recorrer cada cuadro (grande) es el tiempo de barrido fijado con el mando de control.

Dejando los mandos del generador de señal fijos en una posición cualquiera, mediremos la amplitud y frecuencia de la señal que esté proporcionando:

- a) Medida de tensiones: amplitud de una señal armónica.

Contando el número de divisiones verticales (cuadros grandes) que abarque en la pantalla la señal desde su máximo hasta su mínimo, y multiplicando por la escala que indique el mando volts/div. , obtendremos lo que se llama la ddp de pico a pico, que es 2 veces la amplitud de la señal armónica. Es decir, para una señal de la forma:  $v(t)=v_0\text{sen}(\omega t+\phi)$ , la tensión de pico a pico vale  $2v_0$ . El valor eficaz de dicha tensión (que es lo que mediríamos con un voltímetro de corriente alterna) se calcularía dividiendo por la raíz cuadrada de dos:  $V_{\text{eficaz}}= v_0/\sqrt{2}$ . Para realizar esta medida debemos recordar que la señal se puede desplazar en la pantalla tanto en el eje horizontal como en el vertical.

- b) Medida de tiempos: período y frecuencia de una señal armónica.

Contando el número de divisiones horizontales (cuadros grandes) correspondientes a una longitud de onda de la señal (distancia entre dos máximos consecutivos o dos mínimos consecutivos), y multiplicándolo por la escala que indique el mando TIME/DIV, obtendremos el período de la señal (T). La frecuencia será simplemente su inverso y deberá coincidir (dentro del margen de incertidumbre correspondiente)

con la indicada en los mandos del generador ( $f=1/T$ ). Para realizar esta medida debemos recordar que la señal se puede desplazar en la pantalla tanto en el eje horizontal como en el vertical.

### 3. MEDIDA DE FRECUENCIAS POR EL METODO DE LAS CURVAS DE LISSAJOUS

Este apartado es una aplicación de la configuración XY del osciloscopio: representación de una tensión Y en función de otra X.

Las **curvas de Lissajous** son las trayectorias que sigue un punto en el plano XY al componer dos movimientos armónicos simples perpendiculares. Estas curvas tienen formas características y simples cuando la relación entre las frecuencias de los movimientos armónicos es una fracción sencilla. Esta propiedad puede utilizarse para medir frecuencias y en particular para determinar las frecuencias múltiplo y submúltiplo de otra frecuencia dada como referencia.

En nuestro caso utilizaremos las curvas de Lissajous para determinar la frecuencia de un oscilador de frecuencia fija. Para obtener una curva de Lissajous en la pantalla del osciloscopio procederemos como sigue:

- Pasaremos a la configuración X-Y, pulsando el conmutador correspondiente.
- Conectaremos la señal del oscilador de frecuencia fija al canal de entrada 1 (eje Y) que tomaremos como frecuencia de referencia  $f_1$ . En caso de tener una fuente de alimentación con dos salidas (DC y AC), deberá utilizarse la salida AC.
- Conectaremos la señal del generador de frecuencia variable al canal de entrada 2 (eje X). Ajustar los mandos de ambos canales para obtener una figura de tamaño razonable en la pantalla, que inicialmente puede tener la apariencia de un simple borrón rectangular.
- Variando la frecuencia  $f_2$  del generador (eje X) buscaremos crear las curvas más sencillas posibles: una elipse, un "ocho", etc. (encontrar al menos 6 curvas).

Dada la imposibilidad práctica de ajustar exactamente la frecuencia del generador, las curvas de Lissajous suelen presentar una deriva continua, prueba de la sensibilidad del método. Debemos conformarnos con tomar mentalmente una fotografía instantánea de las curvas más sencillas. Para una figura de Lissajous cualquiera, la relación entre las frecuencias de los dos movimientos armónicos que la componen puede obtenerse mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{f_2}{f_1} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de cortes de la curva con el eje Y}}{\text{N}^\circ \text{ de cortes de la curva con el eje X}} = q$$

Anotar los diagramas de las figuras más sencillas que se obtengan y los valores de q correspondientes (la frecuencia  $f_2$  es la frecuencia que marca el mando del generador de tensión):

Diagrama	q	f <sub>2</sub> medida	f <sub>1</sub> calculada

Si representamos posteriormente  $f_2$  en función de  $q$ , podremos obtener  $f_1$  como la pendiente de la recta de ajuste de los puntos experimentales, ya que  $f_2 = q f_1$ .

#### 4. MEDIDAS DE CORRIENTE ALTERNA CON POLÍMETRO Y OSCILOSCOPIO

1) En primer lugar, fijaremos la frecuencia del generador de funciones a un valor  $f = 1$  kHz. Mediremos la tensión que suministra,  $|\varepsilon|$  (con el mando de amplitud al máximo). Haced la medida de dicha tensión utilizando el polímetro y el osciloscopio, comparando los valores medidos con ambos aparatos. Tened en cuenta que para la medida con osciloscopio debe utilizarse un cable coaxial. Para comparar las medidas con ambos aparatos hay que recordar que el polímetro mide el valor eficaz, mientras que con el osciloscopio se mide la amplitud.

2) Medida del coeficiente de autoinducción  $L$  de la bobina

Medida con polímetro:

2a) Medir con el polímetro el valor de  $R$  y el de la resistencia de la bobina  $R_B$ .

2b) Montar el circuito de corriente alterna de la figura 6, **conectando correctamente el borne de tierra.**

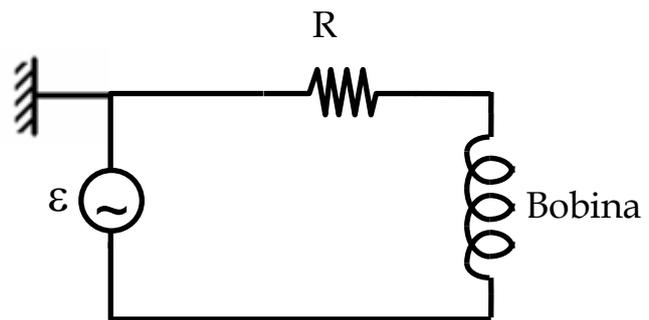


Figura 6

2c) Medir la ddp en los bornes de  $R$  ( $|V_R|$ ). Observemos que en régimen de corriente alterna el voltímetro mide el módulo de la tensión correspondiente.

2d) Medir la ddp en los bornes de la bobina  $|V_B|$ . Observemos que en régimen de corriente alterna el voltímetro mide el módulo de la tensión correspondiente.

Aunque los valores que se miden con el polímetro (en AC) son eficaces, no es necesario convertir a valores de amplitud para hacer los cálculos posteriores, dado que eso no cambia el valor de las impedancias (los valores de corriente que se obtienen son también eficaces).

La medida de  $|V_R|$  permite calcular  $|I|$  teniendo en cuenta el valor de  $R$  (el cual se ha medido en el apartado anterior) de una forma sencilla:  $|I| = |V_R| / R$ . Teniendo en cuenta que la impedancia compleja de la bobina es  $Z_B = R_B + jL\omega$ , la medida de  $|V_B|$  permite calcular el módulo de la impedancia compleja de la bobina  $|Z_B|$ , de la forma  $|Z_B| = |V_B| / |I|$ . Con este valor, podremos despejar fácilmente el valor de  $L$  teniendo en cuenta que  $|Z_B| = (R_B^2 + (L\omega)^2)^{1/2}$  ( $R_B$  la hemos medido anteriormente, y la frecuencia angular  $\omega$  viene dada por  $\omega = 2\pi f$  rad/s).

Medida con osciloscopio:

2e) Medir la diferencia de fase entre  $\varepsilon$  y  $V_R$  en el circuito de la figura 6. La señal de  $\varepsilon$  la llevaremos al canal I y la de  $V_R$  al canal II. Es muy importante llevar cuidado con la conexión de los bornes correspondientes a las mallas de los cables

coaxiales, que deben situarse en un punto común, evitando así cortocircuitos. En este caso la única posibilidad es que ese punto común sea la **salida de la fuente marcada con el símbolo de tierra** (ver figura 6). Determinaremos la diferencia de fase  $\Phi$  entre las dos señales usando el método de la elipse y también midiendo el retardo temporal (ver apéndices C y D).

$V_R$  está en fase con la corriente  $I$  ( $V_R = IR$ ) y  $\varepsilon = I Z_T$ , siendo  $Z_T = R + R_B + jL\omega$  la impedancia total del circuito. Por lo tanto, la diferencia de fase entre  $\varepsilon$  y  $V_R$  es el argumento de  $Z_T$ , es decir,  $\text{tg}\Phi = L\omega / (R + R_B)$ . Con el valor medido de  $\Phi$  y los valores de  $R$ ,  $R_B$  y  $\omega$  conocidos, se puede despejar el valor de  $L$  y comparar con el obtenido a partir de las medidas con el polímetro.

### 3) Medida de la capacidad del condensador

Medida con polímetro:

3a) Montar el circuito de la figura 7, conectando correctamente el borne de tierra. Comprobar el valor de tensión de la fuente de alimentación (debe ser, dentro del margen de sensibilidad del aparato, el mismo medido en los apartados anteriores,  $|\varepsilon|$ ).

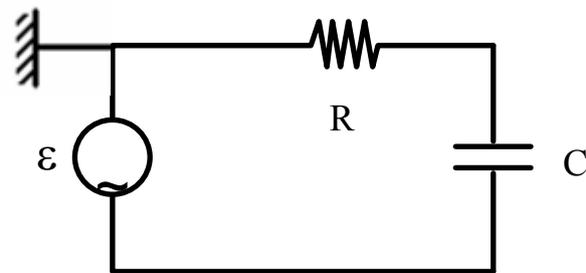


Figura 7

3b) Medir la ddp en los bornes de  $R$  ( $|V_R|$ ).

3c) Medir la ddp en los bornes del condensador  $|V_C|$ .

La medida de  $|V_R|$  nos permite calcular el módulo de la intensidad, teniendo en cuenta el valor de  $R$  ( $|I| = |V_R| / R$ ). La medida de  $|V_C|$  permite calcular el módulo de la impedancia compleja del condensador  $|Z_C|$ , ya que  $|Z_C| = |V_C| / |I|$ . Calcularemos por último  $C$  recordando que la impedancia del condensador es  $Z_C = 1 / (jC\omega)$ , por lo que  $|Z_C| = 1 / (C\omega)$ .

Medida con osciloscopio:

3d) Mediremos la diferencia de fase  $\Phi$  entre  $\varepsilon$  (canal 1) y  $V_R$  (canal 2), usando como punto común para las mallas el indicado en la figura 8, **que coincidirá con el borne de la salida de tensión alterna marcado con el símbolo de tierra**. Utilizad el método de la elipse y el del retardo temporal.

Como  $V_R$  está en fase con  $I$ , e  $I = \varepsilon / Z_T$ , con  $Z_T = R + (1/jC\omega)$ , la diferencia de fase  $\Phi$  es el argumento de  $Z_T$ , por lo tanto,  $\text{tg}\Phi = -1/RC\omega$ . Con el valor medido de  $\Phi$  (en realidad se mide  $|\Phi|$ ) y los valores de  $R$  y  $\omega$  conocidos, se puede despejar el valor de  $C$  y comparar con el obtenido a partir de las medidas con el polímetro.

Las medidas del resto de la práctica las haremos únicamente con el polímetro.

4) Comprobación de la suma vectorial de las tensiones en un circuito serie:

4a) Montar el circuito de la figura 8.

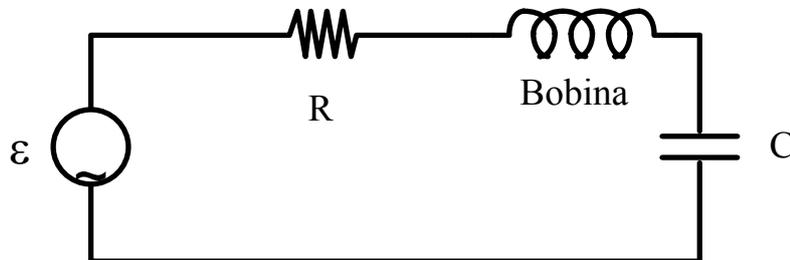


Figura 8

4b) Medir  $|V_R|$ ,  $|V_B|$  y  $|V_C|$  y la ddp en los bornes del generador,  $|\varepsilon|$ .

4c) Comprobar que la suma de  $|V_R|$ ,  $|V_B|$  y  $|V_C|$  no es igual a  $|\varepsilon|$ .

4d) Calcular los argumentos o desfases de  $V_R$ ,  $V_B$  y  $V_C$  respecto a  $I$ , a partir de los valores calculados de  $R_B$ ,  $L$  y  $C$  en los apartados anteriores. Para ello escoger el origen de fases en la intensidad, es decir,  $I = |I| e^{j0}$ . Por lo tanto:

$$V_R = |V_R|, V_B = |V_B| e^{j\phi} \text{ con } \phi = \arctg((L\omega)/R_B), V_C = |V_C| e^{-j\pi/2}$$

Calcular la suma de números complejos  $V_R + V_B + V_C$ . Verificar que se cumple la relación:  $\varepsilon = V_R + V_B + V_C$ , comparando  $|V_R + V_B + V_C|$  con  $|\varepsilon|$ .

## 5. CUESTIONES

Realizar los cálculos y comprobaciones indicados a lo largo del guión.

## APÉNDICE A: EL OSCILOSCOPIO. CONFIGURACIONES Y CONTROLES BÁSICOS

El osciloscopio es esencialmente un tubo de rayos catódicos en el que se genera un haz de electrones que produce un punto luminoso al chocar contra una pantalla recubierta interiormente de material fluorescente (ver figura 9). Durante el recorrido, los electrones pasan entre unas placas metálicas  $P_1$  situadas en posición horizontal y otras  $P_2$  situadas en posición vertical. Aplicando una diferencia de potencial (ddp) a las placas  $P_1$  y  $P_2$  se consigue controlar la posición del haz de electrones en la pantalla.

Si la ddp aplicada a un par de placas es variable con el tiempo, el haz de electrones seguirá esta variación. Por ejemplo, aplicando a  $P_1$  una tensión sinusoidal, el punto luminoso describirá en la pantalla un movimiento armónico simple en dirección vertical. Si ahora aplicamos a  $P_2$  una tensión creciente linealmente con el tiempo, el punto luminoso se verá obligado a recorrer la pantalla en dirección horizontal con velocidad constante. La composición de estos dos movimientos hace que el punto luminoso dibuje en la pantalla la tensión aplicada inicialmente a las placas  $P_1$  en función del tiempo. El osciloscopio consigue generar una gráfica estable en la pantalla a base de superponer rápidamente la misma imagen.

La tensión creciente linealmente con el tiempo aplicada a las placas  $P_2$  se llama **tensión de barrido interno del osciloscopio**, por ser una tensión generada dentro del osciloscopio y que obliga al punto luminoso a barrer horizontalmente la pantalla.

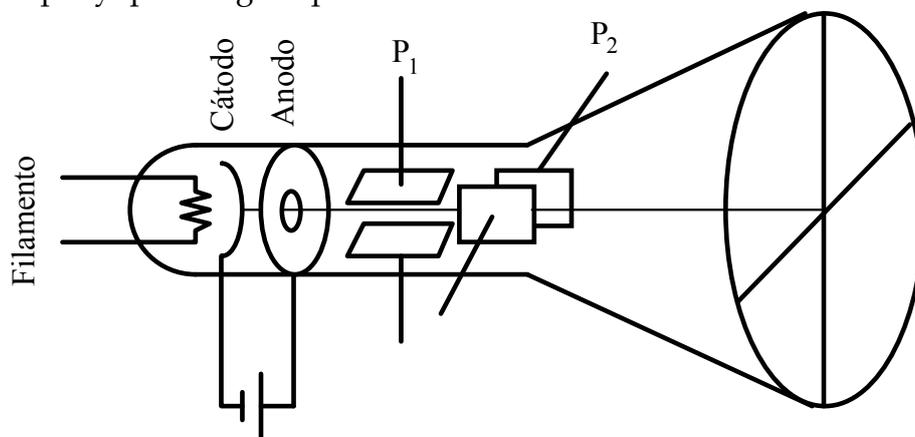


Figura 9

A continuación se resumen los controles básicos del osciloscopio en las dos configuraciones usuales.

## A.1. CONFIGURACIÓN N° 1: REPRESENTACION DE UNA DDP EN FUNCIÓN DEL TIEMPO

### A.1.1 Control del haz de electrones:

- POWER = conecta el osciloscopio.
- INTENSITY = controla el brillo de la imagen de la pantalla.
- FOCUS = enfoca la imagen haciéndola nítida.

### A.1.2 Control del eje horizontal:

- TIME/DIV = fija la escala del eje horizontal (tiempo/división grande) mediante la selección de la frecuencia de barrido interno. El botón central del conmutador permite un ajuste continuo de la escala del eje X, y sólo en su posición de calibrado (completamente girado a la izquierda o a la derecha, dependiendo del modelo, a veces está indicado al lado del mismo conmutador) la escala de la pantalla es la indicada en el selector TIME/DIV.
- X-POS. = controla la posición del eje horizontal, sirviendo para centrar la imagen.
- X- MAG. = permite ampliar la escala horizontal en un factor 10.

### A.1.3 Control del disparo del barrido interno (TRIGGER):

- AT/NORM. = En la posición AT (sin pulsar) realiza el control de disparo de barrido en modo automático, mientras que en la posición NORM. (pulsado) permite controlar el nivel de trigger manualmente.
- LEVEL = fija el valor de la tensión de entrada con el que se inicia (o se dispara) el trazado de la misma en la pantalla. Con ello se consigue que trazados sucesivos se superpongan al iniciarse siempre en el mismo punto, dando así una imagen inmóvil en la pantalla. La imagen resulta inestable cuando este mando está desajustado. Este mando sólo actúa en modo NORM.
- +/- = determina el que el inicio del trazado de la curva se realice con pendiente positiva o negativa respectivamente.
- EXT = Sin pulsar conecta el disparo del barrido interno, y pulsado permite la sincronización del barrido con una señal exterior, que deberá conectarse en la entrada TRIG. INP.

### A.1.4 Control de los canales de entrada (eje vertical):

El osciloscopio de esta práctica tiene dos canales de entrada (CH I y CH II), lo que significa que pueden representarse simultáneamente dos tensiones distintas en función del tiempo. Cada uno dispone de un conector para cable coaxial tipo BNC, señalado con la palabra VERT. INP., que se utiliza

para conectar la tensión que se desee representar gráficamente en la pantalla. Es **MUY IMPORTANTE** observar que uno de los bornes de cada una de las entradas es tierra (conectada a la malla exterior del cable coaxial), y que por tanto dicho borne sólo puede conectarse a la tierra de los circuitos en los que se miden tensiones. Cada canal de entrada se controla esencialmente con tres mandos:

- Y-POS.= controla la posición del origen del eje vertical, desplazando la imagen verticalmente.
- VOLTS/DIV = fija la escala del eje vertical en voltios por división grande. El botón central del conmutador permite un ajuste continuo de la escala del eje Y, y sólo en su posición de calibrado (completamente girado a la izquierda o a la derecha, dependiendo del modelo. La posición de calibrado viene indicada en el panel frontal del aparato) la escala de la pantalla es la indicada en el selector.
- AC-GD-DC = conmutador de tres posiciones: filtra la señal de entrada quitando la componente de corriente continua (AC), es decir, representa la señal variable con el tiempo eliminando cualquier componente de continua; conecta el canal a tierra con independencia de la tensión que esté aplicada al borne de entrada (GD), por lo que en la pantalla aparece una recta horizontal (barrido) que podremos desplazar hacia arriba o hacia abajo, fijando así el origen de potenciales; no filtra la señal de entrada (DC), incluyendo también la componente de corriente continua que ésta pueda tener.

El conmutador CHI/II permite seleccionar qué canal se representa en la pantalla, mientras que el conmutador DUAL permite representar ambos canales simultáneamente. ADD representa la suma de las señales de los dos canales.

## A.2. CONFIGURACION N°2: REPRESENTACION DE UNA DDP (CH I) EN FUNCION DE OTRA DDP (CH II)

El conmutador X-Y desconecta el barrido interno, y conecta el eje horizontal al canal de entrada CH II. Con ello los mandos de este canal pasan a controlar el eje X (salvo la posición horizontal, que se controla con el mando X-POS., ver A.1.2) y la pantalla se convierte en el plano XY: eje Y= canal CH I y eje X= canal CH II (siempre que el conmutador CHI/II esté sin apretar. En caso de que esté apretado los ejes estarán invertidos).

## APÉNDICE B: GENERADOR DE SEÑAL

Un **generador de señal** es un aparato que proporciona una señal en función del tiempo cuya forma podemos controlar. Las formas más habituales son señales sinusoidales, cuadradas, triangulares, en diente de sierra, etc. Suele disponer de los siguientes mandos y conexiones:

**INTERRUPTOR DE CONEXIÓN:** pone en marcha el aparato, tiene dos posiciones ON (encendido) y OFF (apagado), y a veces está incorporado a otros mandos del aparato (ó está en la parte trasera).

**SELECTOR DE FUNCIÓN:** es un conmutador que selecciona el tipo de señal que el aparato genera. Típicamente las opciones son: señal sinusoidal, que es la más usual, señal cuadrada, señal triangular y señal en diente de sierra, pero no todos los generadores incorporan las mismas opciones.

**BORNES DE SALIDA:** son los bornes del generador entre los que aparece la ddp generada en el mismo. Uno de ellos es el borne de referencia y suele estar conectado a tierra. En ocasiones los bornes son un conector tipo BNC para cable coaxial, en cuyo caso el borne exterior es el de referencia (tierra). Algunos generadores, además del borne de salida habitual (generalmente con una impedancia de  $50\ \Omega$  ó  $600\ \Omega$ ), presentan una salida de referencia cuadrada (TTL) y una entrada (IMPUT) para amplificación. En esta práctica sólo se utilizará la salida de baja impedancia ( $50\ \Omega$ ).

**CONTROL DE LA AMPLITUD:** son los mandos que permiten variar la amplitud (voltios) de la señal generada. Suele disponerse de dos mandos: un conmutador que selecciona distintos intervalos y otro mando que permite una variación continua de la amplitud. En nuestro caso, sólo se dispone de éste segundo (AMPLITUDE).

**CONTROL DE LA FRECUENCIA:** son los mandos que permiten variar la frecuencia (Hz) de la señal generada. Suele disponerse de dos mandos: un conmutador que selecciona distintos intervalos o rangos de frecuencia, y otro mando que permite una variación continua de la frecuencia.

## APÉNDICE C: MEDIDA DE DESFASES CON EL OSCILOSCOPIO

Dadas dos señales sinusoidales:

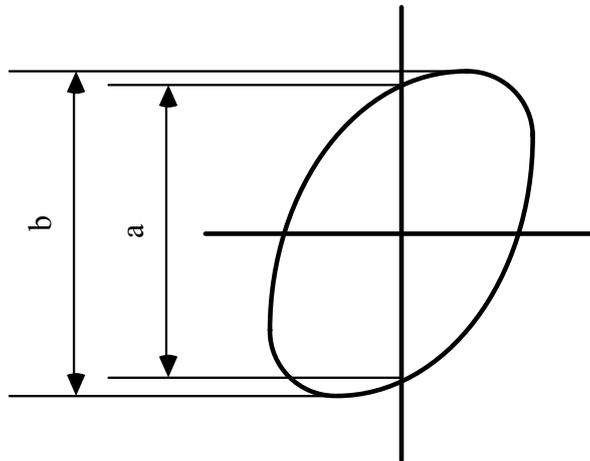
$$V_1 = V_{10} \text{ sen}(\omega t + \Phi_1)$$

$$V_2 = V_{20} \text{ sen}(\omega t + \Phi_2)$$

la medida del desfase entre ambas señales  $\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$  puede realizarse mediante la función XY de un osciloscopio. Previa conexión de  $V_1$  y  $V_2$  a los bornes de entrada de los canales A y B, la función XY configura el osciloscopio de tal modo que en la pantalla se obtiene la gráfica  $V_1$  en función de  $V_2$ .

La gráfica  $V_1$  en función de  $V_2$  es una elipse, a partir de la cual puede medirse el módulo del desfase  $|\Phi|$  mediante la relación:

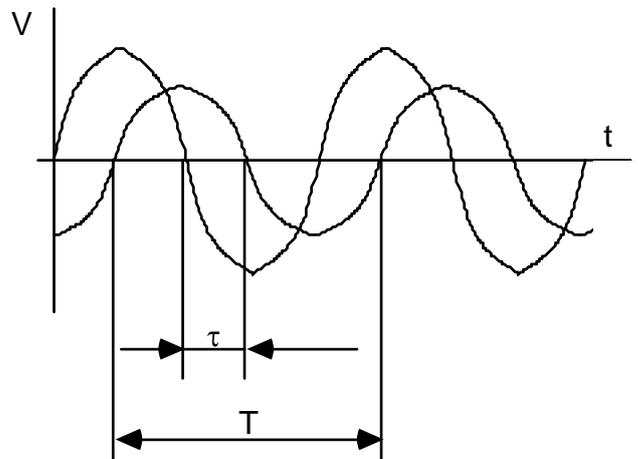
$$\text{sen } |\Phi| = \frac{a}{b}$$



El valor de  $b$  se puede medir desplazando la posición horizontal (X-POS.) para poder ver mejor las tangentes con el eje vertical. Sin embargo, observar que para medir el valor de "a", la elipse debe estar bien centrada ya que dicho valor queda determinado por los cortes con el eje vertical. Para centrar perfectamente la elipse podemos usar el conmutador AC-GD-DC. Pondremos el conmutador en posición GD en los dos canales. Esto equivale a desconectar las dos señales, con lo que observaremos un punto en la pantalla. Este punto lo centraremos con los mandos que nos permiten desplazar la señal de la pantalla (X-POS. para el eje horizontal, e Y-POS. para el eje vertical). A continuación volveremos a la posición inicial con lo que tendremos la elipse centrada. El cociente  $a/b$  determina el módulo de  $\Phi$ , y su signo debe deducirse o bien por consideraciones físicas o bien por otras medidas distintas.

## APÉNDICE D: MEDIDA DEL RETARDO TEMPORAL

La medida del retardo  $\tau$  entre dos sinusoides, tal como indica la figura



permite determinar el desfase entre dos señales sinusoidales:

$$V_1 = V_{10} \text{ sen}(\omega t + \Phi_1)$$

$$V_2 = V_{20} \text{ sen}(\omega t + \Phi_2)$$

El desfase entre ambas señales  $\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$  viene dado por  $\Phi = (2\pi\tau)/T$  (salvo un múltiplo de  $2\pi$ ), es decir, si medimos  $\tau$  y  $T$  podremos calcular fácilmente el desfase  $\Phi$ .

## PRÁCTICA N°3: CIRCUITOS RESONANTES

Objetivos: utilización del osciloscopio para estudiar las características de dos circuitos resonantes (uno en serie y otro en paralelo).

Material: osciloscopio, polímetro, generador de baja frecuencia y componentes RLC.

### 1. CARACTERÍSTICAS DE UN CIRCUITO RLC SERIE

Al mencionar las características de un circuito resonante, como por ejemplo un circuito RLC serie, normalmente uno se refiere a la dependencia con la frecuencia de la corriente y a las diferencias de potencial en sus componentes.

En el caso de un circuito RLC serie, como el indicado en la figura 1, lo más usual es estudiar la dependencia de la corriente  $I$  con la frecuencia angular del generador  $\omega$ . Esta corriente vendrá dada por la expresión:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + j(L\omega - \frac{1}{C\omega})} \quad (1)$$

Cuya amplitud  $|I|$  y fase  $\Phi$  vendrán dadas por (ver figura 2):

$$|I| = \frac{|\varepsilon|}{\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}} \quad (2)$$

$$\text{tg } \Phi = -\frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R} \quad (3)$$

donde hemos tomado el origen de fases en la fuerza electromotriz del generador, es decir,  $\varepsilon = |\varepsilon|e^{j0}$ .

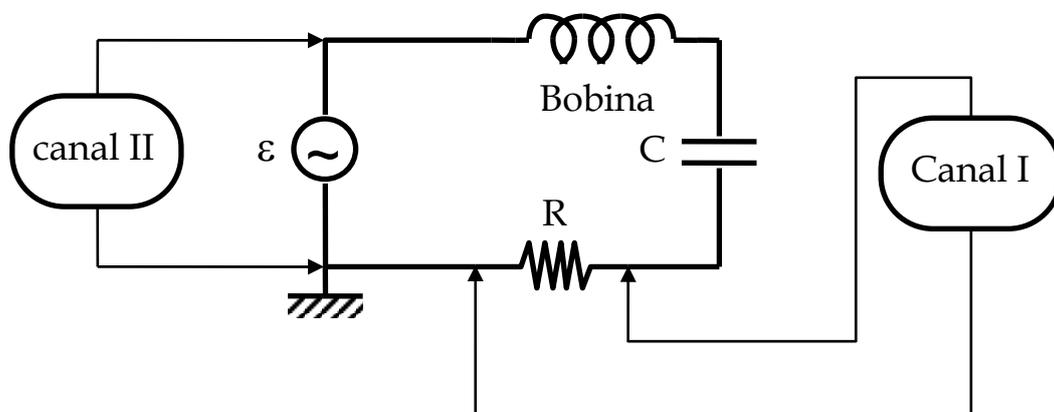


Figura 1. Circuito resonante serie RLC

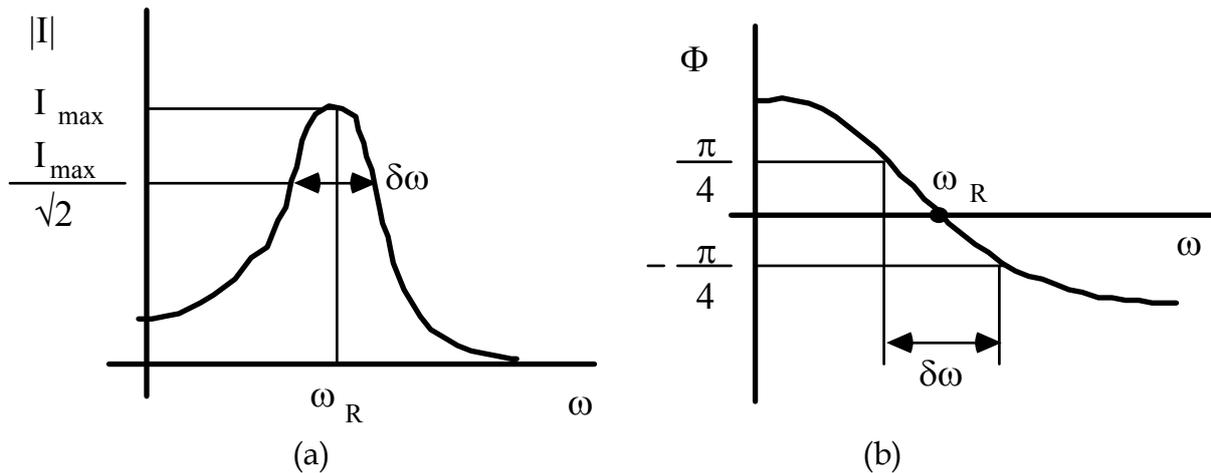


Figura 2. Características de un circuito resonante serie RLC: (a) Módulo de la corriente, (b) Fase de la corriente.

Se define la **frecuencia de resonancia**  $\omega_R$  como aquella frecuencia para la cual el desfase sea cero, por lo que en nuestro caso (ver figura 2b):

$$\omega_R = \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad (4)$$

Observemos que cuando  $\omega = \omega_R$ ,  $|I|$  tendrá su valor máximo, tal y como la figura 2a representa de forma esquemática. Una característica que se busca en los circuitos resonantes es que ese máximo de corriente sea lo más agudo posible, lo que permite desarrollar ciertas aplicaciones prácticas de los circuitos RLC, como por ejemplo filtros de frecuencia. Para medir esa característica se define el **factor de calidad**  $Q$  como  $2\pi$  por el cociente entre la energía almacenada y la energía disipada en un ciclo. Esta definición es aplicable a todo tipo de sistema resonante, ya sea mecánico, electromagnético, etc. En el caso de un circuito RLC serie, otra definición de  $Q$  equivalente y de interpretación más directa es:

$$Q = \frac{\omega_R}{\delta\omega} \quad (5)$$

donde  $\delta\omega$  es la anchura del pico de resonancia medida, o bien en la gráfica de  $|I|$  en función de  $\omega$  (figura 2a) en los puntos en los que la corriente se atenúa un factor  $\sqrt{2}$  respecto a su valor máximo, o bien medida en la gráfica de  $\Phi$  en función de  $\omega$  (figura 2b) en los puntos en los que  $|\Phi|$  toma el valor  $\pi/4$ .

El valor de  $Q$  en función de los componentes RLC de acuerdo con las definiciones anteriores viene dado por:

$$Q = \frac{\omega_R L}{R} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (6)$$

Otro circuito resonante muy empleado es el circuito RLC paralelo, que en cierto modo tiene propiedades complementarias respecto del RLC serie. La figura 3 es el esquema del circuito que vamos a estudiar, cuyas ecuaciones teóricas pueden deducirse análogamente a las deducidas anteriormente para el circuito serie. Sin embargo, a diferencia del caso anterior, hay que considerar la resistencia de la bobina  $R_B$ . Si no la consideramos, el factor de calidad de la resonancia sería  $\infty$ , ya que no se disiparía energía en el circuito (la impedancia del paralelo bobina-condensador,  $Z_{BC}$  sería  $\infty$  en la resonancia, y por tanto no pasaría corriente por R). El cálculo exacto es bastante complicado, pero podemos obtener relaciones sencillas, si tenemos en cuenta las aproximaciones:  $R_B \ll L\omega$  y cerca de la resonancia  $Z_{BC} \gg R$ . Con estas consideraciones se puede obtener:

$$|I| = |\varepsilon| \frac{C}{L} \sqrt{R_B^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2} \quad (7)$$

$$\text{tg}\Phi = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R_B} \quad (8)$$

En este caso el factor de calidad viene dado por:

$$Q = \frac{\omega_R}{\delta\omega} = \frac{1}{R_B} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (9)$$

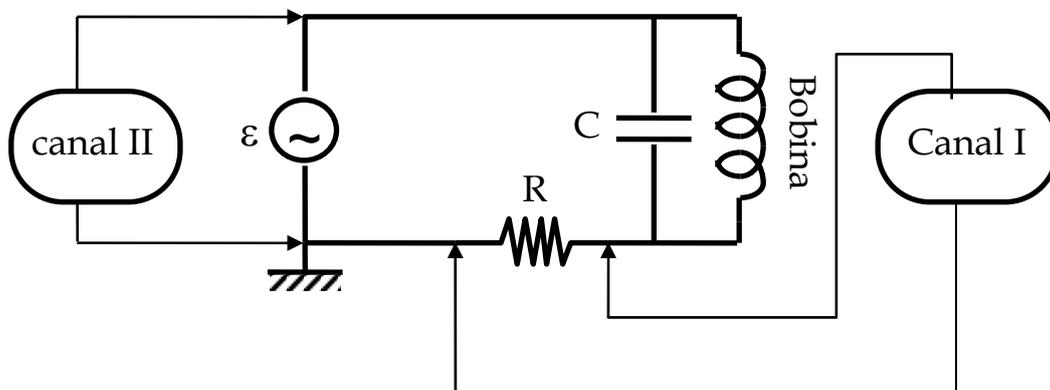


Figura 3. Circuito resonante paralelo

## 2. CARACTERÍSTICAS DEL CIRCUITO RESONANTE SERIE RLC

### 2.1. MEDIDA DE $|I|$ EN FUNCIÓN DE $\omega$

Montar el circuito de la figura 1 y conectar los canales del osciloscopio tal y como se indica. Recordar que la malla exterior de los cables coaxiales debe conectarse siempre a un punto común, tierra o masa, que debe coincidir con la masa del generador de señal; es decir, **todas las mallas externas** de los cables coaxiales deben estar conectadas a un único punto común (Consultar al profesor si tenéis dudas en la forma de realizar la conexión). Observar que la corriente  $|I|$  se calcula dividiendo la

amplitud medida en el canal A (ó I) entre la resistencia R ( $|I| = |V_R|/R$ ). En el eje de abscisas podemos representar  $f$  en lugar de  $\omega$  por comodidad, ya que son proporcionales ( $\omega=2\pi f$ ).

Fijar la amplitud de la señal del generador en un valor dado (canal B ó II del osciloscopio) y **ANOTAD** dicho valor ( $|\varepsilon|$ ). Hacer un primer barrido de frecuencia y observar de forma aproximada el rango en el que se mueve la señal del canal A (ó I) así como el valor aproximado de la frecuencia correspondiente al máximo, o sea  $f_R$  ( $f_R = \omega_R/(2\pi)$ ). Al realizar este barrido debemos observar cualitativamente el comportamiento de la figura 2a (si no lo observamos, consultar con el profesor).

Medir seguidamente con detalle (por ejemplo con pasos de 1 ó 2 kHz fuera de la resonancia, y más pequeños en torno a la resonancia)  $|V_R|$  en función de la frecuencia  $f$  (en el rango entre 2 kHz y 50 kHz), construyendo la tabla:

$f(\text{kHz})$	$ V_R (\text{voltios})$

Conviene incluir en la tabla anterior el valor de  $|V_R|$  justo a la frecuencia de resonancia (valor máximo, en el caso del circuito serie RLC).

Para esta secuencia de medidas **no podemos** cambiar la amplitud del generador de señal ( $|\varepsilon|$ ), puesto que modificaríamos la estructura general de la curva (ver ecuación 2). Conviene tener presente que si por un descuido la modificamos, deberemos repetir toda la secuencia de medidas.

## 2.2. MEDIDA DE $\Phi$ EN FUNCIÓN DE $\omega$

Con el mismo montaje del apartado anterior, mediremos  $\Phi$  en función de  $\omega$  (ó por mayor comodidad  $f$ ) utilizando la configuración XY del osciloscopio (pulsando el conmutador XY que está al lado del mando TIME/DIV) y de acuerdo con las explicaciones del apéndice "Medida de desfases con el osciloscopio". Hacer un primer barrido de frecuencia y observar de forma aproximada cómo se deforma la elipse generada en el osciloscopio. Se observará que la frecuencia de resonancia  $\omega_R$  corresponde al caso de una elipse degenerada en una recta, pues en tal caso  $\Phi=0$ .

Medir seguidamente con detalle  $\Phi$  en función de  $f$ , construyendo la tabla:

$f$	$b$	$a$	$\Phi$

Observar que el signo de  $\Phi$  hemos de dárselo nosotros ya que el método de medida sólo nos proporciona  $|\Phi|$ . La figura 2b nos sirve de orientación para darle el signo adecuado a  $\Phi$ .

### 3. CARACTERIZACIÓN DEL CIRCUITO RESONANTE PARALELO RLC

Montar el circuito de la figura 3. Repetir las medidas de los apartados 2.1 y 2.2 para el circuito paralelo. La frecuencia de resonancia sigue siendo el valor de  $\omega$  que hace que el desfase sea cero, y por lo tanto, sigue cumpliéndose (4). Sin embargo, observar que el comportamiento de dicho circuito es diferente al del apartado 2, tal y como se puede deducir a partir de las expresiones (7) y (8). En la determinación del desfase  $\Phi$  hay que considerar el signo a partir del análisis de (8). Para analizar los resultados conviene medir el valor de  $R_B$  con un polímetro (desconectando previamente la bobina del circuito).

### 4. CUESTIONES

En el circuito serie hay que considerar que el generador y la bobina tienen resistencia interna que puede no ser despreciable frente a  $R$  (sobre todo la del generador,  $r$ ). En realidad, en el circuito serie podemos tener en cuenta todas las resistencias de manera muy simple, basta con cambiar  $R$  por  $R+R_B+r$  en las expresiones (2),(3) y (6). En el circuito paralelo habría que hacer el tratamiento exacto para tener en cuenta todas las resistencias del circuito. El valor de  $R$  se puede deducir del código de colores,  $R_B$  se puede medir con un polímetro y  $r$  está indicado en el generador.

- a) Representar gráficamente  $|I|$  en función de  $f$  para el circuito serie. Deducir de dicha gráfica el valor de  $f_R$  y luego el de  $L$ , tomando en cuenta el valor conocido de  $C = 47 \text{ nF}$  (ecuación 4). Medir así mismo  $\delta f$  en la gráfica y evaluar el factor de calidad  $Q$  con las ecuaciones (5) y (6). Representar sobre la gráfica experimental la curva teórica (ecuación 2), comentando el acuerdo entre ambas.
- c) Representar gráficamente  $\Phi$  en función de  $f$  para el circuito serie. Deducir de la gráfica  $f_R$ ,  $\delta f$  y  $Q$ . Comparar el valor de  $Q$  obtenido con el del apartado a) y comentar los resultados.
- e) Representar gráficamente  $|I|$  en función de  $f$  para el circuito paralelo. Deducir de dicha gráfica el valor de  $f_R$  y luego el de  $L$ , tomando en cuenta el valor conocido de  $C = 47 \text{ nF}$  (ecuación 4). Comparar los resultados con los del apartado a). Explicar porqué el comportamiento es distinto al del circuito RLC serie. Ayuda: tened en cuenta el distinto comportamiento de la impedancia de bobina y condensador ( $Z_{BC}$ ) en función de la frecuencia, en ambos circuitos.

## APÉNDICE: MEDIDA DE DESFASES CON EL OSCILOSCOPIO

Dadas dos señales sinusoidales:

$$V_1 = V_{10} \text{ sen}(\omega t + \Phi_1)$$

$$V_2 = V_{20} \text{ sen}(\omega t + \Phi_2)$$

la medida del desfase entre ambas señales  $\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$  puede realizarse mediante la función XY de un osciloscopio. Previa conexión de  $V_1$  y  $V_2$  a los bornes de entrada de los canales A y B, la función XY configura el osciloscopio de tal modo que en la pantalla se obtiene la gráfica  $V_1$  en función de  $V_2$ .

La gráfica  $V_1$  en función de  $V_2$  es una elipse, a partir de la cual puede medirse el desfase  $\Phi$  mediante la relación:

$$\text{sen} |\Phi| = \frac{a}{b}$$

El valor de  $b$  se puede medir desplazando la posición horizontal (X-POS.) para poder ver mejor las tangentes con el eje vertical. Sin

embargo, observar que para medir el valor de "a", la elipse debe estar bien centrada ya que dicho valor queda determinado por los cortes con el eje vertical. Para centrar perfectamente la elipse podemos usar el conmutador GD. Si pulsamos dicho conmutador para los dos canales, equivale a desconectar las dos señales, con lo que observaremos un punto en la pantalla. Este punto lo centraremos con los mandos que nos permiten desplazar la señal de la pantalla (X-POS. para el eje horizontal, e Y-POS. ó POSITION para el eje vertical). A continuación volveremos a la posición inicial con lo que tendremos la elipse centrada. El cociente  $a/b$  determina el módulo de  $\Phi$ , y su signo debe deducirse o bien por consideraciones físicas o bien por otras medidas distintas.

