

## Osciloscopio

Objetivos:

- . Comprender el principio de funcionamiento de un osciloscopio analógico.
- . Aprender a manejar los controles básicos de un osciloscopio.
- . Observar distintas tensiones alternas y medir su amplitud, frecuencia y fase.

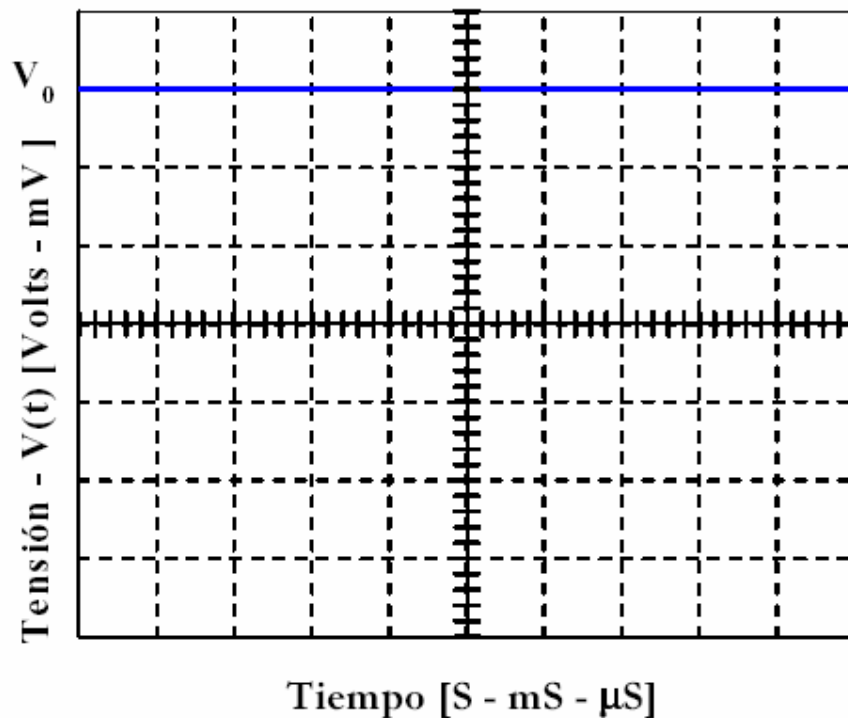
### Introducción:

En cursos anteriores usted trabajó con tensión continua, es decir una tensión que se mantiene constante en el tiempo. Para medir dichas tensiones se utilizó un tester que medía tensión continua (el tester simplemente le indicaba un número, por ejemplo 3 Volts - Ver *Figura 1a*). En este curso comenzaremos a trabajar con tensiones alternas, es decir tensiones que varían en el tiempo, por lo que sería de gran utilidad "ver" esas tensiones.

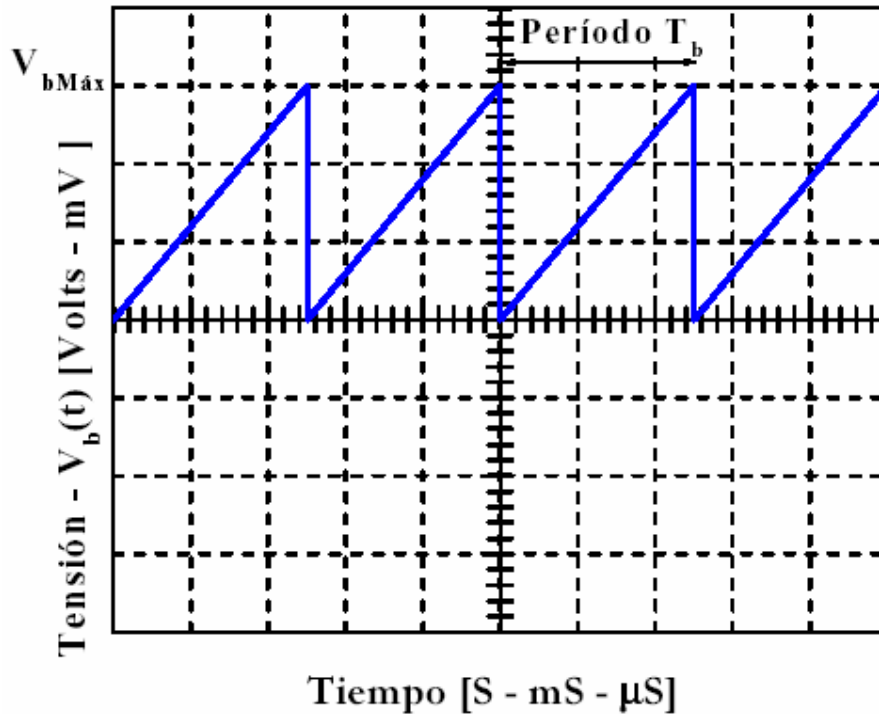
El instrumento que usaremos para ver una tensión en función del tiempo es el *osciloscopio*, este instrumento nos muestra en una pantalla fluorescente la variación de una determinada señal (tensión) en función del tiempo.

Todo fenómeno dependiente del tiempo, como una corriente eléctrica, una oscilación mecánica, los fenómenos cardíacos y cerebrales, que **puedan traducirse** en una variación de tensión en función del tiempo, pueden ser observables en el osciloscopio. El osciloscopio permite la observación cuantitativa del fenómeno, para ello el instrumento viene calibrado en **tensión (eje vertical)** y en **tiempo (eje horizontal)**.

La parte esencial del osciloscopio es el *tubo de rayos catódicos (TRC)*, al cual describiremos brevemente.



**Figura 1a:** Así se vería una tensión continua de valor  $V_0$  en el osciloscopio. El eje x, representa el tiempo y se mide en S (Segundos), mS (milisegundos) o  $\mu$ S (microsegundos). El eje y está calibrado en Volts o miliVolts.



**Figura 1b:** Así se vería una tensión tipo *diente de sierra* en el osciloscopio. En este caso es una señal de período  $T_b$  y su amplitud es  $V_{bMáx}$ . Esta es la forma de onda que usa el osciloscopio para generar la *tensión de barrido*.

### Tubos de Rayos Catódicos

El TRC consta básicamente de un cañón electrónico, un sistema de placas deflectoras **horizontal (X)** y **vertical (Y)** y una pantalla fluorescente, todo colocado en el interior de un tubo en el que se ha hecho un vacío elevado. Ver **Figura 2**.

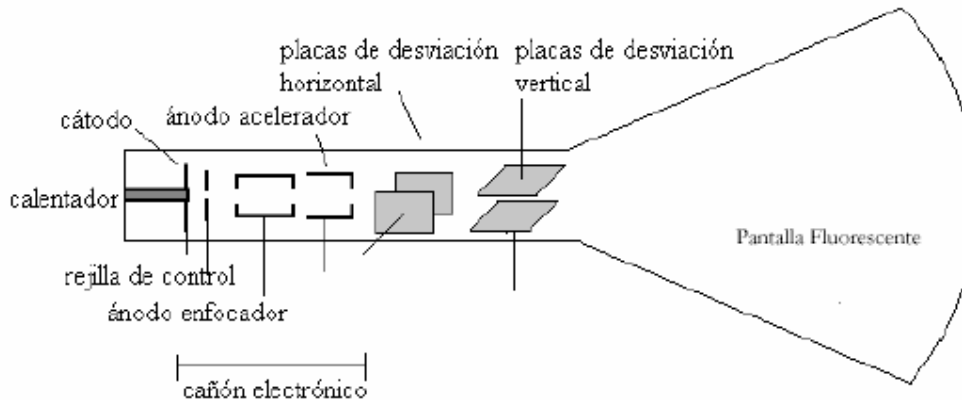
El cañón de electrones tiene por objeto producir un haz de electrones cuya intensidad puede variarse con continuidad dentro de un determinado intervalo y enfocarlo definitivamente sobre la pantalla.

Los electrones se obtienen por calentamiento de un cátodo emisor. Al salir de este los electrones pasan a través de una abertura practicada en una rejilla, que puesta a un potencial negativo variable, permite controlar el número de electrones que la atraviesan, luego, éstos son acelerados por un potencial positivo aplicado en un ánodo. El potenciómetro que realiza la variación del potencial negativo se denomina control de brillo (como en los TV).

El haz de electrones que sale es divergente, por lo que es necesario concentrarlo sobre la pantalla fluorescente, lo que se logra por medio de electrodos cilíndricos que forman un sistema de lentes electrostáticas.

La idea es obtener campos eléctricos que realicen la operación de hacer volver sobre el eje a los electrones desviados, lo que se logra con una conformación adecuada de los electrodos y una adecuada diferencia de potencial entre ellos, obtenida por medio de un potenciómetro que se denomina control de foco. **Para medir una señal con el osciloscopio, por ejemplo una tensión periódica tipo  $v=v(t)$ , esta debe aplicarse a las placas deflectoras verticales (Y)\* (ver el Apéndice), al hacer esto, el haz de electrones emitido por el cañón experimentará desplazamientos verticales proporcionales a la tensión  $v(t)$ , lo que se verá reflejado en la pantalla, como un punto luminoso que**

sube y baja a lo largo de un mismo segmento rectilíneo vertical de período  $T$ , igual al de la señal aplicada.



**Figura 2:** Esquema del tubo de rayos catódicos

A los efectos de obtener en la pantalla del osciloscopio la gráfica de  $v(t)$  versus  $t$  (tiempo), será necesario desplazar horizontalmente el haz uniformemente de izquierda a derecha, al mismo tiempo que experimenta el desplazamiento vertical debido a la tensión  $V$ . Este **desplazamiento horizontal o barrido** se logra **aplicando a las placas deflectoras horizontales (X) una tensión  $V_b$  de barrido** periódica (Ver Fig. 1b), que crece

linealmente con el tiempo y **sincronizada** con la frecuencia de  $v(t)$  tal que, cuando  $V_b$  tome su valor mínimo el haz se encuentre en el extremo izquierdo de la pantalla y luego a medida que  $V_b$  aumenta el haz se mueve hacia la derecha de la pantalla hasta que cuando  $V_b$  toma el valor máximo el haz alcanza el extremo derecho de la pantalla (para el caso en el que el período de la tensión  $V(t)$  sea el mismo que el período de la tensión de barrido

$V_b$ ). Como el proceso debe repetirse, es necesario que el haz vuelva al principio de la pantalla y comience nuevamente el ciclo de barrido. Ver **Figura 3**.

\* Más adelante se verá que la señal (tensión  $V(t)$ ) no se aplica directamente a las placas verticales. La señal pasa primero por un circuito atenuador/amplificador y luego va a las placas deflectoras verticales.

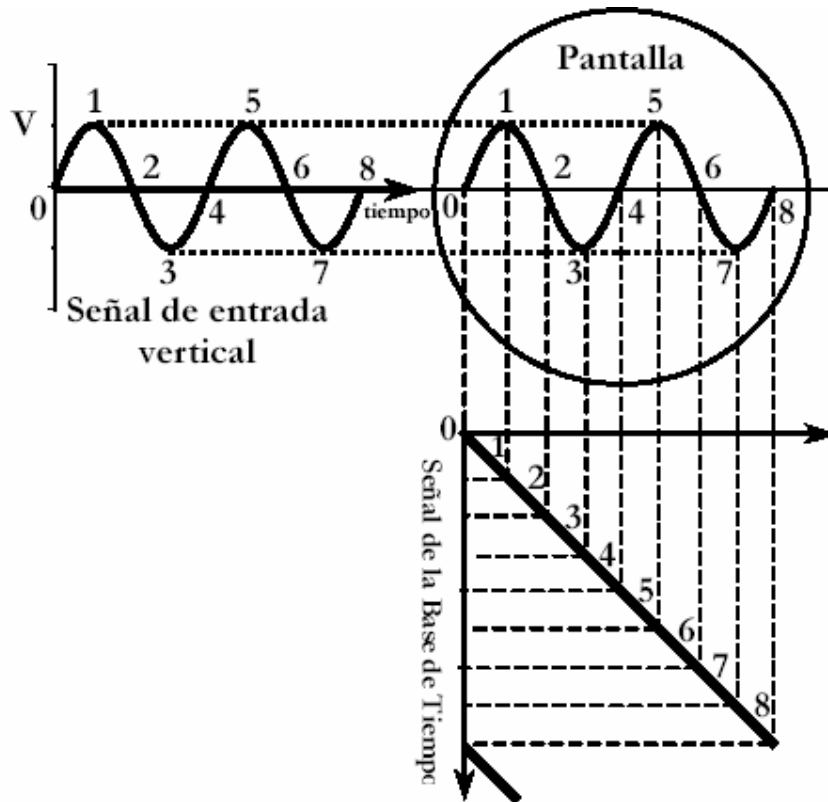
### Ajuste inicial de los controles

Luego de familiarizarse con el panel frontal del osciloscopio conéctelo a la toma de red y enciéndalo girando el interruptor de encendido, o pulsando el interruptor según corresponda (**Power**). Una vez hecho esto debería aparecer en la pantalla del osciloscopio un punto luminoso verde desplazándose de izquierda a derecha. El punto se mueve sólo horizontalmente ya que no hay ninguna señal externa aplicada, por lo que el haz emitido por el cañón de electrones solo es afectada por la deflexión horizontal producto de la tensión de barrido.

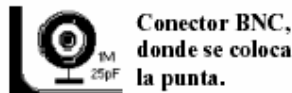
- Gire las perillas **Intensity** y **Focus** y observe el efecto sobre el punto.
- Gire el botón **Position** (vertical) y vea su efecto.

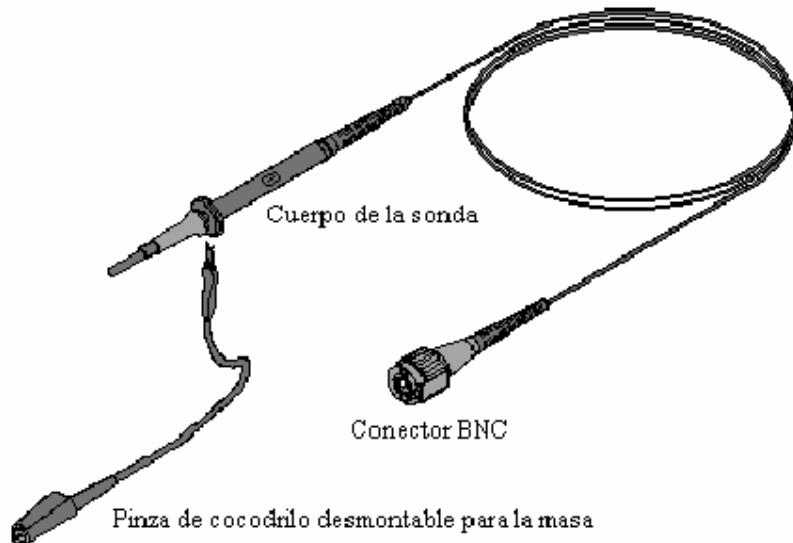
Para poder medir una dada señal externa es necesario usar una sonda de prueba, más comúnmente llamada **punta** (Ver Fig. 4), dicha punta "lleva" la señal externa desde el

circuito al osciloscopio. La mayoría de los osciloscopios actuales disponen de dos canales etiquetados normalmente como I y II (ó A y B). El disponer de dos canales nos permite comparar señales de forma muy cómoda. Por ahora utilizaremos sólo el canal A. !"Identifique dicho canal en el osciloscopio y conecte **suavemente** la punta.



**Figura 3:** Se observa una señal externa tipo senoidal (arriba a la izquierda) y la tensión de barrido (abajo a la derecha). Tenga presente que la tensión de barrido es **producida internamente por el osciloscopio**. Dependiendo de la relación que haya entre el Período (o con la frecuencia) de la señal externa y el de la tensión de barrido en el osciloscopio se verán muchos o pocos períodos (lo que se ve en el osciloscopio es lo que se observa en el círculo). En esta caso como el período de la tensión de barrido es el doble del de la señal externa se ven dos períodos de la señal externa.





**Figura 4: Punta de prueba.** Es importante usar puntas diseñadas específicamente para trabajar con el osciloscopio. Una sonda no es un cable común con una pinza; es un cable coaxial con un conector (BNC) en un extremo y en el otro el cuerpo de la sonda misma. Todo el conjunto está especialmente diseñado para evitar ruidos que puedan perturbar la medida y para que tengan un efecto mínimo (*efecto de carga*) sobre el circuito de medida.

### Calibración del Osciloscopio

Lo primero que hay que hacer antes de empezar a trabajar con el osciloscopio es calibrarlo\*, para hacer esto, el mismo osciloscopio nos entrega una señal de referencia. Dicha señal es una onda cuadrada de 2 Volts pico a pico (2Vpp) y de una frecuencia de 1Khz. (1 Kilo hertz = 1000 hz.).

Antes de seguir veamos como realizar medidas visualmente en la pantalla del osciloscopio. Algunos osciloscopios digitales poseen un software interno que permite realizar las medidas de forma automática. Sin embargo, si aprendemos a realizar medidas de forma manual, estaremos también capacitados para chequear las medidas automáticas que realiza un osciloscopio digital.

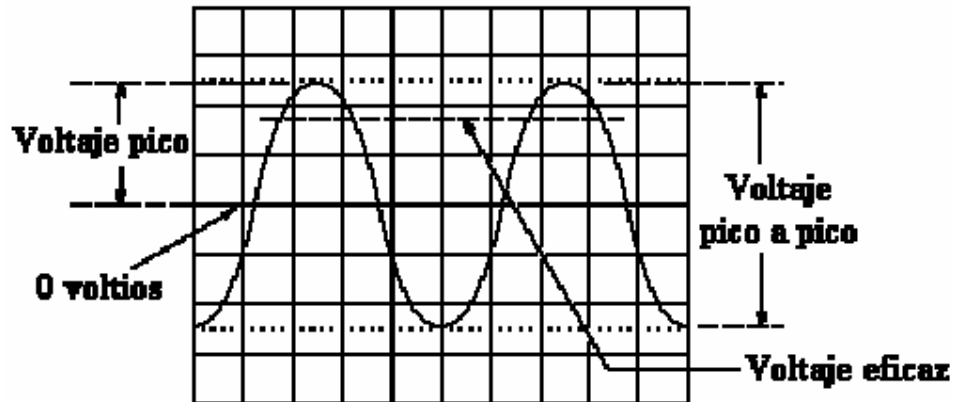
### La pantalla

En la Figura de la derecha se representa la pantalla de un osciloscopio. Note que existen unas marcas en la pantalla que la dividen tanto en vertical como en horizontal, forman lo que se denomina retícula ó rejilla. La separación entre dos líneas consecutivas de la rejilla constituye lo que se denomina una división. Normalmente la rejilla posee 10 divisiones horizontales por 8 verticales del mismo tamaño (cerca al cm), lo que forma una pantalla más ancha que alta. En la líneas centrales, tanto en horizontal como en vertical, cada división ó cuadro posee unas marcas que la dividen en 5 partes iguales (utilizadas como veremos más adelante para obtener medidas más precisas)

Algunos osciloscopios poseen marcas horizontales de 0%, 10%, 90% y 100% para facilitar la medida de tiempos de subida y bajada en los flancos (se mide entre el 10% y el 90% de la amplitud de pico a pico).

## Medida de voltajes

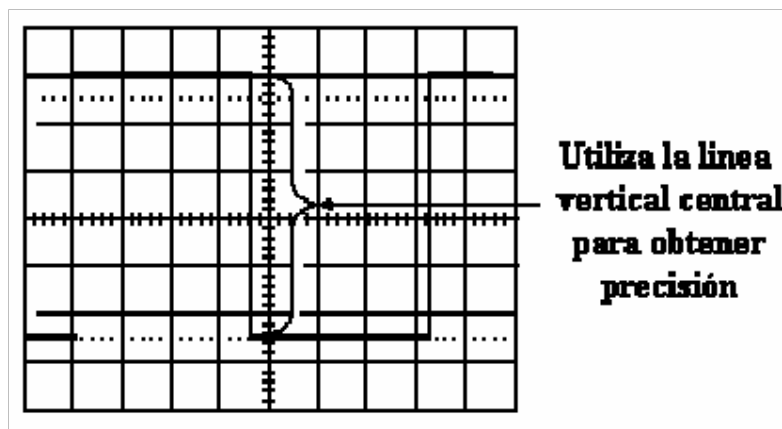
Generalmente cuando hablamos de voltaje queremos realmente expresar la diferencia de potencial eléctrico, expresado en voltios, entre dos puntos de un circuito. Pero normalmente uno de los puntos está conectado a masa (0 voltios) y entonces simplificamos hablando del voltaje en el punto A (cuando en realidad es la diferencia de potencial entre el punto A y GND (Tierra)). Los voltajes pueden también medirse de pico a pico (entre el valor máximo y mínimo de la señal). Es muy importante que especifiquemos al realizar una medida que tipo de voltaje estamos midiendo.



El osciloscopio es un dispositivo para medir el voltaje de forma directa. Otras medidas se pueden realizar a partir de esta por simple cálculo (por ejemplo, la de la intensidad ó la potencia). Los cálculos para señales CA pueden ser complicados, pero siempre el primer paso para medir otras magnitudes es empezar por el voltaje.

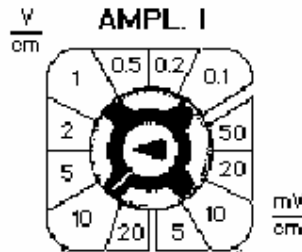
En la figura anterior se ha señalado el valor de pico  $V_p$ , el valor de pico a pico  $V_{pp}$ , normalmente el doble de  $V_p$  y el valor eficaz  $V_{ef}$  ó  $V_{RMS}$  (root-mean-square) utilizada para calcular la potencia de la señal CA.

Realizar la medida de voltajes con un osciloscopio es fácil, simplemente se trata de contar el número de divisiones verticales que ocupa la señal en la pantalla. Ajustando la señal con el mando de **posicionamiento horizontal** (™) podemos utilizar las subdivisiones de la rejilla para realizar una medida más precisa. (recordar que una subdivisión equivale generalmente a 1/5 de lo que represente una división completa). Es importante que la señal ocupe el máximo espacio de la pantalla para realizar medidas fiables, para ello actuaremos sobre el **conmutador del amplificador vertical**.



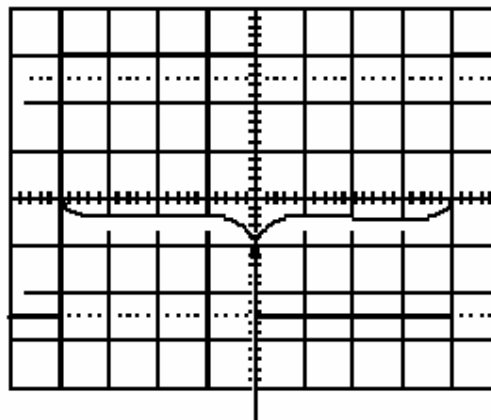
### SISTEMA VERTICAL: AMPLIFICADOR VERTICAL (AV)

Se trata de un conmutador con un gran número de posiciones, cada una de las cuales, representa el factor de escala empleado por el sistema vertical. Por ejemplo si el mando está en la posición 2 voltios/div significa que cada una de las divisiones verticales de la pantalla (aproximadamente de un 1 cm.) representan 2 voltios. Las divisiones más pequeñas representarían una quinta parte de este valor, o sea, 0.4 voltios. Esta perilla vendría a ser el análogo al selector de escala del tester .



### Medida de tiempo y frecuencia

Para realizar medidas de tiempo se utiliza la escala horizontal del osciloscopio. Esto incluye la medida de períodos, anchura de impulsos y tiempo de subida y bajada de impulsos. La frecuencia es una medida indirecta y se realiza calculando la inversa del periodo. Al igual que ocurría con los voltajes, la medida de tiempos será más precisa si el tiempo a medir ocupa la mayor parte de la pantalla, para ello actuaremos sobre el **conmutador de la base de tiempos**. Si centramos la señal utilizando el mando de posicionamiento vertical podemos utilizar las subdivisiones para realizar una medida más precisa.

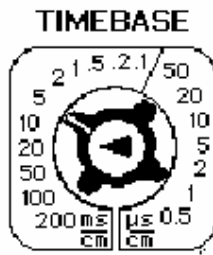


**Utiliza la línea horizontal central para obtener precisión**

### SISTEMA HORIZONTAL: BASE DE TIEMPO (BT)

Se trata de un conmutador con un gran número de posiciones, cada una de las cuales, representa el factor de escala empleado por el sistema horizontal. Por ejemplo si el mando está en la posición 2 mS/div significa que cada una de las divisiones horizontales

de la pantalla representan 2 mS (milisegundos). Las divisiones más pequeñas representarían una quinta parte de este valor, o sea, 0.4 milisegundos. **Esta perilla es la que controla el período de la tensión de barrido.**



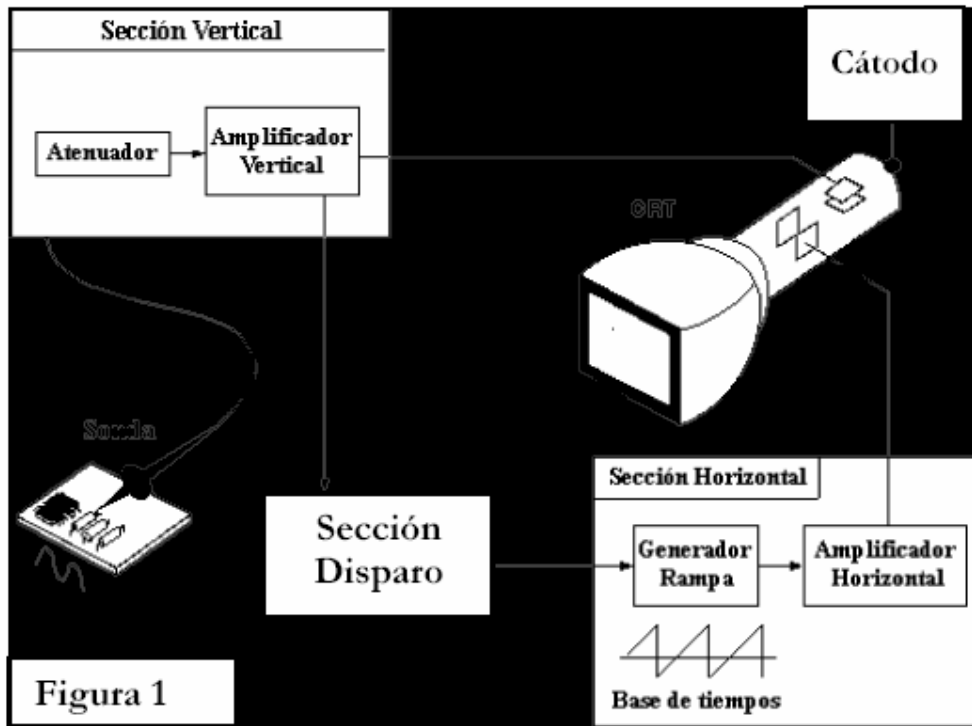
### Apéndice

Cuando se conecta la punta a un circuito (ver **Figura 1**), la señal atraviesa esta última y se dirige a la sección vertical. Dependiendo de donde situemos el mando del amplificador vertical atenuaremos la señal ó la amplificaremos. En la salida de este bloque ya se dispone de señal suficiente para atacar las placas de deflexión verticales (que naturalmente están en posición horizontal) y que son las encargadas de desviar el haz de electrones, que surge del cátodo e impacta en la capa fluorescente del interior de la pantalla, en sentido vertical.

Hacia arriba si la tensión es positiva con respecto al punto de referencia (GND) ó hacia abajo si es negativa.

La señal también atraviesa la sección de disparo para de esta forma iniciar el barrido horizontal (este es el encargado de mover el haz de electrones desde la parte izquierda de la pantalla a la parte derecha en un determinado tiempo). El trazado (recorrido de izquierda a derecha) se consigue aplicando la parte ascendente de un diente de sierra a las placas de deflexión horizontal (las que están en posición vertical), y puede ser regulable en tiempo actuando sobre el mando TIME-BASE (Base de Tiempo).

De esta forma la acción combinada del trazado horizontal y de la deflexión vertical traza la gráfica de la señal en la pantalla. La sección de disparo es necesaria para estabilizar las señales repetitivas (se asegura que el trazado comience en el mismo punto de la señal repetitiva).



**Esquema del Osciloscopio Analógico** En este esquema se observa la punta de prueba que esta tomando una señal del circuito. Esta **señal exterior es conectada a las placas deflectoras verticales** (luego de haber sido amplificada o atenuada, dependiendo de la posición del amplificador vertical). **En las placas deflectoras horizontales actúa la tensión diente de sierra**, cuyo período es controlado por la base de tiempo. La sección de disparo permite seleccionar el Nivel (Level) y la pendiente (Slope).

Cuando la señal a observar es periódica, sólo se puede obtener una imagen fija sobre la pantalla del osciloscopio si los sucesivos barridos se inician sobre la misma fase de dicha señal. Este **sincronismo** se consigue gracias al circuito de disparo.

**Sistema de desviación vertical:**

Consta básicamente de los siguientes elementos:

1. Sonda (Punta).
2. Selector de Entrada. (Selecciona el canal 1 o 2)
3. Atenuador de Entrada
4. Amplificador Vertical.

El selector de entrada permite introducir al osciloscopio la señal que se desea medir, bien directamente o bien a través de un condensador ( Figura 2 ). Ambas posibilidades se seleccionan con el conmutador (AC - GND - DC). Cuando el acoplamiento está en (DC) lo que se verá en pantalla será la señal de tensión completa, es decir, con su componente de continua y su componente alterna. Algunas veces se quiere ver una pequeña señal alterna que se está moviendo sobre una gran tensión de continua, en este caso, se debe conmutar la entrada a un acoplamiento en alterna (AC); esto acopla capacitivamente (con una constante de tiempo de aproximadamente 0.1 seg.) la entrada, permitiendo solo el paso de la parte alterna de la señal, bloqueando la componente continua. La mayoría de los osciloscopios también tienen una posición de entrada a



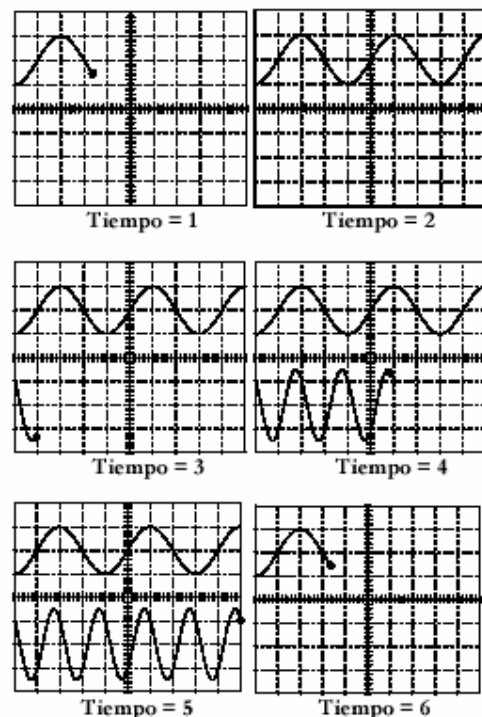
señales son de baja o alta frecuencia, esto es importante para ver de una manera clara dichas señales.

### Modo alternado / chopeado

Es un conmutador de dos posiciones, que permite, cuando nos encontramos en modo DUAL, seleccionar el modo de trazado de las señales en pantalla. En el modo **alternado (ALT)** se traza completamente la señal del canal I y después la del canal II y así sucesivamente. Se utiliza para señales de media y alta frecuencia.

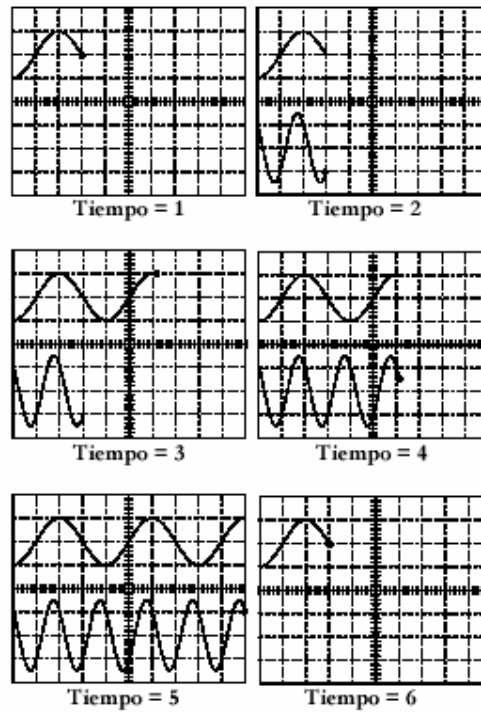
En el modo **chopeado (CHOP)** [Para setear el osciloscopio en modo CHOP debe tirar la perilla hacia fuera] el osciloscopio traza una pequeña parte del canal I después otra pequeña parte del canal II, hasta completar un trazado completo y empezar de nuevo. Se utiliza para señales de baja frecuencia.

#### Modo Alternado (Alternate mode)

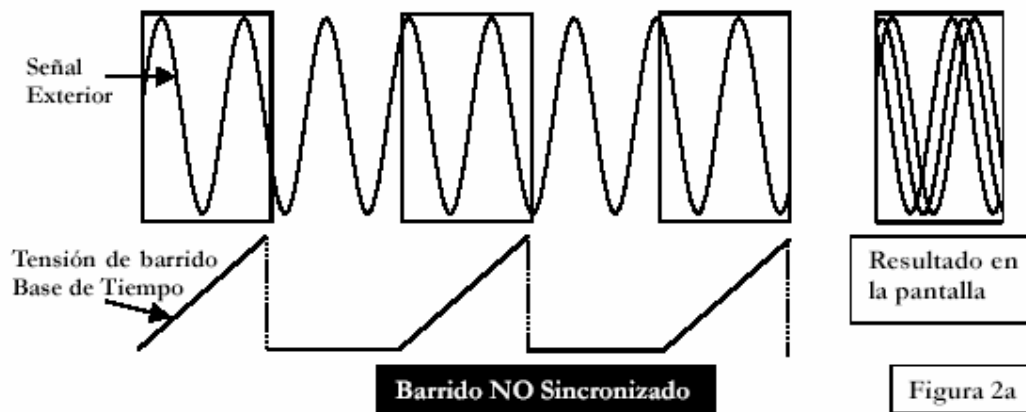


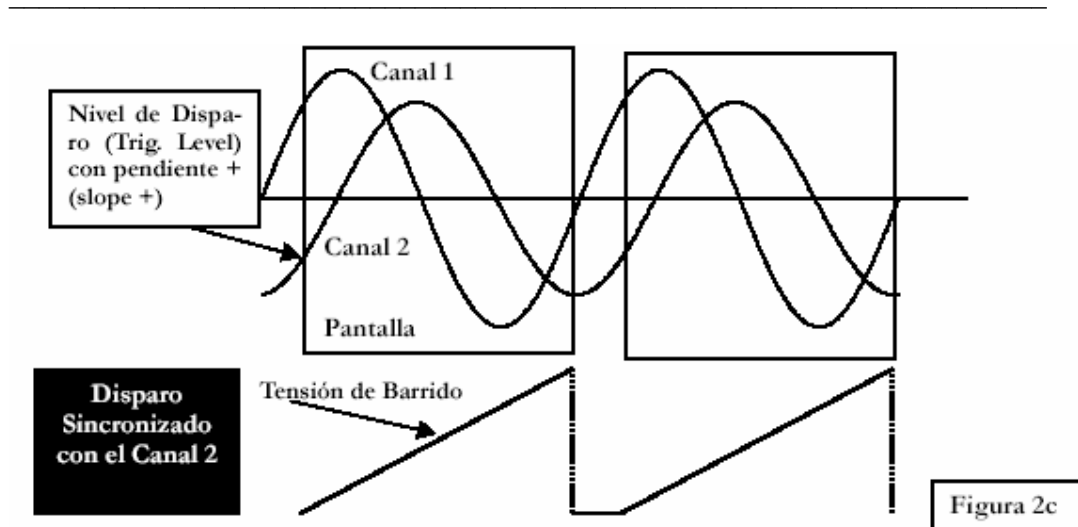
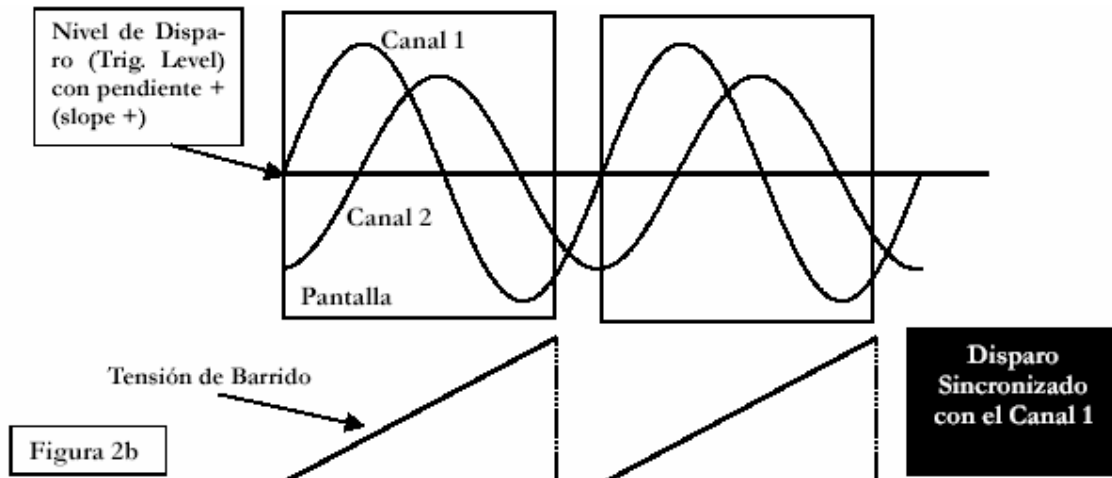
**Figura I:** Estas figuras representan una serie de fotografías tomadas estando el osciloscopio en modo ALT. El punto negro indica la posición del haz luminoso para un dado  $t$ . Se observa como el haz dibuja primero la señal del canal I (completa) y luego la del II y así sucesivamente.

Modo Chop (Chopped mode)



**Figura II:** Ídem que en la Fig. 1, pero ahora en modo CHOP. Observe como ahora el haz dibuja una porción de cada onda.





## EL OSCILOSCOPIO

### OBJETIVO

- Familiarizarse con el manejo del osciloscopio.
- Medida del periodo y del valor eficaz y de pico de una señal alterna de tensión.
- Visualización de las figuras de Lissajous.

### MATERIAL

- Osciloscopio.
- Oscilador de baja frecuencia.

### FUNDAMENTO TEÓRICO

El osciloscopio es un instrumento que permite visualizar y registrar toda clase de señales de diferencia de potencial. Permite medir tensiones alternas o continuas, aun cuando su principal utilidad está en las primeras y también en la medida de señales

transitorias -muy poca repetitivas o de muy corta duración- difíciles de medir con otros instrumentos. La Figura 1 muestra un esquema simplificado de un osciloscopio.

Figura 1

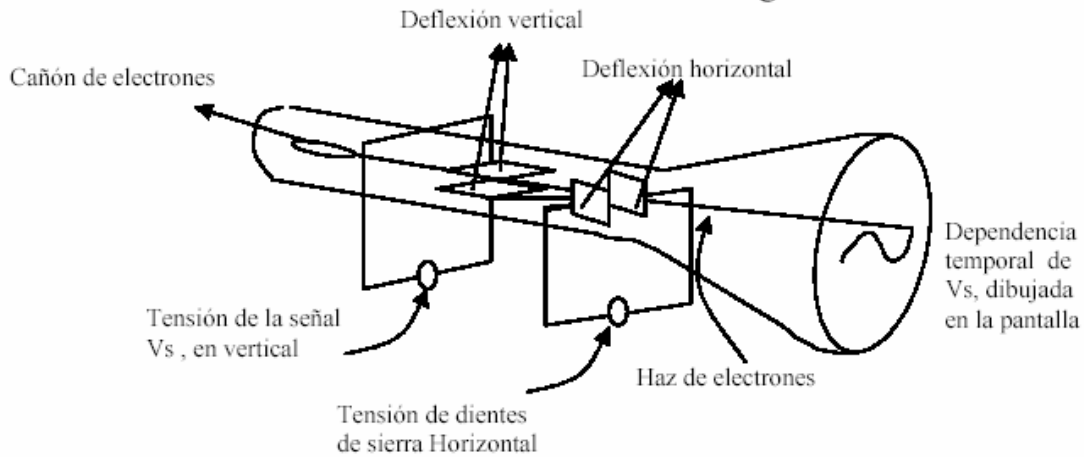
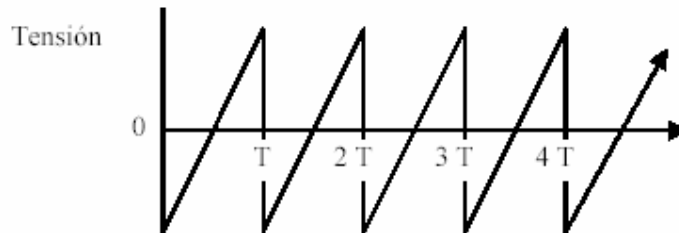


Figura 2



Un cátodo caliente emite electrones que son acelerados hacia un ánodo por medio de una tensión adecuada. Muchos de ellos pasan por un orificio practicado en el ánodo y se encuentran con dos placas entre las que existe un campo eléctrico, de forma que son desviadas de su trayectoria sufriendo una deflexión vertical. Posteriormente, se encuentran con un segundo grupo de placas que los desvía en sentido horizontal. De esta forma, el haz de electrones incide sobre una pantalla fosforescente en el punto correspondiente a la tensión vertical y horizontal aplicada a las placas. El osciloscopio tiene mandos que permiten variar la intensidad y el enfoque del haz de electrones sobre la pantalla (*no dejar nunca el osciloscopio con un punto muy brillante y estacionario sobre la pantalla, puesto que puede quemarla*).

### **FUNCIONAMIENTO EN MODO XT**

Este modo es el que se empleará en el apartado 2 de los objetivos y es el que se emplea en la práctica más habitualmente. Cuando a las placas horizontales se les aplica una tensión generada internamente en forma de diente de sierra (Fig. 2) y a las verticales se les aplica la señal que queremos estudiar (por ejemplo sinusoidal), la combinación de ambas tensiones hace que la senoide quede dibujada en la pantalla. La tensión horizontal de diente de sierra se denomina voltaje de barrido, puesto que se utiliza para

barrer el haz de electrones sobre la pantalla: los electrones son desviados linealmente con el tiempo en la dirección horizontal durante el tiempo T. A continuación, el haz vuelve muy rápidamente a su punto de partida sobre la pantalla al final de cada periodo. La frecuencia de barrido tiene posibilidad de ajuste para permitir la observación de señales de distintos periodos. Este ajuste se realiza con un mando giratorio situado en la parte superior derecha del osciloscopio que se denomina base de tiempos y nos da el tiempo/div sobre el eje X en escala de desde nanosegundos ( $1 \text{ ns} = 10^{-9} \text{ s}$ ) hasta de milisegundos, permitiendo así la medida del periodo de nuestra señal.

La señal de barrido generada por el osciloscopio puede iniciarse de forma automática (botón situado en el extremo superior derecho del aparato en posición “at”) o, para un mejor sincronismo, se dispara el barrido con el comienzo de la señal a analizar, lo que se logra colocando el botón en posición “normal” y actuando sobre el mando giratorio de disparo (trigger). También se puede disparar el barrido por medio de una señal de tensión externa. Para ello existe una entrada de señal y un pulsador marcado con “Ext”. Como normalmente la función correspondiente se activa al pulsar el mando, este pulsador no debe estar presionado durante las medidas puesto que operaremos siempre con barrido interno.

El osciloscopio tiene dos entradas de señal, canales I y II, situados en la parte frontal inferior del osciloscopio que, en este modo de operar, permiten ver alternativamente en función del tiempo o sumadas ambas señales.

## **FUNCIONAMIENTO EN MODO XY**

En este modo de funcionamiento el osciloscopio muestra en la pantalla la composición resultante de dos señales: una se introduce en el canal I y otra en el canal II, aplicada ahora una de ellas a las placas horizontales y la otra a las verticales. Por lo tanto, en la posición XY no actúa la base de tiempos. Para operar en este modo hay que pulsar el botón marcado con “XY” (situado arriba, a la derecha de la pantalla en el tipo de osciloscopio que utilizamos). Lo emplearemos en los dos últimos apartados de esta práctica.

## **MODO DE OPERAR**

### *MEDIDA DEL PERIODO, VALOR EFICAZ Y DE PICO DE UNA SEÑAL ALTERNA DE TENSIÓN*

A continuación vamos a medir el voltaje de pico, VP, y el de pico a pico, VPP, (Fig. 3) de la tensión del generador. Los voltajes se miden con ayuda del mando giratorio situado junto a la entrada de señal y está graduado en voltios/div. Obsérvese si varía el voltaje de pico de la señal cuando se actúa sobre el mando de amplitud del generador.

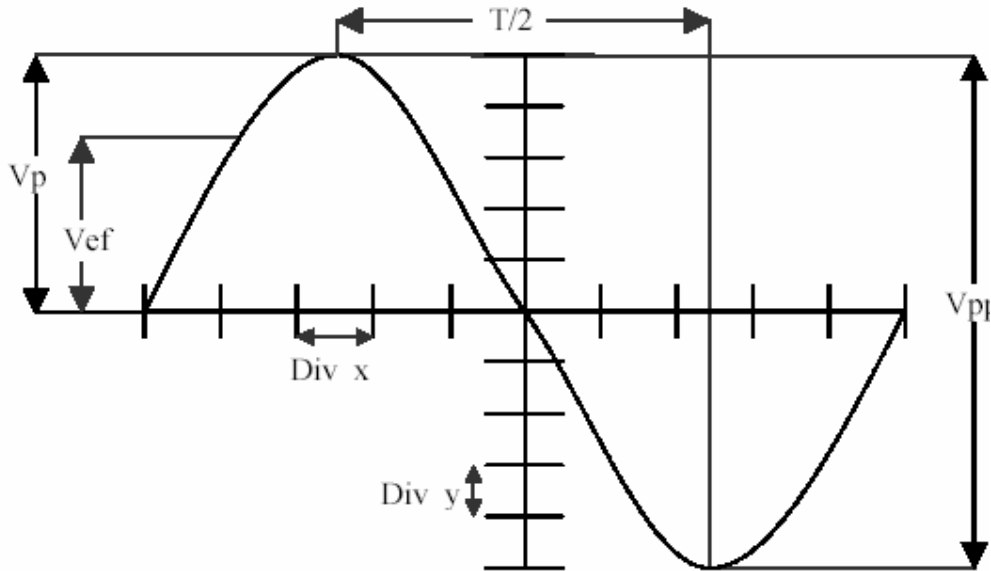


Fig. 3 Señal de CA en el Osciloscopio

Conectaremos el generador de señales sinusoidales por medio de un cable coaxial, que es un cable blindado, a una de las entradas del osciloscopio. Ajustando la base de tiempos a la frecuencia de la señal de entrada (girando adecuadamente el mando situado arriba a la derecha del osciloscopio que viene graduado en tiempo/div) conseguiremos que la señal se fije sobre la pantalla (se dice que la señal está sincronizada). Una vez sincronizada la señal obtendremos sobre la pantalla dibujada una senoide que corresponde a la tensión dada por el generador.

Para una amplitud fija mediremos el periodo de la señal de entrada para varias frecuencias del generador, por ejemplo, 50, 100, 200, 1000 y 10000 Hz. Estas frecuencias se miden mediante el periodo  $T$ , ( $f = 1/T$ ). Para ello tendremos en cuenta la escala de la base de tiempos en la que estamos trabajando. Anótese la frecuencia nominal del generador y la medida en el osciloscopio. ¿Cambia el periodo si cambiamos la amplitud?. Anótese la precisión nominal de los aparatos en sus correspondientes escalas. Dentro de esta precisión, apúntese la máxima que el observador pueda apreciar.

**NOTA 1: la señal dada por el generador tiene por ecuación  $y = A \sin(2\pi t/T)$ . Con las medidas anteriores tendríamos ya la ecuación del movimiento para los diferentes casos puesto que hemos determinado  $A$  (voltaje de pico) y  $T$  (periodo).**

### RESULTADOS EXPERIMENTALES - A1

- ¿Son independientes el voltaje de pico y el periodo de la señal? Escribese la ecuación del movimiento de la señal del generador para 50 Hz y la amplitud en la que han trabajado.
- Realícese una tabla con los valores de las frecuencias nominales del generador y las medidas en el osciloscopio teniendo en cuenta sus incertidumbres a partir de la precisión de ambos aparatos y de lo que pueda observar el experimentador.
- Determínese con su incertidumbre la amplitud de la señal (voltaje de pico) con la que han realizado las medidas del apartado anterior. Calcúlese también el voltaje eficaz (que es el que mediría un voltímetro) con su incertidumbre utilizando la relación:

$$V_p = V_{ef} \sqrt{2}$$

### VISUALIZACIÓN DE FIGURAS DE LISSAJOUS.

Estas figuras son el resultado de la composición de dos movimientos armónicos simples según dos direcciones perpendiculares. Como se dijo antes, el osciloscopio tiene esa posibilidad operando en el modo XY. Las figuras las podemos visualizar en el osciloscopio introduciendo una señal armónica por un canal y otra señal de este tipo por el otro. En la práctica tomaremos una señal que será la suministrada por un transformador conectado a la red eléctrica y que, por lo tanto, tendrá la frecuencia de ésta (50 Hz) y amplitud la que tenga a la salida del transformador colocado para no trabajar directamente con los 220 voltios por motivos de seguridad (comprueben visualizando en el canal correspondiente el periodo y la amplitud de salida del transformador y anótenlo). La otra señal la tomaremos del generador cuya frecuencia podemos variar como ya hemos visto. La señal del generador la podemos dejar en el canal en la que la tenemos conectada y en el otro canal introducimos la del transformador. La ecuación del movimiento armónico de la señal del transformador es:

$$X = A \operatorname{sen}(\omega_1 t), \omega_1 = 2\pi/T_1 = 2\pi\nu \quad (1)$$

Ya hemos visto que la señal del generador de frecuencia variable sigue una ecuación análoga a la anterior:

$$Y = B \operatorname{sen}(\omega_2 t + \varphi) \quad (2)$$

Al tener dos movimientos armónicos distintos nos aparece un nuevo término en una de las ecuaciones,  $\phi$ , que es el desfase existente entre los dos movimientos porque no hay motivo para suponer que ambas señales sean simultáneas a partir de un origen común de tiempos.

Variando el selector de frecuencias del generador de señales podremos ver las distintas figuras de Lissajous para una relación entera entre las frecuencias de las señales, que son las figuras más características:  $\nu_1 / \nu_2 = \omega_1 / \omega_2 = 1, 2, 3, \dots$  (frecuencias nominales del generador = 50, 100, 150, ... Hz). Estas figuras (Fig. 4) también dependen del desfase. Este parámetro no lo podemos controlar por lo que, una vez sincronizada la relación de frecuencias, la figura de la pantalla no es del todo estable y varía recorriendo las formas correspondientes a los desfases posibles.

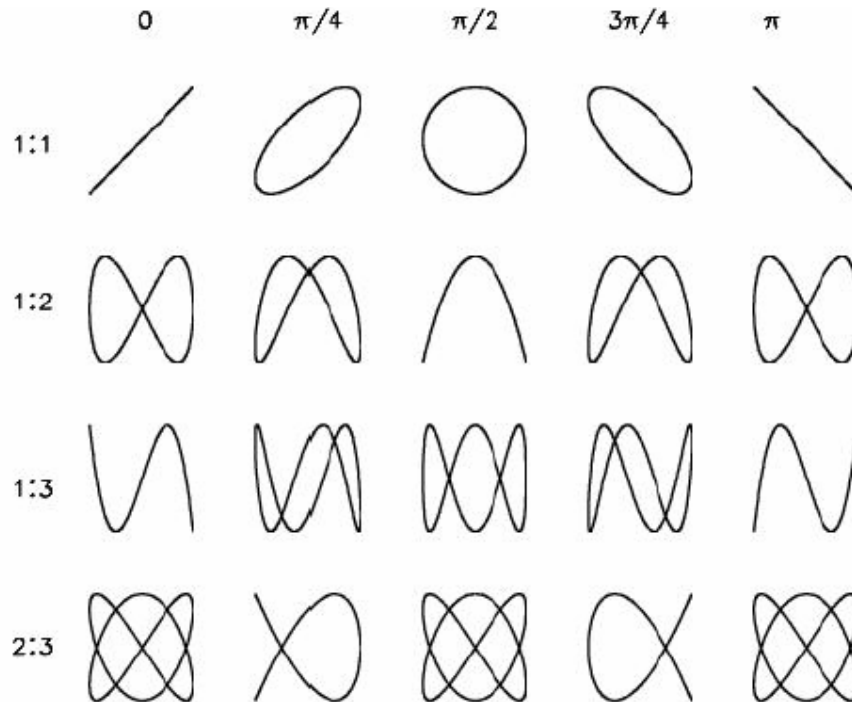


Figura 4. Algunas figuras de Lissajous.

## RESULTADOS EXPERIMENTALES – A2

- Escribir el periodo y la frecuencia para la señal de salida del transformador con su incertidumbre correspondiente.
- Visualizar las figuras con relaciones de frecuencias  $v1 / v2 = \omega1 / \omega2 = 1, 2$  y  $3$  (frecuencia nominal aproximada del generador = 50, 100 y 150 Hz) e indicar cuales se han visto de las posibles.
- Obtención de la ecuación analítica para el caso  $\omega1 = \omega2$  en función del desfase. (basta con eliminar  $t$  en el sistema de las ecuaciones (1) y (2) dando  $Y$  en función de  $X$ . Recordemos que es lo que hace el osciloscopio en el modo XY, ya que no actúa la base de tiempos). Particularizar para los desfases  $0, \pi/4, \pi/2, 3\pi/4$  y  $\pi$ . ¿Qué condición tienen que cumplir las amplitudes de las dos señales para obtener una circunferencia en el caso  $\omega1 = \omega2$  y  $\phi = \pi/2$ ?