

## CAPITULO VIII

### EL OSCILOSCOPIO

#### 8.1 INTRODUCCION.

En la historia de las mediciones eléctricas y electrónicas, el instrumento que ha producido mayor impacto ha sido el osciloscopio, debido a que es de utilidad no solamente para medir algunas variables de los fenómenos eléctricos (voltaje, corriente, frecuencia, período, etc.), mediciones que son posible realizar con otro tipo de instrumentos, sino que también permite observar el desarrollo en el tiempo de dichos fenómenos eléctricos, con lo cual se pueden conocer y estudiar en forma más detallada. Debido a esto, el osciloscopio sigue siendo uno de los instrumentos de mayor aplicación en el trabajo diario.

#### 8.2 PARTES FUNDAMENTALES DE UN OSCILOSCOPIO.

Las partes fundamentales de un osciloscopio son:

- El tubo de rayos catódicos (TRC)
- El amplificador vertical
- La base de tiempo
- El circuito de disparo (Trigger)
- El amplificador horizontal
- El amplificador de control de intensidad (Gate amplifier)
- La línea de retardo

La Figura 1 presenta el Diagrama de Bloques de un osciloscopio básico. En los siguientes puntos vamos a estudiar cada uno de dichos bloques.

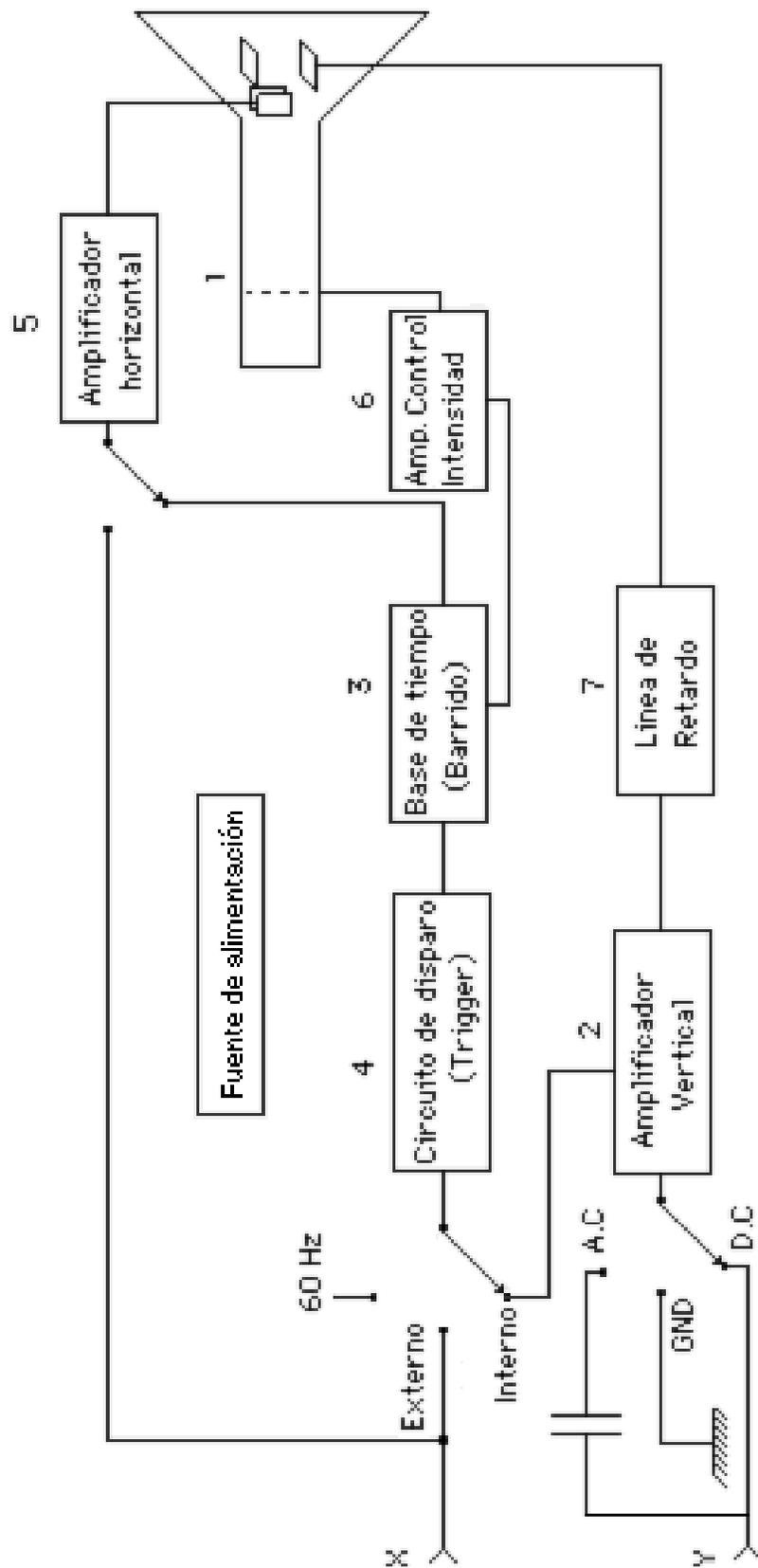


Figura 1 : DIAGRAMA EN BLOQUES DEL OSCILOSCOPIO

## 8.3 EL TUBO DE RAYOS CATODICOS.

### 8.3.1.- Estructura.

El Tubo de Rayos Catódicos (TRC) consiste de un cilindro de vidrio acoplado a una sección cónica también de vidrio, según podemos observar en la Figura 2, dentro de los cuales se ha hecho el vacío.

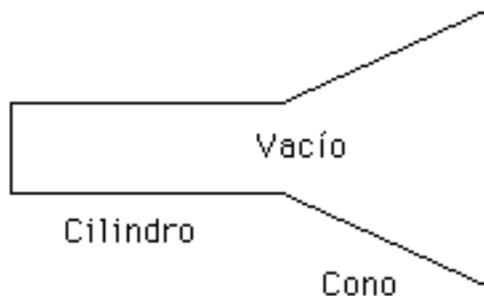


Fig. 2.- Tubo de Rayos Catódicos (TRC).

En esta estructura se encuentran ubicados los siguientes dispositivos:

- El cañón electrónico
- Las placas de deflexión
- La pantalla
- Los contactos

La Figura 3 muestra la distribución de los dispositivos enumerados. A grandes rasgos, la operación del TRC es la siguiente: El cañón electrónico produce un haz de electrones que incide sobre la pantalla (ubicada en la base del cono), la cual, debido a que está recubierta por fósforo, emite luz en el punto donde se produce la incidencia del haz. Las placas de deflexión permiten variar la ubicación del punto de incidencia del haz sobre la pantalla, debido a lo cual es posible obtener diversas figuras. En los siguientes puntos vamos a estudiar en detalle cada uno de estos elementos.

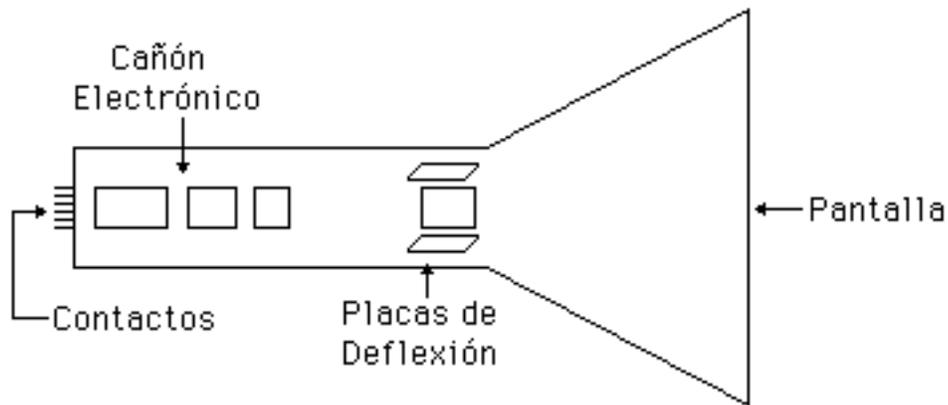


Fig. 3.- Dispositivos ubicados en el Tubo de Rayos Catódicos

#### 8.3.1.1.- El cañón electrónico.

El cañón electrónico está ubicado en la parte cilíndrica del TRC, y consta de las siguientes partes:

- El filamento
- El cátodo
- La grilla
- El primer ánodo
- El anillo de enfoque
- El segundo ánodo

El filamento es un elemento que genera altas temperaturas cuando circula por él corriente eléctrica. Su función es calentar la placa metálica denominada cátodo para que ésta, por efecto termoiónico, emita electrones al vacío circundante. El cátodo se conecta a un potencial negativo de unos cuantos miles de voltios y se rodea de un cilindro metálico llamado grilla, como podemos observar en la Figura 4.

La grilla se conecta a un potencial variable cuyo valor puede ajustarse desde un control externo, pero que generalmente es negativo. Cuanto más negativo sea dicho potencial, menor será el número de electrones con la suficiente energía cinética para atravesar la abertura de la grilla, y viceversa. Por lo tanto, con el control externo que regula el

potencial de la grilla puede ajustarse el número de electrones que finalmente van a llegar a la pantalla y en consecuencia, la intensidad de luz emitida por ésta. Debido a lo anterior, el control externo que regula el potencial de la grilla se denomina **control de intensidad**.

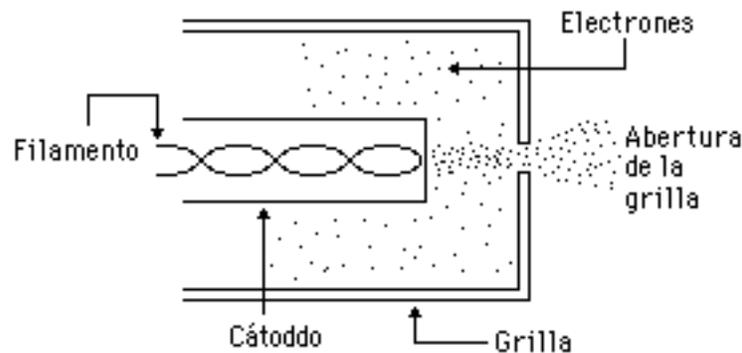


Fig. 4.- Filamento, cátodo y grilla del TRC.

Los electrones emitidos por el cátodo que han atravesado la abertura de la grilla son atraídos y acelerados por el primer ánodo, según se muestra en la Figura 5. El primer ánodo está conectado a un potencial positivo de unos cientos de voltios.

Ahora bien el haz de electrones que atraviesa el primer ánodo es divergente, por lo que es necesario añadir dos dispositivos más para poder obtener un haz cilíndrico. Estos dispositivos son el anillo de enfoque y el segundo ánodo, presentados también en la Figura 5.

El anillo de enfoque está conectado a un potencial variable externamente, de unos cientos de voltios menos negativo que el del cátodo. La forma del campo eléctrico producido por este voltaje obliga a que el haz de electrones sea convergente y tienda a ser lo más fino posible. La magnitud del potencial del anillo de enfoque puede variarse desde un control externo, haciendo que el haz sea más o menos convergente sobre la pantalla. Dicho control recibe el nombre de **control de foco**.

El segundo ánodo está conectado a un potencial variable externamente, cuya magnitud es un poco mayor que la del primer ánodo. Este segundo ánodo cumple dos funciones: La primera de ellas es contrarrestar en cierta forma la excesiva convergencia del haz producida por el anillo de enfoque, haciéndolo lo más cilíndrico posible. La magnitud

del potencial de este ánodo puede variarse mediante un control externo denominado **control de astigmatismo**.

La otra función del segundo ánodo es acelerar aún más el haz de electrones que va a incidir sobre la pantalla.

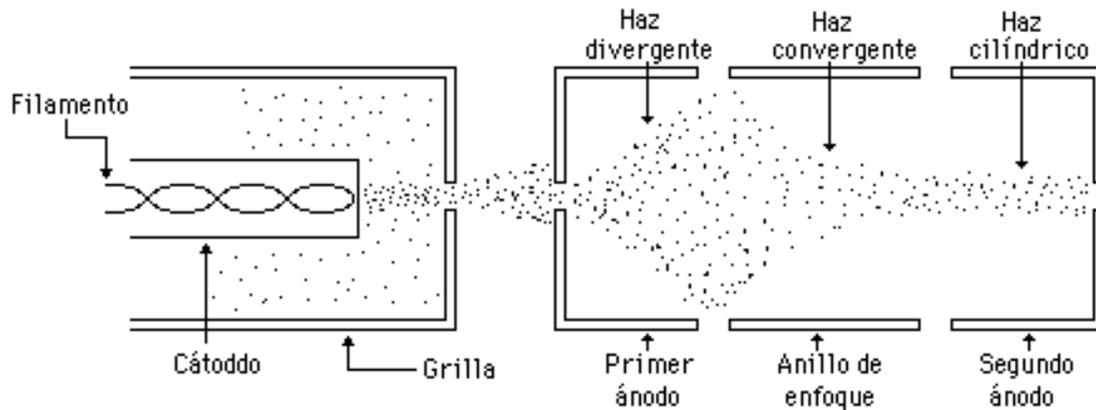


Fig. 5.- Control del haz de electrones en el TRC

#### 8.3.1.2.- Las placas de deflexión.

Las placas de deflexión, al igual que el cañón electrónico, están ubicadas en la parte cilíndrica del TRC, pero próximas a la sección cónica, como podemos observar en la Figura N° 3.

Hay dos pares de placas, unas colocadas en forma horizontal y otras colocadas en forma vertical. Para estudiar la función que desempeñan estos dos pares de placas vamos a analizarlos por separado. Consideremos en primer lugar las placas ubicadas horizontalmente, mostradas en la Figura 6.

Si a dichas placas horizontales se le aplica una diferencia de potencial, el campo eléctrico producido entre las placas producirá una desviación vertical del haz de electrones hacia aquella que tenga carga más positiva, como podemos observar en la Figura 7.

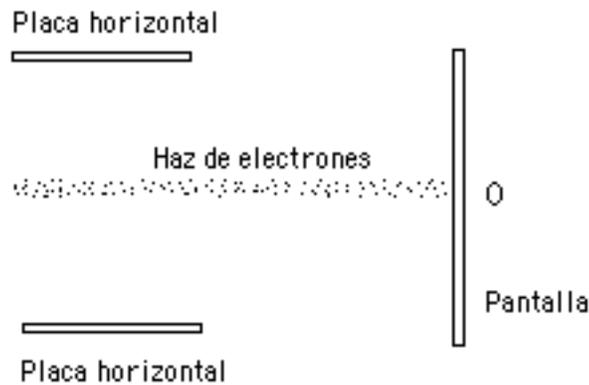


Fig. 6.- Placas horizontales en el TRC.

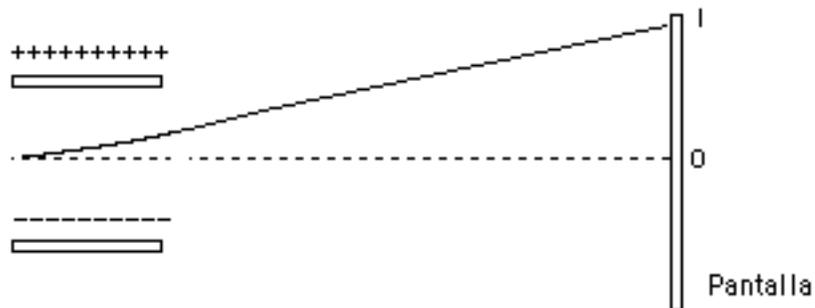


Fig. 7.- Desviación vertical del haz debido al voltaje aplicado a las placas horizontales

Se puede deducir que la distancia  $OI$  sobre la pantalla es directamente proporcional (con muy buena aproximación) a la magnitud del voltaje  $V_1$  aplicado entre las placas.

De igual forma, si entre las placas verticales se aplica una diferencia de potencial  $V_2$ , el haz de electrones sufre una desviación horizontal hacia la que tiene carga más positiva, y dicha desviación sobre la pantalla es directamente proporcional (con muy buena aproximación) a la magnitud de  $V_2$ .

Debido al tipo de deflexión que producen las placas colocadas horizontalmente se denominan **placas de deflexión vertical**, mientras las que están ubicadas verticalmente reciben el nombre de **placas de deflexión horizontal**.

### 8.3.1.3.- La pantalla.

La pantalla del TRC está constituida por la base de la sección cónica de la estructura de vidrio, recubierta por una capa de fósforo, el cual tiene la propiedad de emitir luz cuando incide sobre él un haz de electrones. Esta emisión de luz se produce únicamente en el punto donde ocurre la incidencia del haz, y generalmente desaparece cuando deja de ocurrir dicha incidencia de electrones.

### 8.3.1.4.- Los contactos.

Entre los contactos ubicados en el extremo del TRC, se encuentran las conexiones a través de las cuales circula la corriente que calienta el filamento, y los terminales entre los que están aplicados el voltaje del cátodo, el de la grilla, el del primer ánodo, el del anillo de enfoque, el del segundo ánodo y el de deflexión horizontal y vertical.

Una vez estudiadas todas las partes de un TRC vamos a analizar en qué forma podemos obtener figuras sobre la pantalla del mismo.

### 8.3.2.- Obtención de Figuras en el TRC.

Vamos a observar ahora la pantalla del TRC desde la parte exterior, tal como se muestra en la Figura 8. Esta pantalla por lo general presenta una cuadrícula para que podamos ubicar con precisión el punto luminoso.

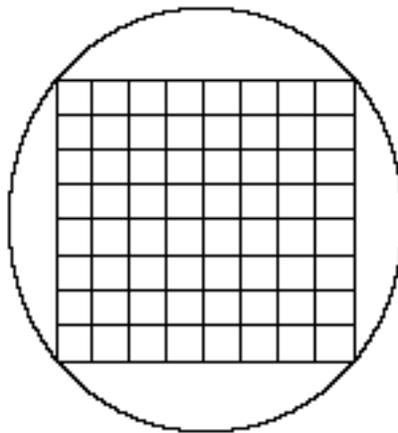


Fig. 8.- Pantalla del TRC.

Cuando no hay voltaje aplicado a ninguna de las placas de deflexión, el punto luminoso se encuentra en el centro de la pantalla, como podemos observar en la Figura 9.

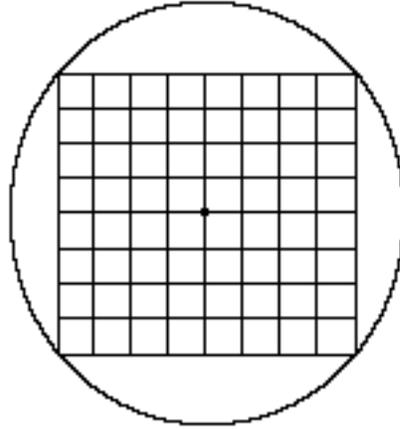


Fig. 9.- Ubicación del punto luminoso cuando no hay voltajes aplicados.

Supongamos ahora que el haz se desplaza una división por cada voltio que apliquemos a cualquiera de las placas. Entonces, si aplicamos 3V en las placas de deflexión vertical, el punto luminoso se va a desplazar tres divisiones hacia arriba, como se muestra en la Figura 10.

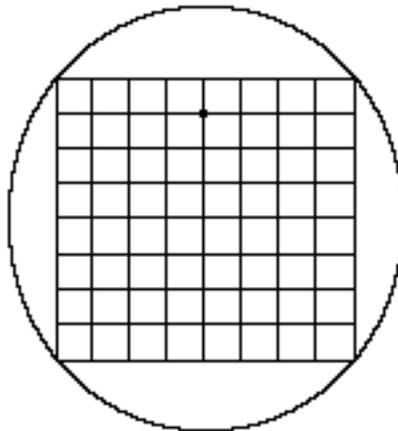


Fig. 10.- Desplazamiento del punto luminoso al aplicar voltaje en las placas de deflexión vertical.

De la misma forma, si aplicamos un voltaje de -2V a las placas de deflexión horizontal (sin que haya tensión en las de deflexión vertical), el punto luminoso se va a desplazar dos divisiones hacia la izquierda, como se muestra en la Figura 11.

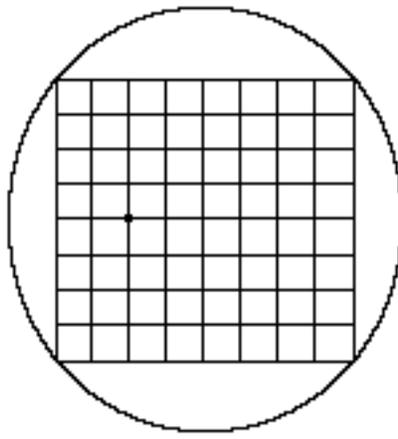


Fig. 11.- Desplazamiento del punto luminoso al aplicar voltaje en las placas de deflexión horizontal.

Por lo tanto, aplicando simultáneamente  $-2V$  en las placas de deflexión horizontal y  $3V$  en las de deflexión vertical la posición del punto luminoso será la mostrada en la Figura 12.

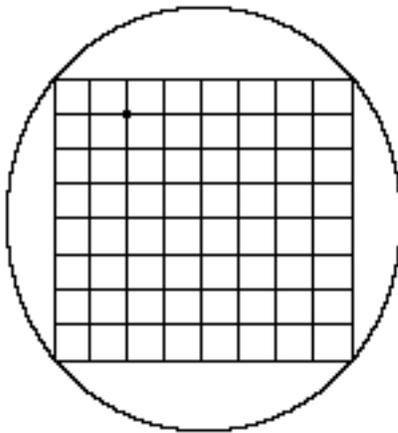


Fig. 12.- Desplazamiento del punto luminoso al aplicar voltaje en las placas de deflexión horizontal y vertical.

De lo anterior podemos concluir que es posible ubicar el punto luminoso en cualquier punto del plano de la pantalla, aplicando los voltajes apropiados en las placas de deflexión correspondientes.

Supongamos ahora que aplicamos a las placas de deflexión horizontal una señal variable con el tiempo que tiene la forma mostrada en la Figura N°13.

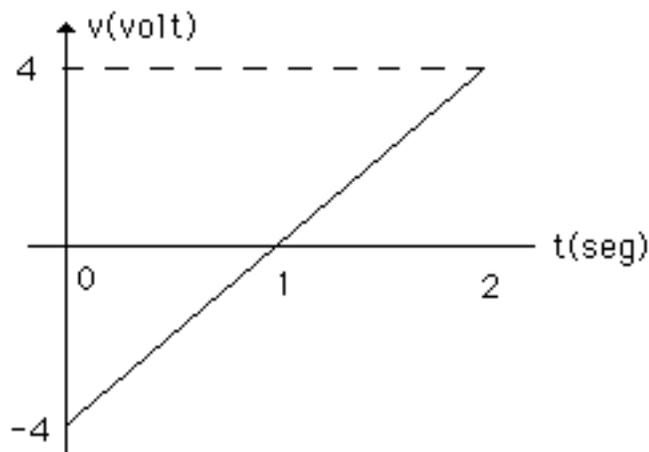


Fig. 13.- Señal aplicada a las placas de deflexión horizontal.

Es decir, para  $t = 0$  el voltaje aplicado a las placas es de  $-4V$ , para  $t_1 = 1$  seg el voltaje es de  $0V$ , para  $t_2 = 2$  seg el voltaje es de  $4V$ , etc. En otras palabras, el voltaje aplicado a las placas de deflexión horizontal varía linealmente con el tiempo. Si en las placas de deflexión vertical no hay voltaje aplicado, en la pantalla del osciloscopio observamos el desplazamiento del haz luminoso indicado en la Figura 14.

Si la señal es periódica, es decir, tiene la forma mostrada en la Figura 15, observamos que el punto luminoso se mueve con velocidad constante desde el extremo izquierdo de la pantalla hasta el extremo derecho en un tiempo  $t_1$ , luego regresa rápidamente al extremo izquierdo en un tiempo  $t_2$ , donde vuelve a comenzar su movimiento a velocidad constante hacia el extremo derecho.

Si  $t_1$  es un tiempo del orden de los segundos, como en el ejemplo anterior, podemos apreciar el desplazamiento del punto luminoso, pero si  $t_1$  es del orden de los milisegundos, el movimiento del punto es tan rápido que nuestro ojo no puede seguirlo, por lo que debido al fenómeno de persistencia en la retina, observamos en la pantalla del osciloscopio un trazo luminoso continuo que va del extremo izquierdo al extremo derecho de la misma, como se muestra en la Figura 16.

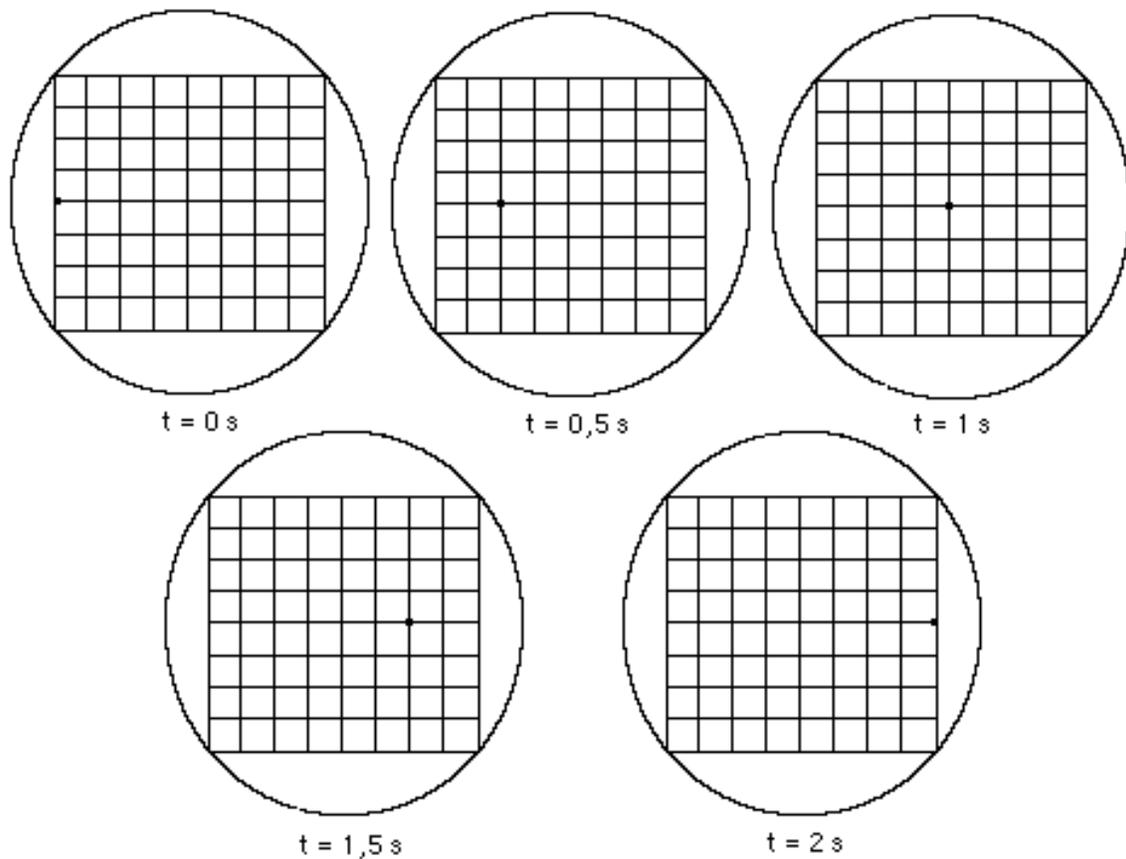


Fig. 14.- Desplazamiento del haz luminoso cuando se aplica la señal de la Figura 13 a las placas de deflexión horizontal.

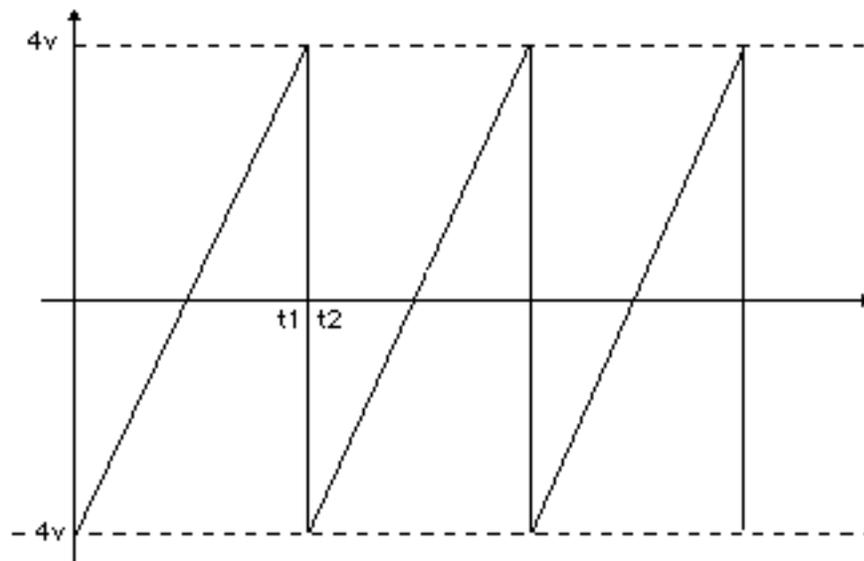


Fig. 15.- Señal periódica aplicada a las placas de deflexión horizontal.

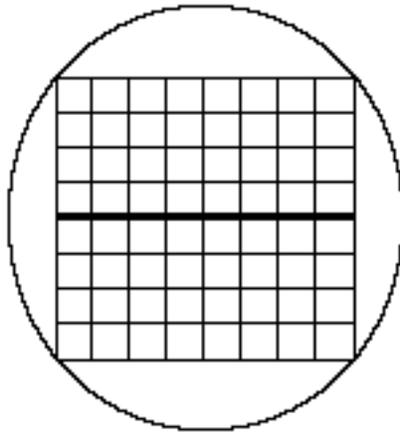


Fig. 16.- Trazo luminoso producido por el desplazamiento rápido del haz.

Si en lugar de aplicar la señal de la figura N° 15 a las placas de deflexión horizontal la aplicamos a las de deflexión vertical, en la pantalla del osciloscopio observamos el trazo luminoso presentado en la Figura 17.

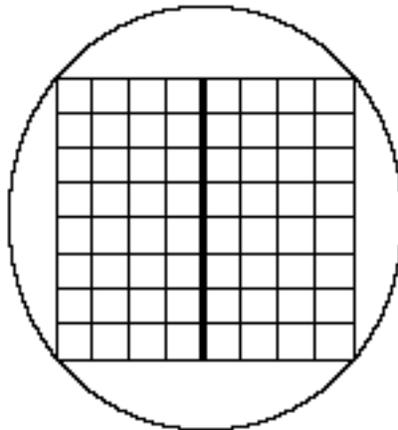


Fig. 17.- Trazo luminoso observado al aplicar la señal de la Figura 15 a las placas de deflexión vertical.

Supongamos ahora que aplicamos una señal sinusoidal como la presentada en la Figura 18 a las placas de deflexión vertical, sin aplicar ninguna señal a las de deflexión horizontal. Si el período de la señal ( $T$ ) es del orden de los milisegundos, la variación de la amplitud de la señal será tan rápida, que en la pantalla sólo observaremos una línea vertical de 6 divisiones, correspondientes a los 6 voltios pico a pico, como vemos en la Figura 19.

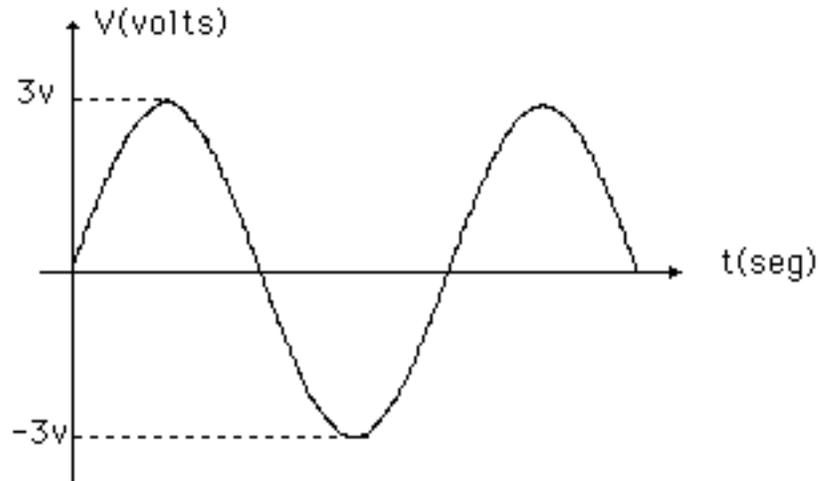


Fig. 18.- Señal sinusoidal aplicada a las placas de deflexión horizontal.

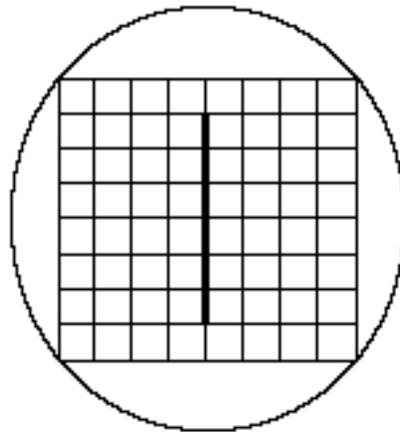


Fig. 19.- Presentación de la señal sinusoidal aplicada a las placas de deflexión horizontal.

Estudiemos ahora lo que sucede si aplicamos simultáneamente a las placas de deflexión vertical y horizontal las señales mostradas en la Figura 20.

Con el fin de abreviar vamos a identificar las placas de deflexión vertical con el símbolo DV y las de deflexión horizontal con DH.

Para  $t = 0$ , en DV hay 0V mientras que el DH hay -4V. El punto luminoso está ubicado en la posición indicada en la Figura 21.

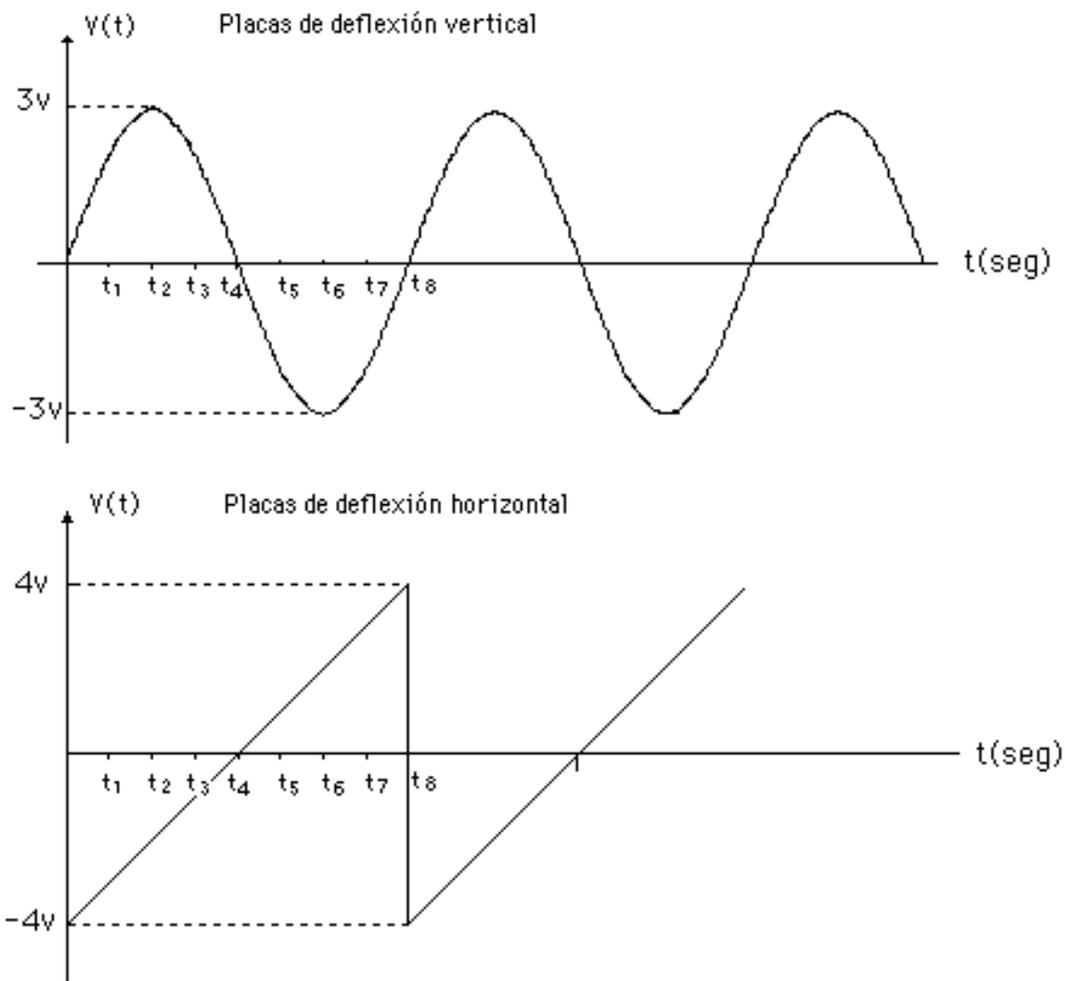


Fig. 20.- Señales aplicadas simultáneamente a las placas de deflexión.

Para  $t = t_1$  en DV hay aproximadamente  $2V$  y en DH hay  $-3V$ , por lo que el haz se ubica en la posición mostrada en la Figura 22.

Para  $t = t_2$  en DV hay  $3 V$  mientras que en DH hay  $-2V$ , por lo que la nueva posición es la presentada en la Figura 23.

Si seguimos analizando el fenómeno en forma similar, llegamos a la conclusión que el punto luminoso va a realizar sobre la pantalla el recorrido mostrado en la Figura 24.

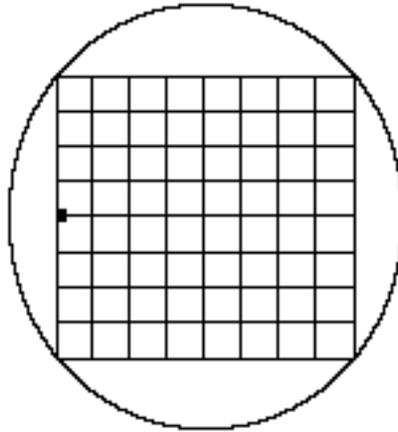


Fig. 21.- Ubicación del haz luminoso para  $t = t_0$ .

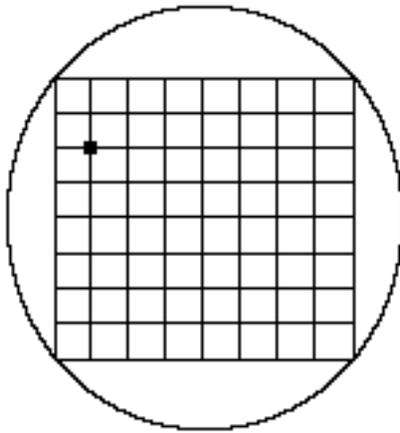


Fig. 22.- Ubicación del haz luminoso para  $t = t_1$ .

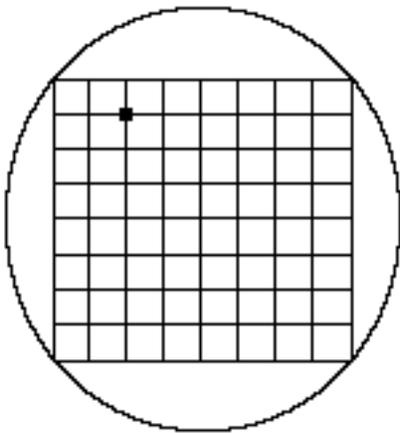


Fig. 23.- Ubicación del haz luminoso para  $t = t_2$ .

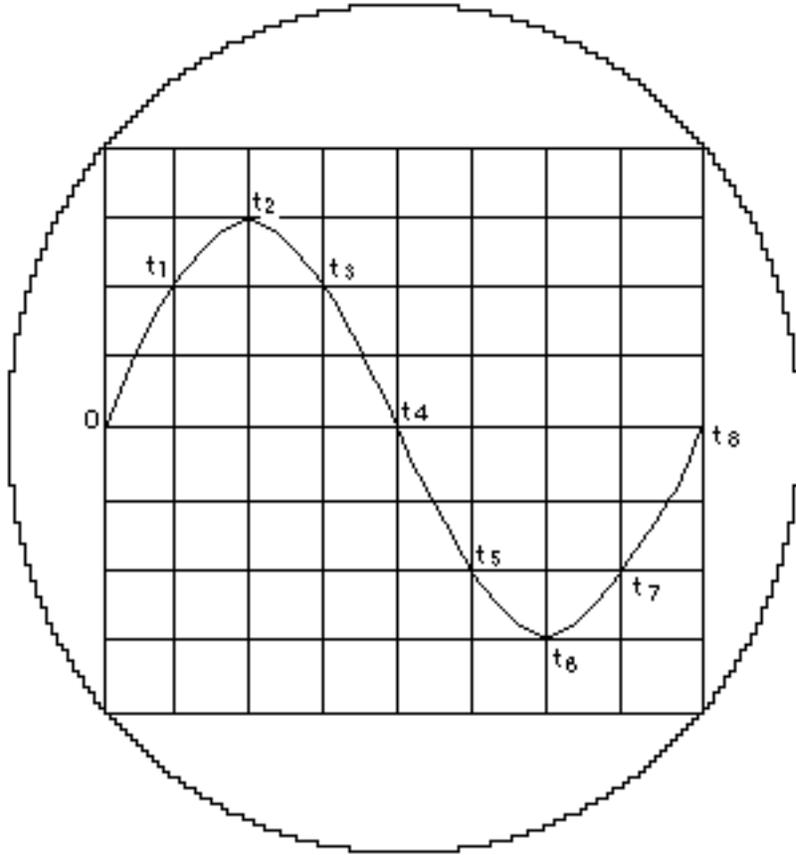


Fig. 24.- Recorrido total del haz luminoso al aplicar las señales de la Figura 20 a las placas de deflexión.

Si los intervalos de tiempo son pequeños (del orden de los milisegundos o menores) y las señales son repetitivas, en la pantalla observaremos la gráfica de la función sinusoidal  $v(t)$  con respecto al tiempo.

Esto es posible debido a que en las placas de deflexión horizontal estamos aplicando un voltaje directamente proporcional al tiempo. La señal que tiene esta característica (Figura 20) se denomina generalmente **diente de sierra**.

De acuerdo con lo anterior, con la ayuda del osciloscopio podemos analizar la forma de onda de cualquier señal en función del tiempo aplicando la señal en las placas de deflexión vertical y una diente de sierra en las placas de deflexión horizontal. Los osciloscopios cuentan con un generador interno que produce una diente de sierra, cuya pendiente puede ajustarse con un control externo. (Este punto lo analizaremos más adelante cuando estudiemos la base de tiempo ). El eje horizontal de la

pantalla del osciloscopio viene calibrado en unidades de tiempo, mientras que el vertical lo está en unidades de voltaje.

Ahora bien, el osciloscopio no solamente puede presentar formas de onda en función del tiempo, sino que permite también observar sobre su pantalla cualquier figura bidimensional con tal que sea posible aplicar a las placas de deflexión vertical y horizontal un voltaje proporcional a las funciones que tienen que combinarse para obtener la figura deseada. Por ejemplo, geométricamente una circunferencia es la composición de dos señales sinusoidales de la misma amplitud y frecuencia, pero desfasadas entre sí  $\pi/2$ , como podemos observar en la Figura 25.

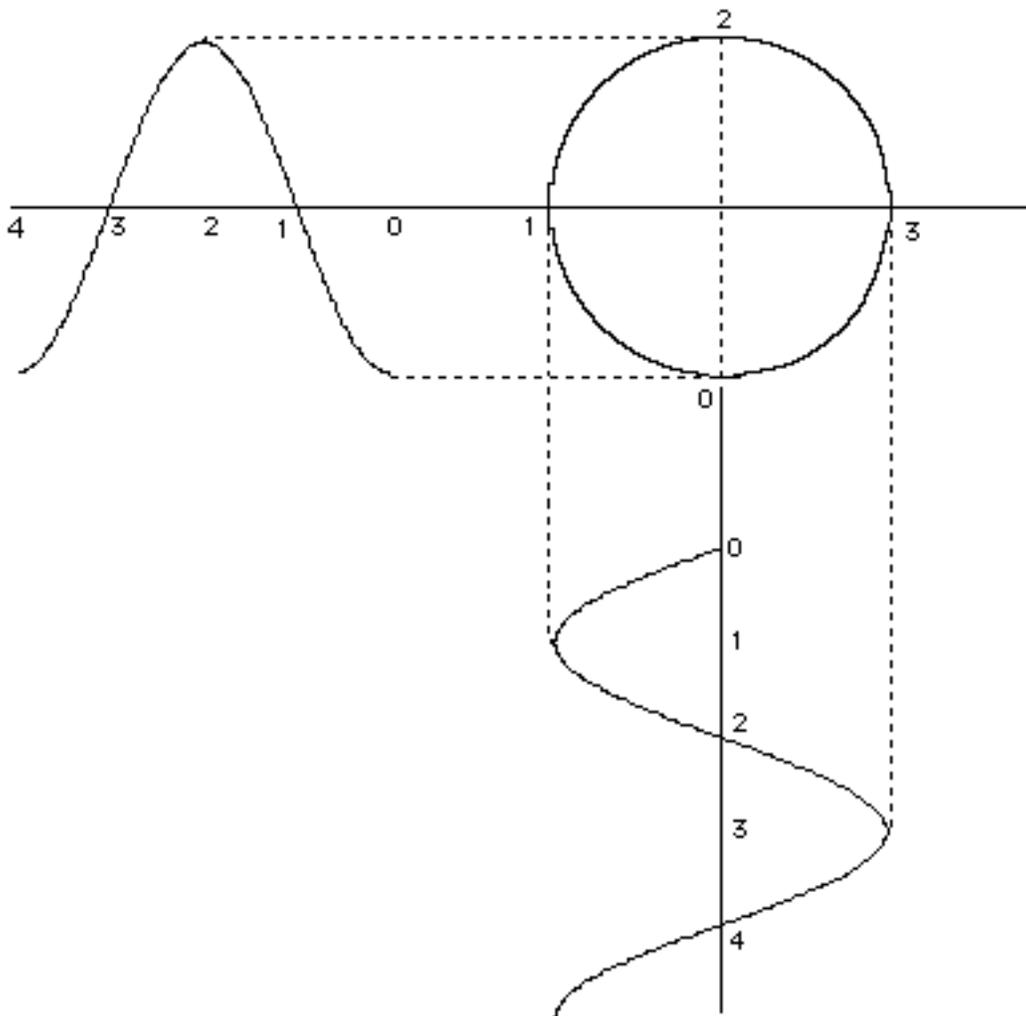


Figura 25.- Composición de una circunferencia

Por lo tanto para obtener una circunferencia en la pantalla del osciloscopio es necesario aplicar a las placas de deflexión dos señales

cuyas características correspondan con las enunciadas en el párrafo anterior.

#### 8.4 EL AMPLIFICADOR VERTICAL.

El amplificador vertical es el bloque encargado de procesar la señal que queremos aplicar en el canal vertical para adaptarla a los requerimientos de voltaje de las placas de deflexión vertical.

##### 8.4.1.- Calibración.

A la señal de entrada se le aplica la amplificación o atenuación necesarias para observarla adecuadamente en la pantalla del osciloscopio. La amplificación o atenuación puede controlarse externamente mediante un selector calibrado que se encuentra en el panel frontal del osciloscopio. Con la ayuda de este selector y las divisiones de la pantalla podemos determinar la amplitud de la señal de entrada. Por ejemplo, si en la pantalla observamos la señal presentada en la Figura 26, y el selector se encuentra ubicado en la posición mostrada en la Figura 27, cada cuadro de la pantalla (división grande) corresponde a 50mV, por lo tanto como la señal abarca 6 divisiones entre su máximo y su mínimo, la amplitud pico a pico de dicha señal de entrada es de 300 mV.

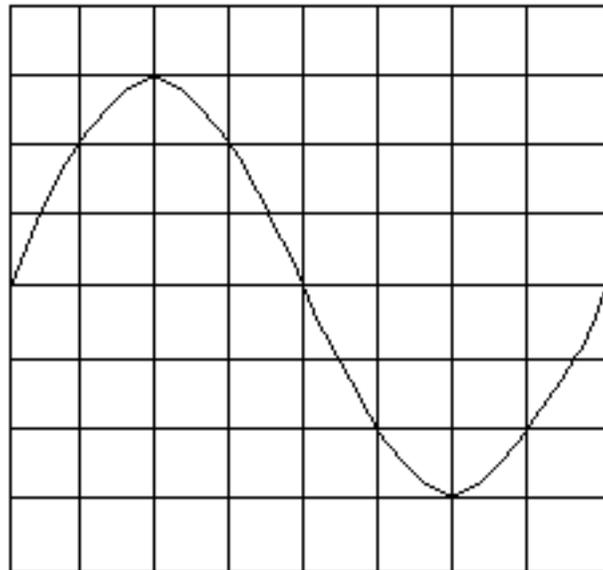


Figura 26.- Señal observada en la pantalla del osciloscopio.

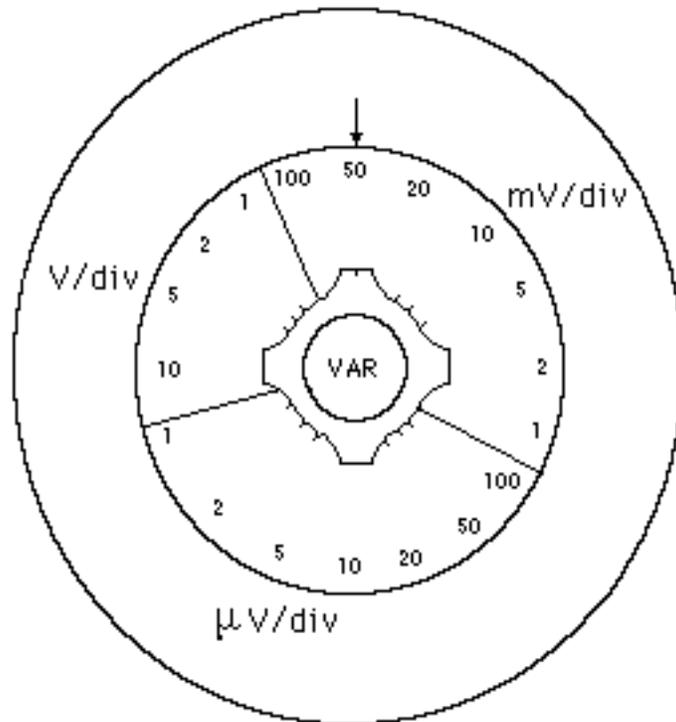


Fig. 27.- Posición del selector calibrado del amplificador vertical.

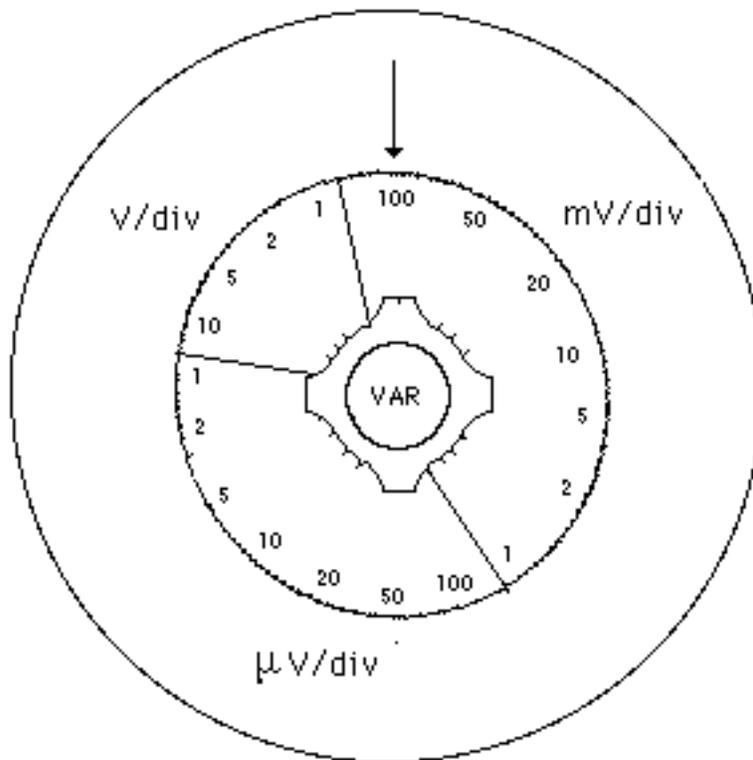


Fig. 28.- Nueva posición del selector calibrado del amplificador vertical.

Si cambiamos el selector de posición y lo colocamos en 100mV/div como se muestra en la Figura 28, a cada cuadro de la pantalla corresponden ahora 100 mV, por lo que si no variamos la señal de entrada, en la pantalla del osciloscopio observaremos la forma de onda presentada en la Figura 29.

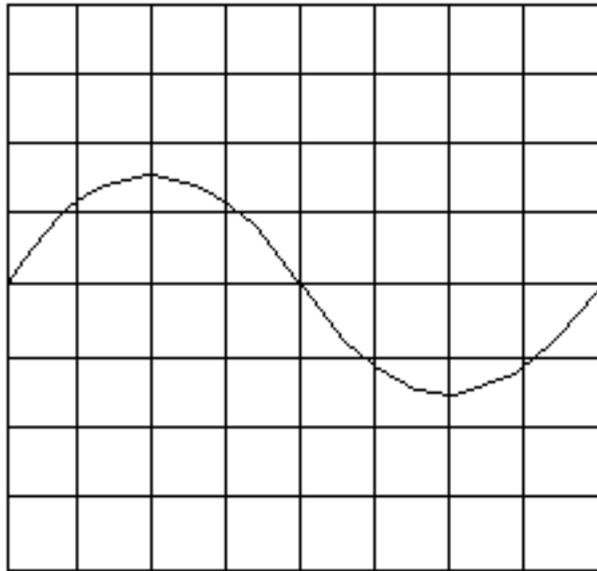


Fig. 29.- Forma de onda obtenida con el selector calibrado en 100 mV/div.

La distancia entre un máximo y un mínimo es de 3 divisiones, y como cada una de ellas corresponde a 100mV, la amplitud de la señal de entrada es de 300mV pico a pico, como en el caso anterior.

#### 8.4.2.- Respuesta en frecuencia.

El amplificador vertical está constituido por una serie de elementos circuitales cuya operación depende de la frecuencia que tenga la señal de entrada. Para un determinado rango de frecuencias, comenzando por cero (esto es señales continuas), el amplificador vertical produce una señal de salida cuya amplitud es proporcional a la de la aplicada a su entrada.

Pero a partir de una cierta frecuencia, la amplitud del voltaje de salida del amplificador comienza a disminuir con respecto al valor teórico que debería tener. La gráfica de la ganancia del amplificador vertical con respecto a la frecuencia de la señal de entrada tiene la forma presentada en la Figura 30.

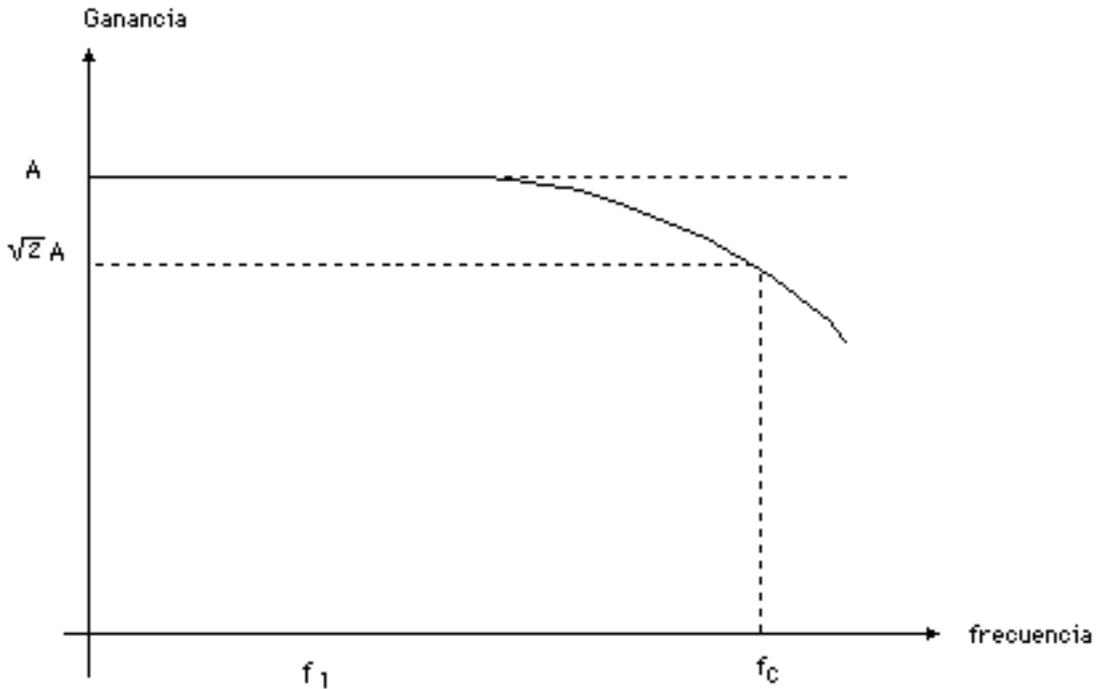


Fig. 30.- Respuesta en frecuencia del amplificador vertical del osciloscopio.

En esta gráfica podemos observar que si la señal de entrada tiene una magnitud  $V_e$  y una frecuencia  $f_1$ , la magnitud del voltaje de salida del amplificador vertical será  $V_s = AV_e$ , pero si la frecuencia es mayor que  $f_c$ ,  $V_s$  será menor que  $AV_e$ . Por lo tanto es necesario especificar el rango de frecuencias en el cual el amplificador opera en la forma deseada. A este rango, comprendido entre la señal continua y la de frecuencia  $f_c$ , para la cual la ganancia del amplificador es  $\sqrt{2}A$ , se le denomina generalmente **ancho de banda del osciloscopio**.

El ancho de banda de los osciloscopios varía considerablemente de un modelo a otro, ya que mientras el de algunos es del orden de 500KHz, el de otros puede llegar a 500MHz.

#### 8.4.3.- Impedancia de entrada.

Otra de las características más importantes del amplificador vertical es su impedancia de entrada. Dicha impedancia generalmente puede representarse circuitalmente por una resistencia del orden de  $1M\Omega$  en paralelo con un condensador cuyo valor puede variar entre 5pF y 30pF ( $1pF = 10^{-12} F$ ), como se muestra en la Figura 31.

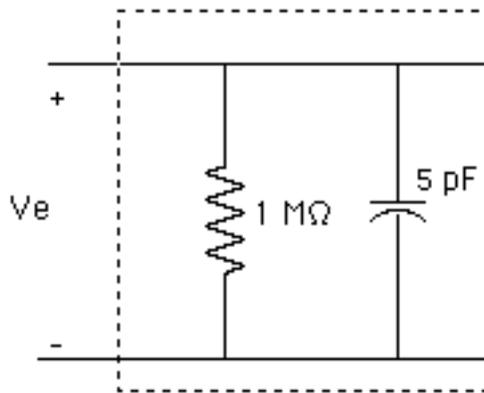


Fig. 31.- Impedancia de entrada del amplificador vertical

A bajas frecuencias, la capacitancia puede despreciarse, pero a medida que la frecuencia de la señal de entrada aumenta, el efecto de dicha capacitancia de entrada es más notable.

Cuando deseamos medir señales en el rango de las centenas de voltios, que están fuera del rango usual de los osciloscopios, es necesario utilizar una punta atenuadora para disminuir la amplitud de la señal en forma proporcional antes de introducirla en el amplificador vertical. Generalmente estas puntas producen una atenuación por un factor de 10, aunque hay algunas cuyo factor es de 100, 1000 ó 10.000. El modelo circuital de las puntas atenuadoras por 10 es el mostrado en la Figura 32.

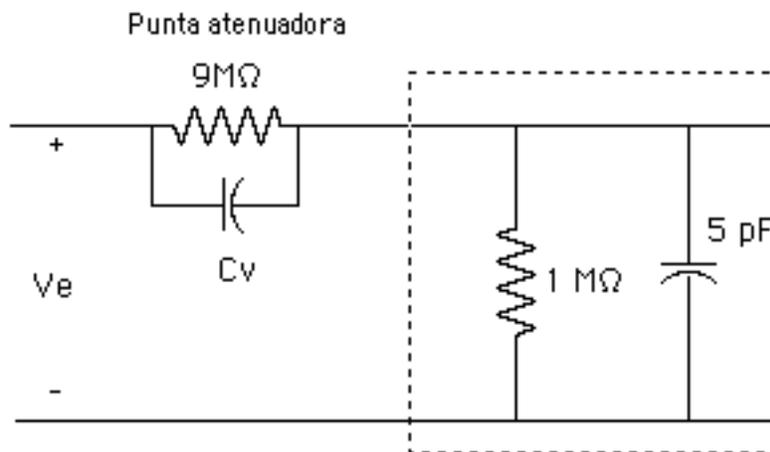


Fig. 32.- Conexión al amplificador vertical mediante una punta atenuadora.

En este caso la impedancia de entrada que presenta el osciloscopio a bajas frecuencias es de  $10M\Omega$ , y a medida que aumenta la frecuencia, se hace más notorio el efecto de las capacitancias.

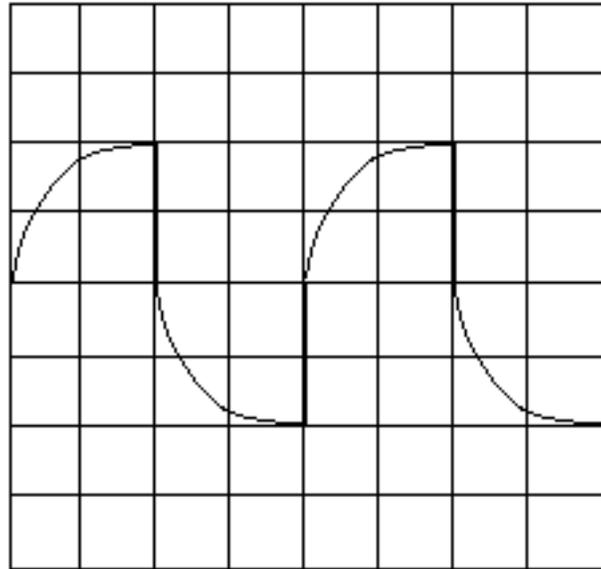


Fig. 33.- Señal obtenida al introducir una onda cuadrada con una punta atenuadora por 10.

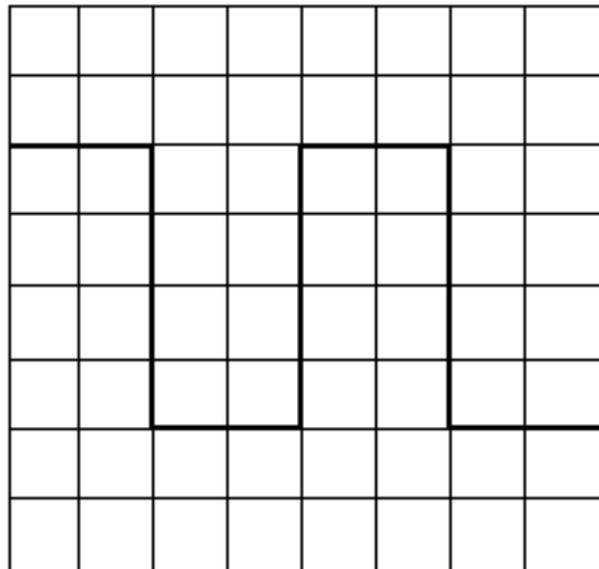


Fig. 34.- Señal obtenida al introducir una onda cuadrada con una punta atenuadora por 10 después del ajuste.

La capacitancia  $C_v$  de la punta de prueba se puede ajustar externamente para compensar la respuesta del amplificador a fin de obtener una figura en la pantalla con la menor distorsión posible. Para ello introducimos una señal cuadrada en la entrada del osciloscopio y variamos  $C_v$  (mediante un tornillo provisto para este propósito) hasta conseguir que la señal que aparece en la pantalla se asemeje lo más posible a una onda cuadrada. Por ejemplo, puede ocurrir que al introducir la onda cuadrada a través de la punta atenuadora por 10 observemos la forma de onda mostrada en la Figura 33.

Ajustando el condensador  $C_v$  para modificar la respuesta del circuito de entrada del amplificador podemos obtener la señal mostrada en la Figura 34.

#### 8.4.4.- Acoplamiento de la señal de entrada.

En el diagrama de bloques presentado en la Figura 1 podemos observar que la entrada al amplificador vertical puede provenir de tres puntos diferentes: Uno identificado con las siglas GND, correspondientes a la palabra inglesa Ground, que conecta la entrada al nivel de tierra, un acoplamiento directo, identificado como DC y un acoplamiento a través de un condensador, identificado como AC. (La señal de entrada al amplificador vertical podemos acoplarla de dos formas, una de ellas directamente a través de un condensador:

La primera conexión es de utilidad para determinar la posición del nivel de 0V en la pantalla del osciloscopio.

El acoplamiento directo (DC) permite observar todas las componentes de la señal de entrada. Así, por ejemplo, si la señal de entrada tiene la forma de onda presentada en la Figura 35, cuya ecuación es  $V_E = 2.5V + 0.5V\text{sen}(\omega t)$ , y el selector del canal vertical está en 1 V/div, en la pantalla del osciloscopio vamos a observar la forma de onda mostrada en la Figura 36.

Si el acoplamiento se realiza a través del condensador (AC), dicho condensador se va a cargar al valor del voltaje continuo que contenga la señal de entrada, por lo que a la entrada del amplificador vertical sólo va a llegar la componente alterna, y para las mismas condiciones del caso anterior, en la pantalla del osciloscopio vamos a observar la forma de onda mostrada en la Figura 37.

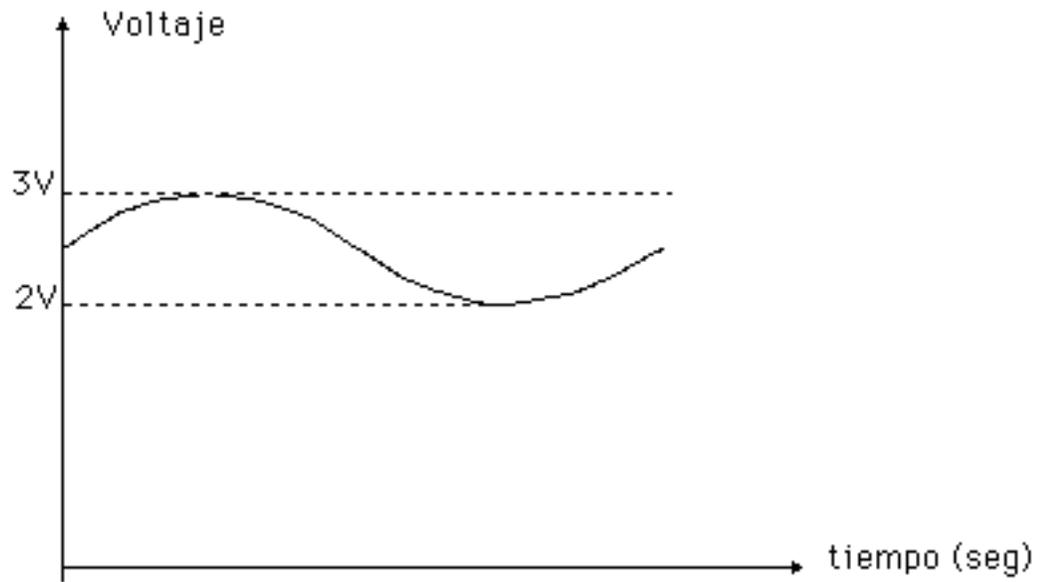


Fig. 35.- Señal de entrada al osciloscopio.

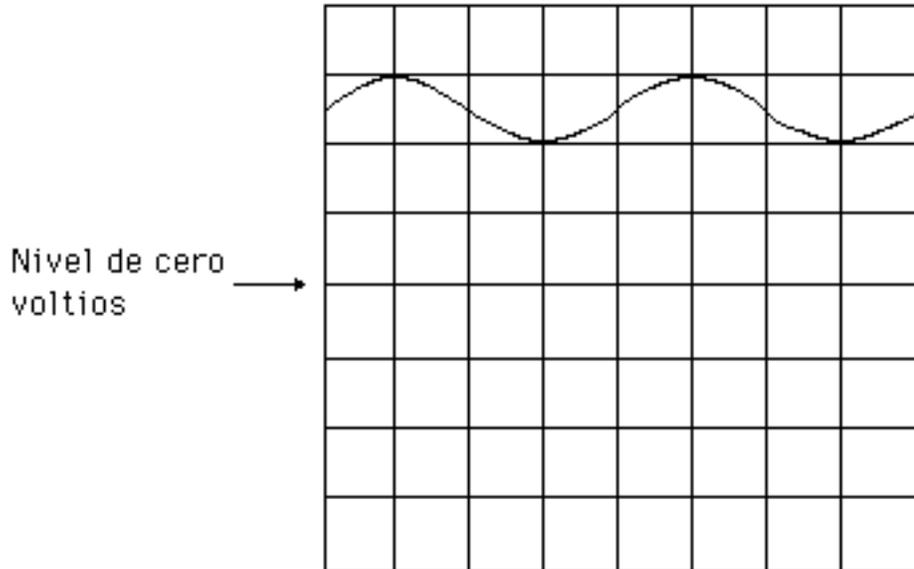


Fig. 36.- Forma de onda observada con la señal de la Figura 35 y acoplamiento DC. (Canal vertical: 1 V/div).

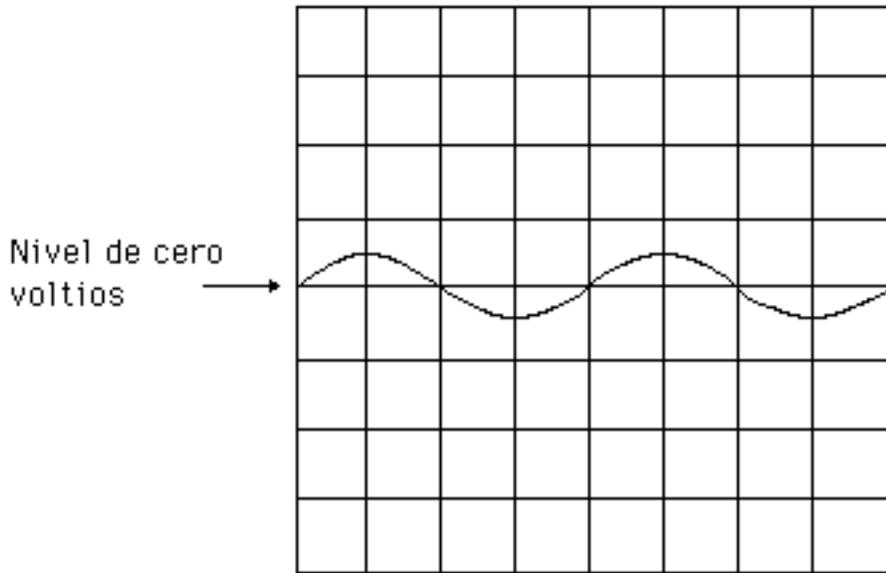


Fig. 37.- Forma de onda observada con la señal de la Figura 35 y acoplamiento AC. (Canal vertical: 1 V/div).

La utilidad de poder acoplar una señal en modo AC ó DC es la siguiente: Consideremos que tenemos una señal similar a la del ejemplo anterior pero cuya componente continua es de 10V, esto es,  $V_E = 10V + 0.5V\text{sen}(\omega t)$ , y estamos interesados en medir la amplitud de dicha componente alterna. Si acoplamos la señal de entrada en forma directa, esto es, en modo DC, y colocamos el selector del canal vertical en 5 V/div, en la pantalla del osciloscopio observaremos la forma de onda presentada en la Figura 38.

Como es evidente, con esta amplificación no podemos medir la amplitud de la componente alterna, y si variamos el selector por ejemplo a 1 V/div, la señal desaparece de la pantalla.

Si ahora acoplamos la señal en el modo AC, con las mismas condiciones anteriores en la pantalla del osciloscopio obtenemos la forma de onda presentada en la Figura 39. A continuación podemos variar la ganancia del amplificador vertical hasta obtener una señal como la mostrada en la Figura N<sup>o</sup> 40.

Como podemos observar, los dos modos de acoplamiento nos permiten realizar mediciones que de otra forma sería imposible llevar a cabo.

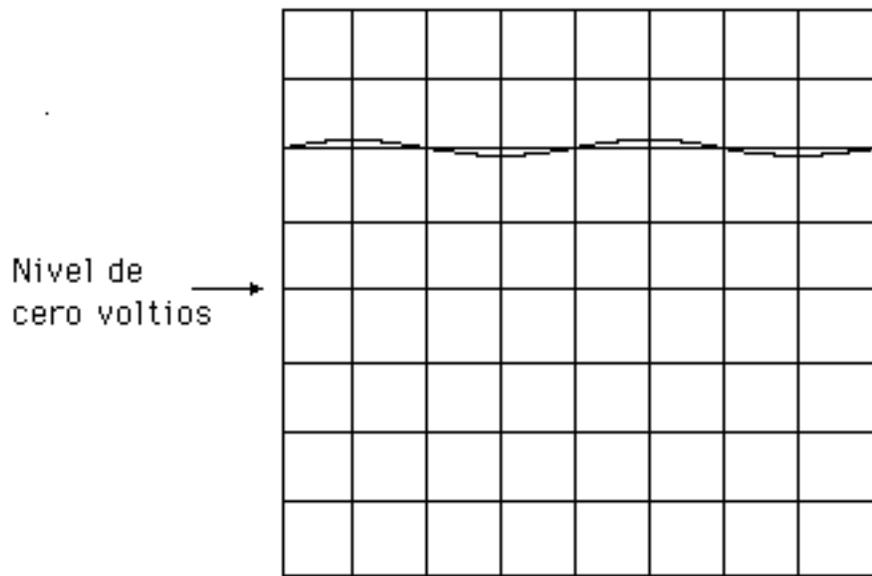


Fig. 38.- Forma de onda observada con la señal  $V_E = 10V + 0.5V\text{sen}(\omega t)$  en acoplamiento DC. (Canal vertical: 5 V/div).

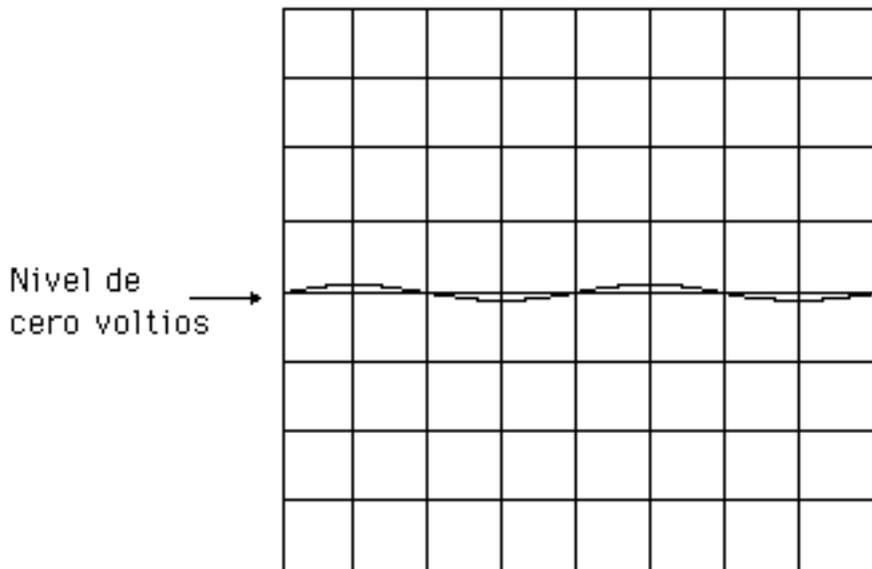


Fig. 39.- Forma de onda observada con la señal  $V_E = 10V + 0.5V\text{sen}(\omega t)$  en acoplamiento AC. (Canal vertical: 5 V/div).

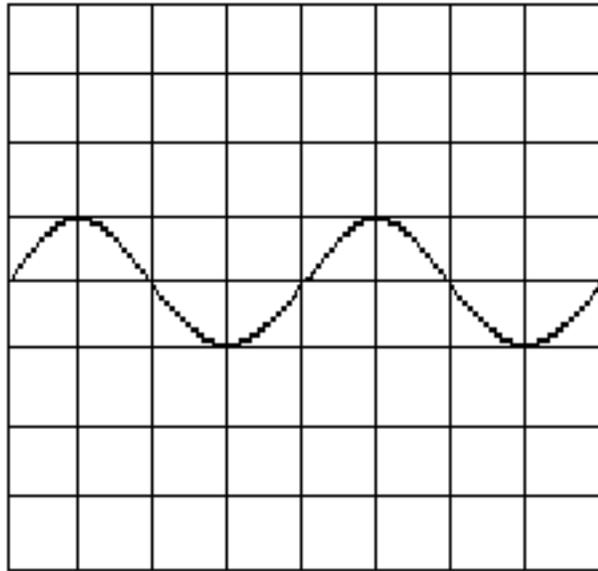


Fig. 40.- Forma de onda observada con la señal  $V_E = 10V + 0.5V\text{sen}(\omega t)$  en acoplamiento AC. (Canal vertical: 0,5 V/div).

### 8.5 LA BASE DE TIEMPO.

La base de tiempo o generador de barrido es la parte del osciloscopio que se encarga de generar la diente de sierra que se va a aplicar a las placas de deflexión horizontal para poder observar las señales introducidas en el amplificador vertical en función del tiempo. La Figura 41 muestra la señal diente de sierra generada por este circuito.

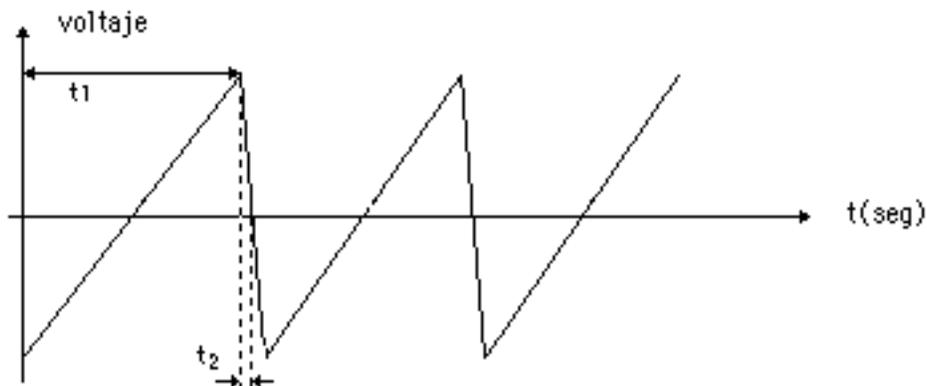


Fig. 41.- Señal diente de sierra generada por la base de tiempo.

En la Figura 41 podemos observar también que el tiempo requerido para que el haz regrese del extremo derecho al izquierdo de la pantalla ( $t_2$ ) es mucho menor que el de barrido de izquierda a derecha ( $t_1$ ).

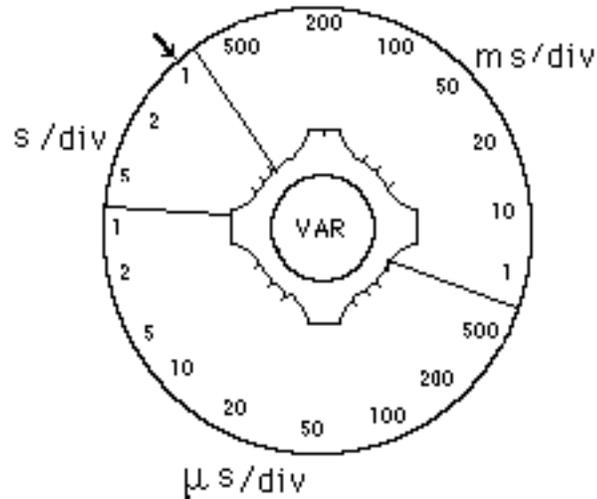


Fig. 42.- Selector calibrado para la base de tiempo.

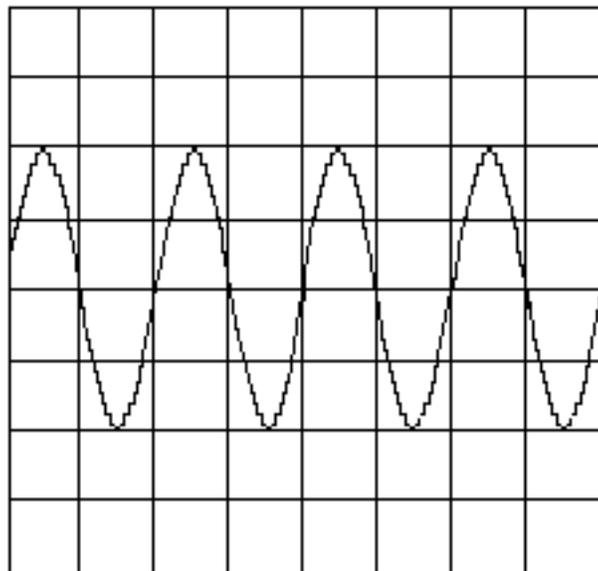


Fig. 43.- Medición de la frecuencia de una señal. Selector de tiempo: 500  $\mu$ seg/div. Período: Dos divisiones, 1 mseg. Frecuencia: 1KHz.

La velocidad del punto luminoso sobre la pantalla depende de la pendiente de la diente de sierra, es decir, de la variación del voltaje por unidad de tiempo. Esta pendiente puede variarse mediante un selector

externo, que está calibrado en unidades de tiempo, como podemos observar en la Figura 42. Si el selector se encuentra en la posición indicada en dicha figura, cada división en el sentido horizontal corresponde a 1 seg.

Con la ayuda de este selector podemos determinar períodos y frecuencias de las señales presentadas en la pantalla del osciloscopio. Así por ejemplo, para la forma de onda mostrada en la Figura 43, un ciclo de la señal cubre dos cuadros. Si el selector de tiempo está en  $500 \mu\text{seg/div}$ , el período de la señal es 1 mseg., y por lo tanto la frecuencia de la misma es igual a 1 KHz.

### 8.6 EL CIRCUITO DE DISPARO.

Si queremos observar en la pantalla del osciloscopio un ciclo completo de una señal sinusoidal, el tiempo en el que el haz recorre

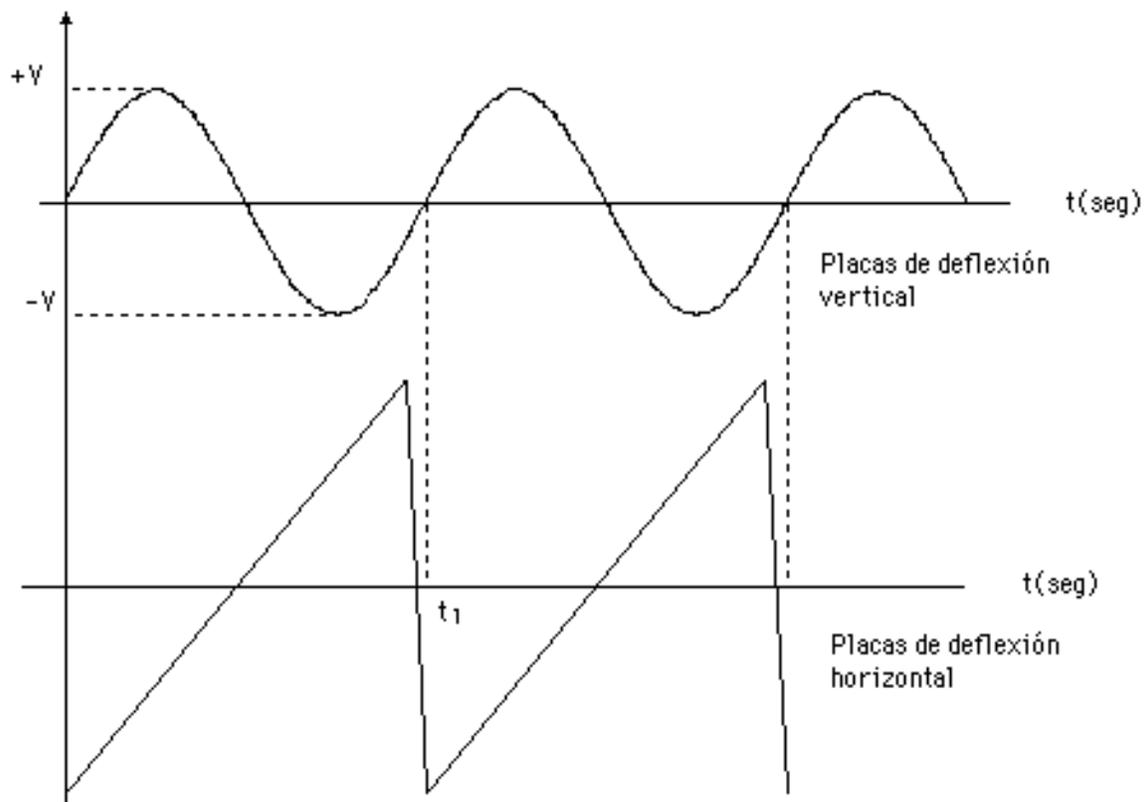


Fig. 44.- Relación señal - diente de sierra para observar un período.

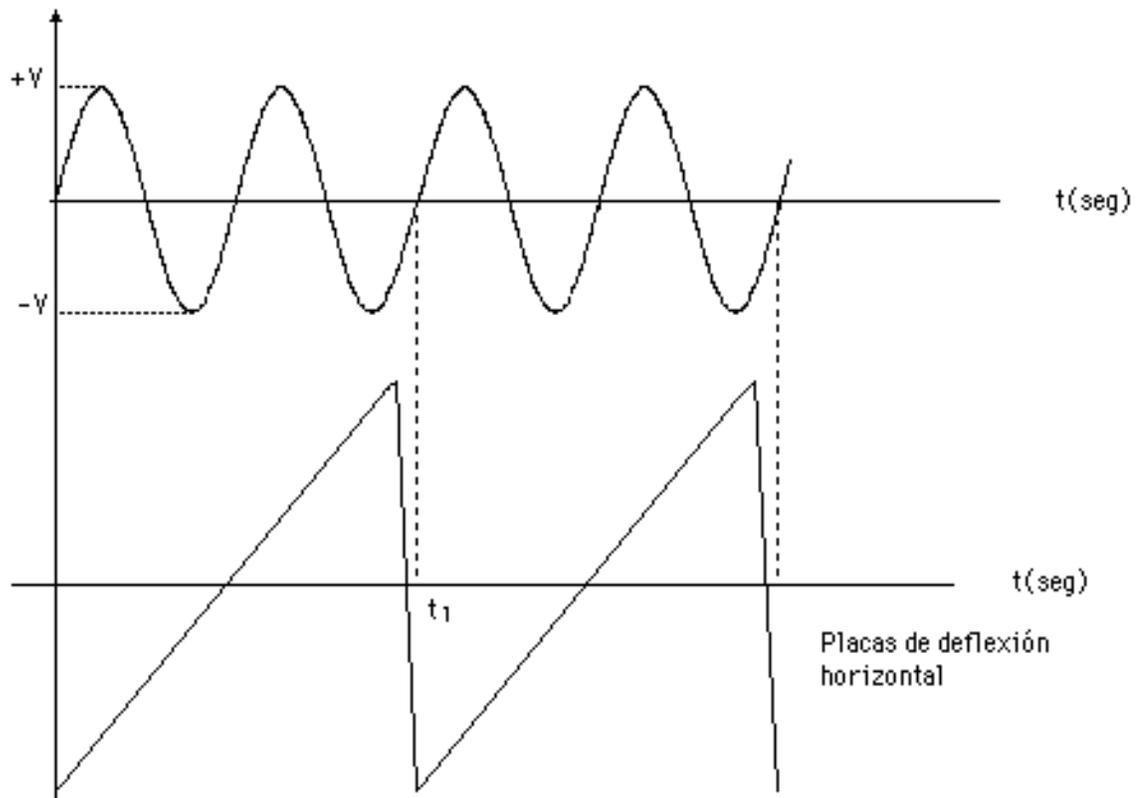


Fig. 45.- Relación señal - diente de sierra para observar dos períodos.

toda la pantalla (tiempo  $t_1$  en la Figura 41) debe ser igual al período de la señal, como podemos observar en la Figura 44.

Ahora bien, si queremos observar dos ciclos de dicha señal, el tiempo  $t_1$  de la diente de sierra deber ser igual al doble del período de la señal sinusoidal, como se muestra en la Figura 45.

¿Qué sucede si el tiempo  $t_1$  de la diente de sierra no es múltiplo del período de la señal sinusoidal? Para estudiar este caso analicemos la Figura 46.

Durante el período de tiempo en que ocurre el barrido N° 1, en la pantalla del osciloscopio aparece la señal sinusoidal de 0 a A. Durante el barrido N° 2 aparece en la pantalla del osciloscopio la señal comprendida entre B y C, y durante el barrido N° 3 aparece la comprendida entre D y E.

Como podemos observar, los puntos iniciales de cada una de estas imágenes (y por lo tanto todos los demás) no están en fase con los correspondientes a las imágenes anteriores, y por lo tanto las señales no

se van a superponer dando lugar a una figura estable en la pantalla, sino que cada una de ellas va a seguir una trayectoria diferente, con lo cual la impresión de conjunto es que la señal sinusoidal se está desplazando, y en consecuencia es imposible realizar mediciones.

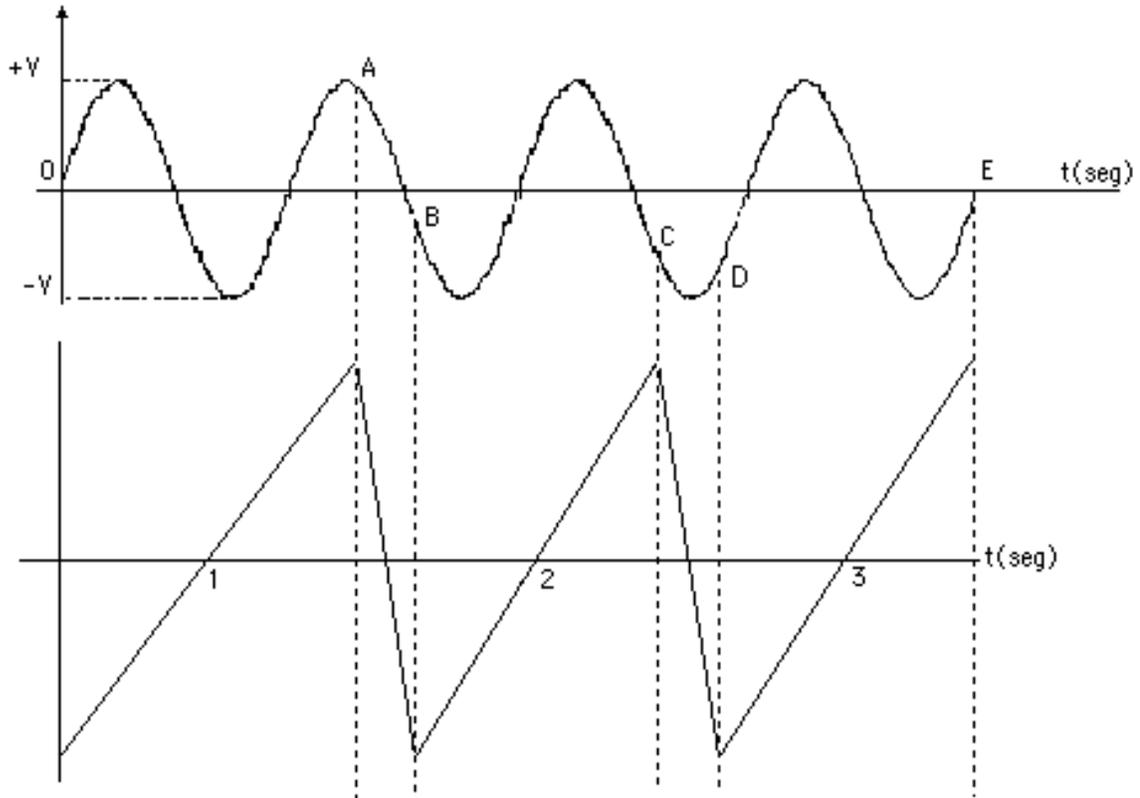


Fig. 46.- Señales en las que el tiempo  $t_1$  de la diente de sierra no es múltiplo del período de la sinusoidal.

La forma de solucionar este problema es utilizar un circuito de disparo, que sincronice la diente de sierra con la señal aplicada en el canal vertical.

Sabemos que el período de la diente de sierra puede ajustarse mediante el selector externo, pero este ajuste es por pasos discretos, por lo tanto en la mayoría de los casos no podremos obtener un período cuyo valor sea un número entero de veces el de la señal de entrada. Por lo tanto tenemos que buscar una solución más apropiada que nos permita utilizar, en principio, cualquier diente de sierra con cualquier señal de entrada.

Esta solución es el circuito de disparo o "trigger". A la entrada del circuito de disparo pueden conectarse diferentes señales (señal interna,

señal externa, o señal de 60 Hz proveniente de la línea de alimentación), según observamos en la Figura 1. Consideremos en primer lugar que la señal aplicada al circuito de disparo es la misma que la del amplificador vertical (señal interna). Dicho circuito es capaz de detectar los instantes de tiempo en los que la señal de entrada tiene una magnitud y una fase determinadas, como por ejemplo, los puntos A, B, C y D en la Figura 47.

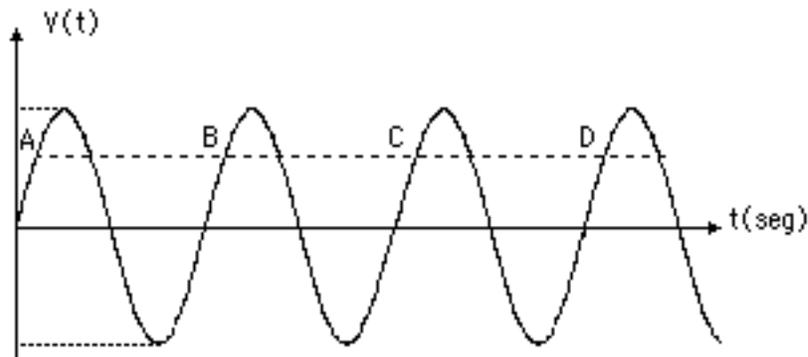


Fig. 47.- Identificación de los puntos donde la señal de entrada tiene la misma amplitud y fase.

Cuando el circuito de disparo detecta que la señal de entrada se encuentra en el punto A (o en cualquier otro con la misma amplitud y fase), produce un pulso que a su vez inicia la función diente de sierra, como podemos observar en la Figura 48.

La diente de sierra controla el movimiento horizontal del haz de electrones. Cuando el punto luminoso llega al extremo derecho de la pantalla, esto es, al punto H, no se regresa para comenzar un nuevo ciclo, sino que sigue avanzando hacia la derecha, fuera del campo de la pantalla hasta que el circuito de disparo detecta el próximo punto en que la señal de entrada tiene igual fase que A (en este caso C), y produce otro pulso que vuelve a generar un ciclo de la diente de sierra, como se muestra en la Figura 49.

La figura originada por el segundo barrido de la diente de sierra se superpone sobre la primera, produciendo en la pantalla del osciloscopio una imagen estable, (Fig. 50), sobre la que podemos realizar mediciones de amplitud, período, frecuencia y fase.

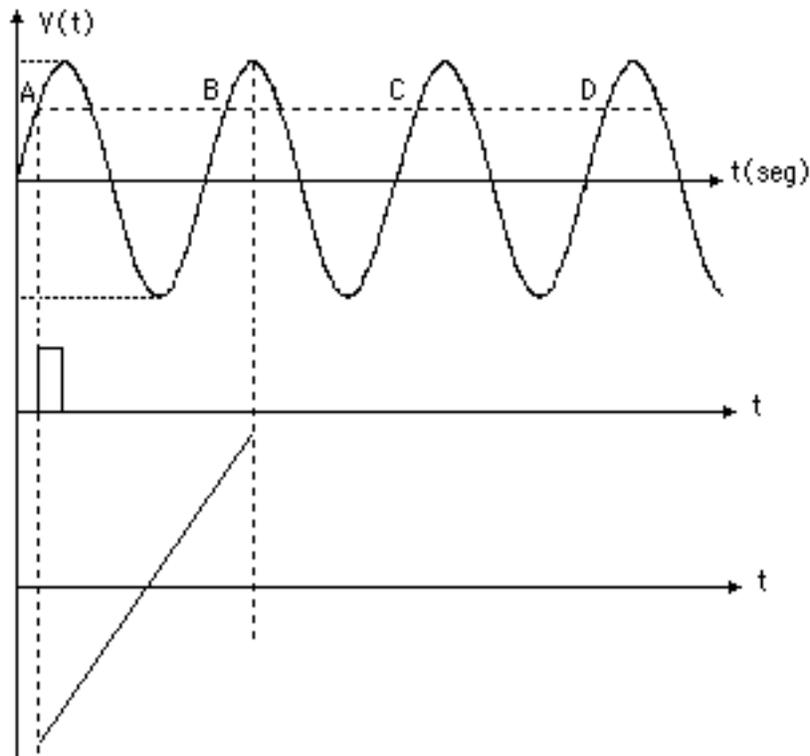


Fig. 48.- Generación del pulso de disparo para la diente de sierra.

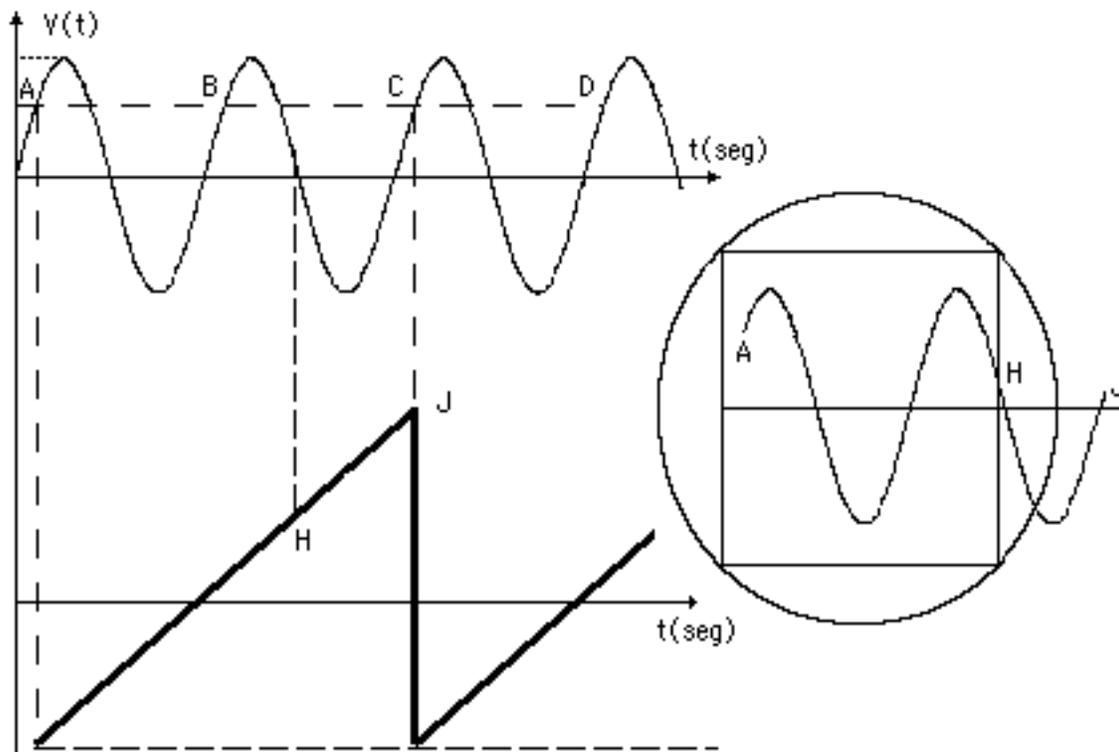


Fig. 49.- Funcionamiento del circuito de disparo.

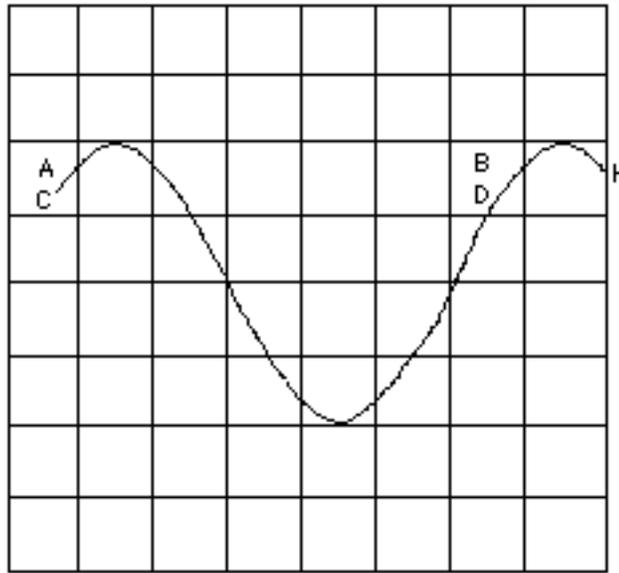


Fig. 50.- Imagen estable de la señal de entrada.

El circuito de disparo también puede utilizar una señal externa, introducida generalmente a través del terminal identificado como Entrada "X" en el panel frontal del osciloscopio, o la señal de alimentación de 60 Hz, como las señales de referencia para generar el pulso que va a iniciar la diente de sierra. Estas opciones nos permiten observar en la pantalla del osciloscopio señales que por sus características no es factible sincronizarlas utilizando la conexión interna, como iremos descubriendo a medida que trabajemos con el osciloscopio en diferentes aplicaciones (señales transitorias, señales moduladas, etc.).

El punto en el que se va a disparar la diente de sierra puede seleccionarse mediante dos controles: Un control externo continuo que en la mayoría de lo osciloscopios está identificado con el rótulo "Trigger level", es decir, nivel de disparo, con el cual se puede escoger el nivel de voltaje, y otro control externo que consta de un selector de dos posiciones, con el que se puede elegir el signo de la pendiente del punto donde se va a producir el disparo.

## 8.7 EL AMPLIFICADOR HORIZONTAL.

La función del amplificador horizontal es darle a las señales que van a conectarse a las placas de deflexión horizontal una amplitud de voltaje

adecuada para producir el desplazamiento correspondiente del haz de electrones.

Este amplificador tiene dos entradas posibles: La salida de la base de tiempo, esto es, la diente de sierra, y una señal externa proveniente del terminal identificado como Entrada "X" en el panel frontal del osciloscopio, según podemos observar en la Figura 1.

La señal externa proveniente de la Entrada "X" cumple dos funciones:

- Si la base de tiempo está conectada al amplificador horizontal y la entrada "X" está conectada al circuito de disparo, la señal introducida por "X" es la que va a determinar el punto en el que va a actuar el circuito de disparo.

- Si la base de tiempo no está conectada, la señal introducida por "X" pasa directamente al amplificador horizontal y de éste a las placas de deflexión horizontal. En esta posición en la pantalla del osciloscopio se pueden obtener todas aquellas figuras en las que no debe intervenir la diente de sierra, como por ejemplo, las figuras de Lissajous.

## 8.8 EL AMPLIFICADOR DE CONTROL DE INTENSIDAD..

Hemos visto que la diente de sierra (Figura N° 41) requiere de un intervalo de tiempo  $t_2$  para pasar de su voltaje máximo a su voltaje mínimo, y comenzar un nuevo ciclo. Aunque este tiempo  $t_2$  es pequeño comparado con  $t_1$ , no es igual a cero. Durante este intervalo el haz de electrones realiza un trazo de retorno que recorre la pantalla del osciloscopio de derecha a izquierda. Si no se toma ninguna medida adicional, este trazo va a interferir con la forma de onda que queremos analizar, como podemos observar en la Figura 51.

Este problema se soluciona con un circuito denominado **amplificador de control de intensidad**, el cual detecta en qué intervalos de tiempo la pendiente de la diente de sierra es negativa, y durante dichos intervalos aplica un potencial negativo a la grilla del cañón electrónico del TRC para evitar que los electrones emitidos por el cátodo puedan llegar a la pantalla, eliminando el trazo de retorno.



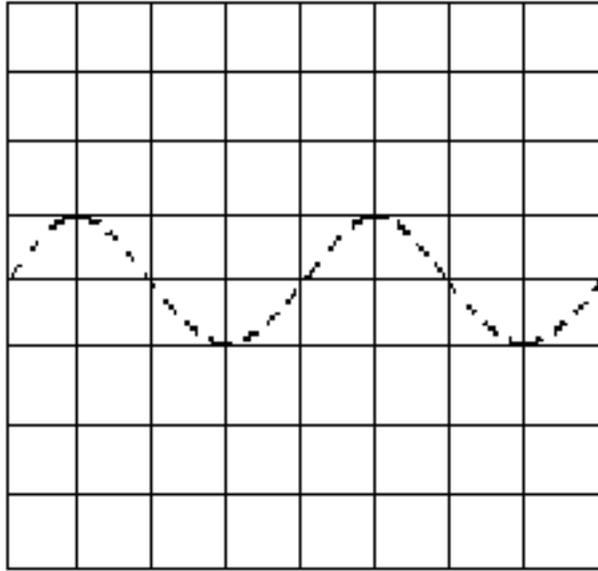


Fig. 52.- Señal obtenida al aplicar una forma de onda cuadrada al eje "Z".

### 8.9 LA LINEA DE RETARDO..

Al estudiar el circuito de disparo vimos que este circuito toma una muestra de la señal aplicada al amplificador vertical y cuando dicha señal pasa por un punto específico, genera un pulso que pone en funcionamiento el generador de la diente de sierra.

Ahora bien, este proceso toma un determinado tiempo, por lo que cuando se comienza a generar la diente de sierra, la señal aplicada a la entrada del amplificador vertical está en un punto diferente al del comienzo del proceso, y en consecuencia se ha perdido parte de la información.

Así por ejemplo, si el circuito de disparo está ajustado para detectar como punto de disparo el punto A de la señal mostrada en la Figura 53, y el pulso generado por dicho circuito dispara el generador que produce la diente de sierra cuando la señal de entrada va por el punto B, se ha perdido la información de la señal de entrada entre los puntos A y B, ya que en la pantalla del osciloscopio va a aparecer la señal sinusoidal a partir del punto B.

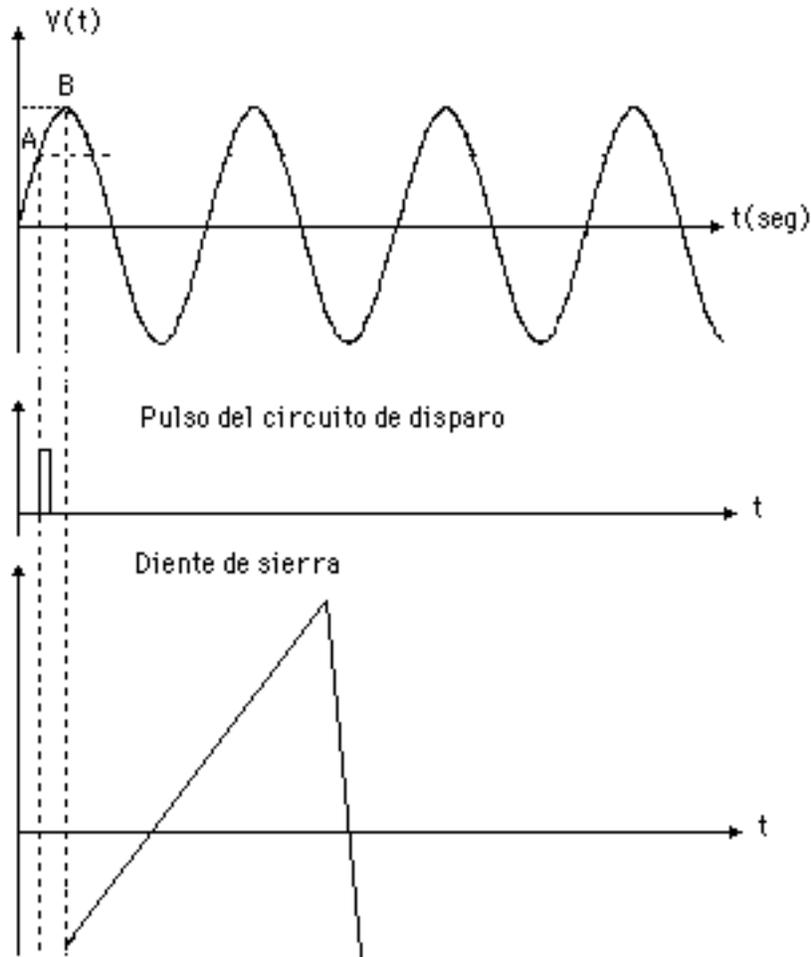


Fig. 53.- Efecto del retardo en las señales del osciloscopio.

Para evitar este problema, entre el amplificador vertical y las placas de deflexión vertical se coloca una **línea de retardo**, según podemos observar en la Figura 1, cuya función, como su nombre lo indica, es retardar la señal proveniente del amplificador vertical para que comience a aplicarse sobre las placas de deflexión vertical al mismo tiempo que la diente de sierra lo hace sobre las de deflexión horizontal.

El retardo introducido por esta línea es aproximadamente igual al tiempo requerido por el circuito de disparo para operar correctamente.

### 8.10 LAS FUENTES DE ALIMENTACION.

Un último bloque, no mostrado en el diagrama de la Figura 1, pero imprescindible en todo circuito electrónico, es el que contiene las Fuentes de Alimentación, constituidas por lo general por Fuentes de Voltaje DC Reguladas, que toman la energía de la línea comercial (110V, 60Hz), la rectifican y la transforman en un conjunto de voltajes continuos, necesarios para la operación de los diferentes bloques del osciloscopio.

### 8.11 LAS PUNTAS DE PRUEBA DEL OSCILOSCOPIO.

Del estudio que hemos realizado hasta este punto, podemos concluir que el osciloscopio es un instrumento que nos permite observar y hacer mediciones sobre señales de voltaje de un circuito eléctrico o electrónico.

Un voltaje se mide entre dos puntos de un circuito, uno de los cuales se toma como referencia, por lo tanto las **puntas de prueba** del osciloscopio, esto es, los dispositivos que nos van a permitir introducir los voltajes que deseamos medir en los amplificadores vertical y horizontal del osciloscopio, deben tener dos terminales, uno de los cuales actúa como la referencia antes mencionada. Este terminal generalmente lo denominamos **tierra** porque corresponde al nivel de cero voltios.

Las puntas de prueba tienen la estructura que podemos observar en la Figura 54.

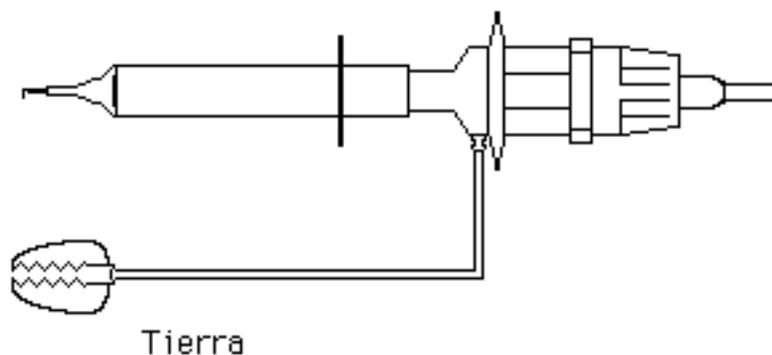


Fig. 54.- Punta de prueba de un osciloscopio.

Cuando conectamos las puntas de prueba de un osciloscopio a cualquier circuito, debemos tener mucho cuidado al ubicar la conexión de las tierras de dichas puntas.

En primer lugar, debemos tener presente que las tierras de todas las puntas de prueba de un mismo osciloscopio están conectadas al mismo voltaje de referencia, por lo que no pueden colocarse en puntos diferentes del circuito bajo medición, ya que al hacerlo, estaríamos cortocircuitando dichos puntos, con las consecuencias que este cortocircuito pueda tener.

Supongamos por ejemplo que tenemos un circuito constituido por un generador, una resistencia y un condensador, y queremos conectar el osciloscopio para realizar algunas mediciones, como se muestra en la Figura 55.

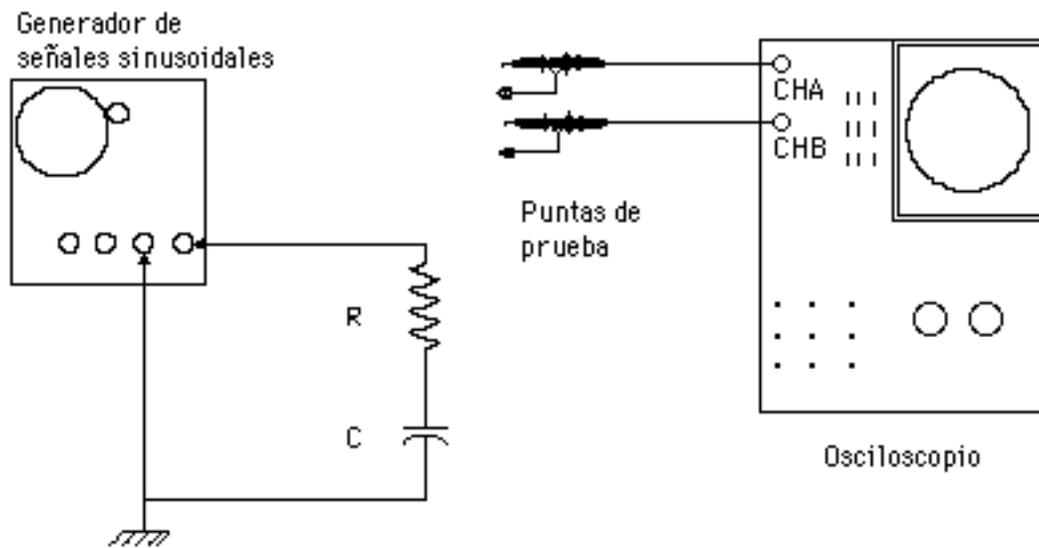


Fig. 55.- Circuito bajo medición y osciloscopio

Si colocamos la tierra de la punta de prueba correspondiente al canal A entre el condensador y el generador, la tierra de la punta del canal B debe ir en el mismo punto, como podemos observar en la Figura 56.

Si conectásemos la tierra del canal B entre la resistencia y el condensador dejando la del canal A en el mismo punto, como se muestra en la Figura 57, como dichas tierras están conectadas al mismo punto de referencia en el osciloscopio, cortocircuitaríamos el condensador, modificando substancialmente el circuito bajo medición.

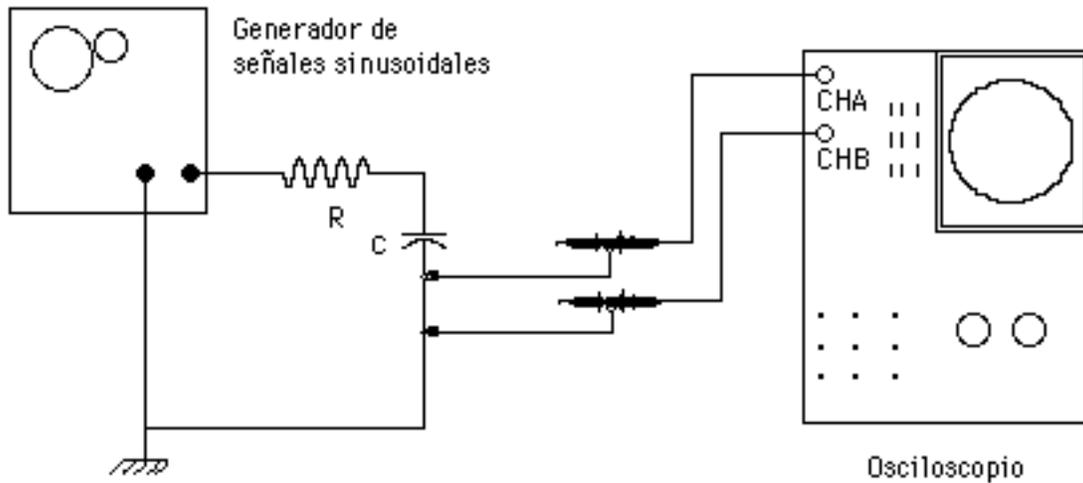


Fig. 56.- Conexión correcta de las tierras del osciloscopio.

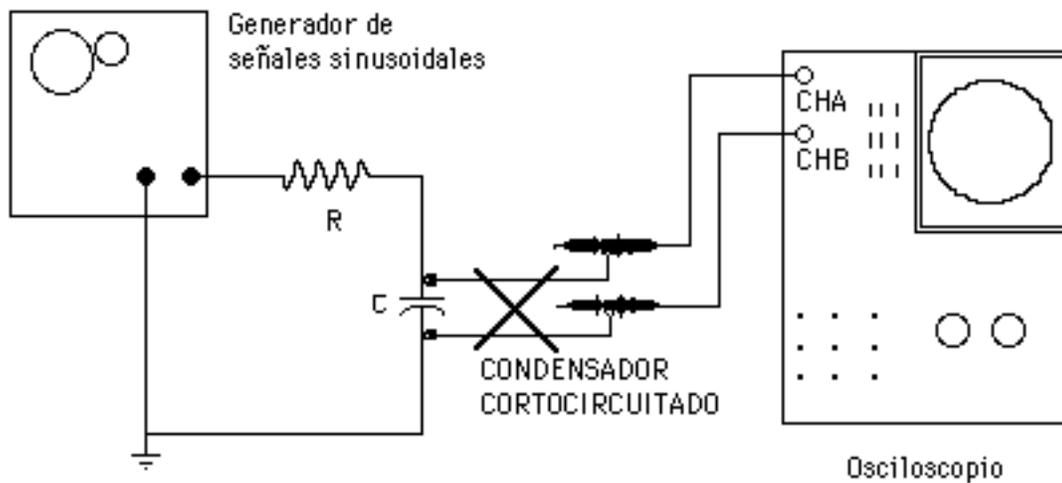


Fig. 57.- Conexión **incorrecta** de las tierras del osciloscopio.

Existe otro punto referente a la conexión de tierras que debemos tener muy en cuenta cuando conectemos un osciloscopio a un circuito.

En el laboratorio, los tomacorrientes de los mesones tienen sus terminales dispuestos en la forma que podemos observar en la Figura 58. En este tipo de tomacorrientes, el terminal circular de cada uno de ellos está conectado a un cable que constituye la conexión a **tierra**. Si los instrumentos de laboratorio se conectan a los tomacorrientes con enchufes de tres terminales, la tierra de todos ellos es el mismo punto eléctrico.

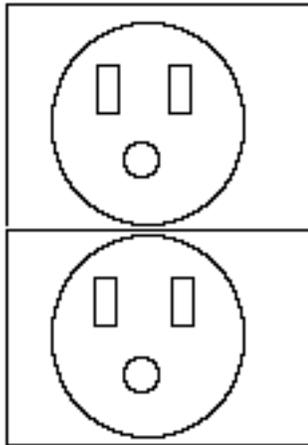


Fig. 58.- Tomacorrientes de los mesones del laboratorio.

Así por ejemplo, si el generador de señales y el osciloscopio presentados en las Figuras 56 y 57 están conectados a los tomacorrientes con enchufes de tres terminales, el punto de tierra de ambos instrumentos es común.

Esto significa que debemos conectar las tierras de las puntas de prueba del osciloscopio **únicamente** en el punto del circuito donde se encuentre la del generador, porque de hacerlo en cualquier otro punto, cortocircuitaríamos algunos elementos del circuito. Por lo tanto, en estas circunstancias, la **única conexión correcta** es la mostrada en la Figura 56.

Ahora bien, en algunos casos necesitamos ubicar las tierras de las puntas de prueba del osciloscopio en un punto eléctrico diferente al de la tierra del generador.

Vamos a utilizar el mismo ejemplo anterior para estudiar este hecho. Si queremos observar simultáneamente el voltaje en el condensador y el voltaje en la resistencia, tenemos que conectar la tierra del osciloscopio entre la resistencia y el condensador, como podemos observar en la Figura 59.

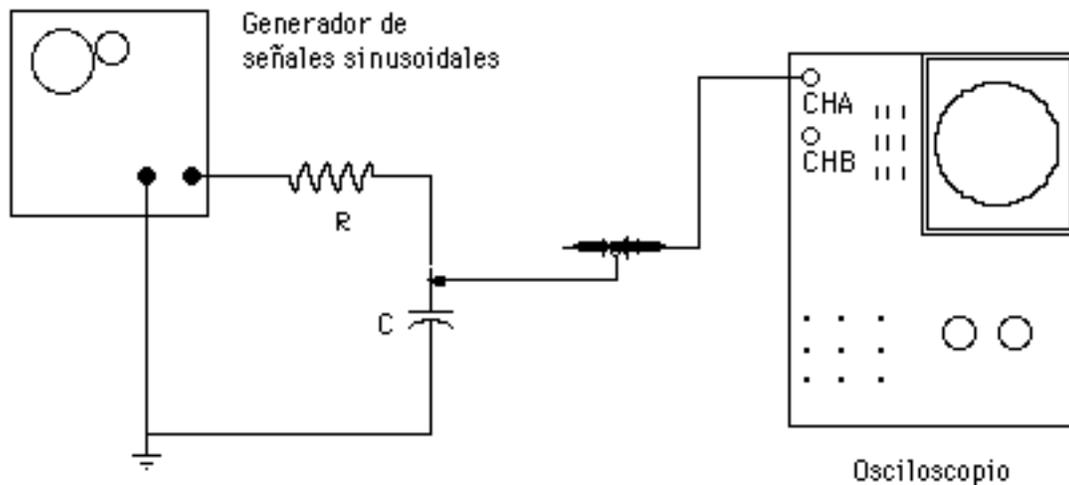


Fig. 59.- Conexión de tierra necesaria para observar simultáneamente el voltaje en la resistencia y en el condensador.

Este tipo de conexión solo puede realizarse si las tierras del generador y del osciloscopio no estén conectadas al mismo punto eléctrico del sistema.

Esto se logra **aislando** o **haciendo flotar** el osciloscopio, dos términos que significan que dicho instrumento no se ha conectado a la tierra común del sistema. Para evitar esta conexión hay que eliminar la conexión al tercer terminal del tomacorrientes, utilizando un adaptador especial (tres a dos), con lo cual el punto común del osciloscopio es independiente de la tierra del generador. Otra forma de lograr este objetivo es utilizando un transformador de aislamiento.

Una vez que el osciloscopio está aislado, podemos conectar el terminal de tierra de la punta de prueba en cualquier punto del circuito (teniendo siempre presente que donde conectemos una punta de prueba debemos conectar todas las demás, porque éstas siguen estando interconectadas entre sí dentro del osciloscopio) .

La Figura 60 nos muestra las conexiones que tenemos que realizar para observar simultáneamente en el osciloscopio el voltaje sobre el condensador y la resistencia. Las dos tierras están conectadas entre el condensador y la resistencia, y el osciloscopio debe estar **flotando**. Si este no es el caso, el condensador quedaría cortocircuitado, como vimos anteriormente.

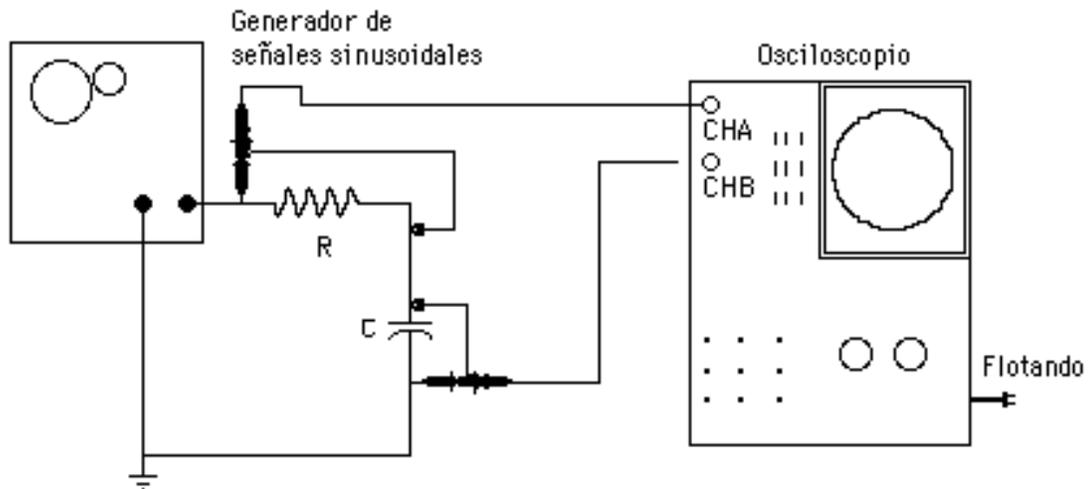


Figura 60.- Conexión para observar simultáneamente el voltaje en el condensador y en la resistencia

## 8.12 CLASIFICACION DE LOS OSCILOSCOPIOS.

Los osciloscopios se pueden clasificar de acuerdo a varios aspectos: En base a su ancho de banda, al tipo de TRC utilizado y a la cantidad de señales a visualizar simultáneamente.

### 8.12.1.- En base a su ancho de banda.

De acuerdo con esta característica, los osciloscopios se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Osciloscopios de baja frecuencia, para los que el ancho de banda del amplificador vertical llega hasta 10MHz.
- Osciloscopios de alta frecuencia, para los que el ancho de banda del amplificador vertical va de los 10MHz a los 500MHz ó más.
- Osciloscopios de muestreo, los cuales mediante un proceso especial son capaces de presentar en sus pantallas señales cuyas frecuencias están en el orden de 18GHz (1GHz =  $10^9$ Hz).

8.12.2.- En base al tipo de TRC utilizado.

- Osciloscopios de fósforo "standard", los cuales tienen una pantalla recubierta con un tipo de fósforo que emite luz cuando incide el haz sobre él, y deja de emitir en el momento que cesa la incidencia.

- Osciloscopios de memoria, los cuales continúan presentando la imagen en la pantalla aún después que cesa la incidencia del haz, gracias a un fósforo de gran remanencia y a un sistema especial de almacenamiento. Se utilizan para estudiar señales no periódicas.

8.12.3.- En base a la cantidad de señales a visualizar en forma simultánea.

- Osciloscopios de un solo cañón electrónico, capaces de presentar una sola señal sobre la pantalla.

- Osciloscopios de dos o tres cañones electrónicos, capaces de presentar dos o tres señales simultáneas sobre la pantalla (su costo es muy elevado y actualmente están en desuso).

- Osciloscopios de un solo cañón electrónico, capaces de presentar dos, tres o cuatro señales simultáneas sobre la pantalla gracias a sistemas electrónicos de gran velocidad. El funcionamiento de este tipo de osciloscopios se detalla en el próximo punto.

### 8.13 SISTEMAS PARA PRESENTAR DOS O MAS SEÑALES SIMULTANEAS SOBRE LA PANTALLA DE UN OSCILOSCOPIO CON UN CAÑON.

La gran mayoría de los osciloscopios comerciales son capaces de presentar por lo menos dos señales simultáneas, y en algunos casos hasta cuatro, a pesar de que solamente cuentan con un cañón electrónico.

En el panel frontal de estos osciloscopios hay un conector de entrada para cada uno de los canales, y cada uno de ellos tiene asociado un amplificador vertical con todos los controles correspondientes. Una vez que las señales están listas, se combinan en un circuito diseñado para tal fin antes de ser aplicadas a las placas de deflexión vertical.

Los dos sistemas generalmente utilizados para combinar dos o más señales a fin de presentarlas simultáneamente sobre la pantalla de un

osciloscopio son el modo alternado ("alternate") y el modo cortado ("chopped").

#### 8.13.1.- Modo alternado.

En este modo de operación, usualmente identificado en el selector del panel frontal del osciloscopio con las letras ALT, el sistema controlador de las señales permite que durante un ciclo de la diente de sierra aparezca en la pantalla la señal proveniente del canal vertical A, durante el siguiente, la señal proveniente del canal vertical B, y así sucesivamente, como podemos observar en la Figura 61.

Este modo de presentación es especialmente adecuado para presentar señales de frecuencias altas. Si lo utilizamos con señales de baja frecuencia, vamos a observar primero una de las formas de onda y luego la otra, por lo que resulta difícil realizar las mediciones.

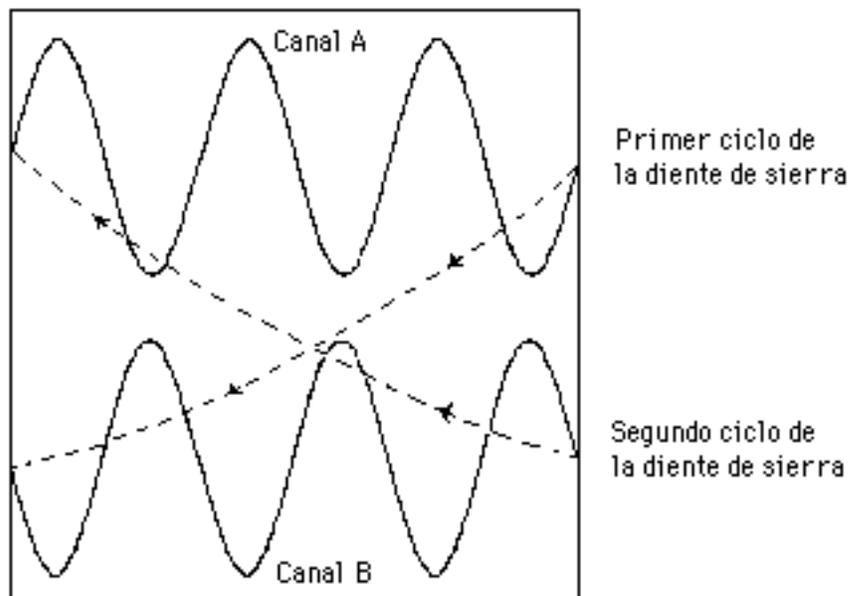


Fig. 61.- Modo alternado para presentar dos señales simultáneamente.

#### 8.13.2.- Modo cortado.

En este modo de operación, usualmente identificado en el selector del panel frontal del osciloscopio con las letras CHOPP, el sistema controlador de las señales se encarga de que en cada ciclo de la diente de sierra aparezcan segmentos de cada una de las dos señales, como se muestra en la Figura 62.

Este modo de presentación se utiliza para presentar señales de frecuencias bajas (del orden de 100 Hz o menos).

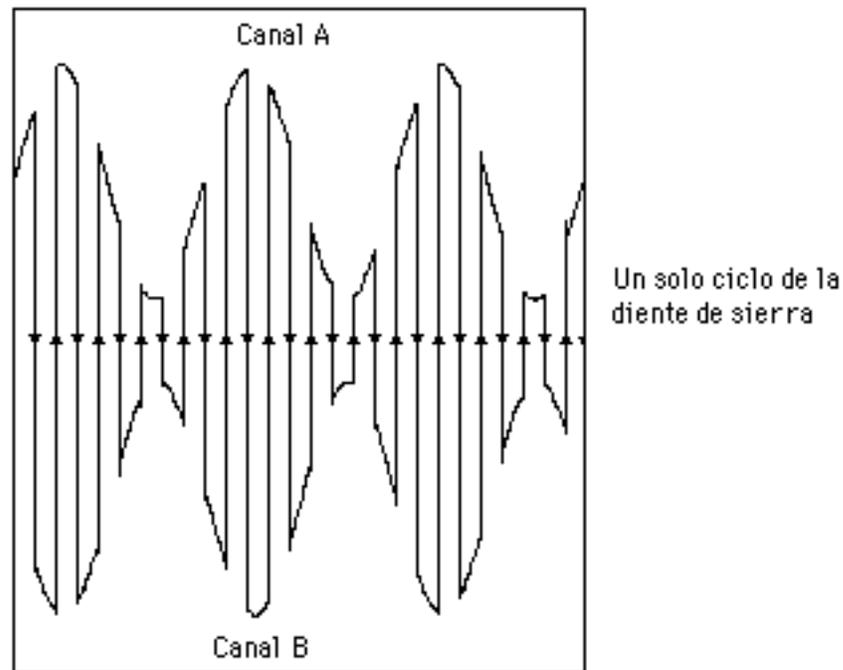


Fig. 62.- Modo alternado para presentar dos señales simultáneamente.

### 8.13.3.- Sincronización del circuito de disparo en un osciloscopio de dos canales.

El circuito de disparo, que como vimos anteriormente necesita tomar una muestra de la señal de entrada del canal vertical para sincronizar con ella la diente de sierra, puede operar tomando como entrada la del canal A, la del B o una combinación de ambas.

La señal que se tome como referencia debe tener una amplitud mínima (una vez seleccionada la escala del amplificador vertical), para que el circuito de disparo pueda trabajar correctamente. Si dicha señal tiene una magnitud demasiado pequeña, las formas de onda no se estabilizarán

en la pantalla, y será prácticamente imposible que podamos realizar las mediciones necesarias.

#### 8.14 MEDICIONES CON EL OSCILOSCOPIO.

El osciloscopio es un instrumento muy versátil con el que se pueden realizar una gran cantidad de mediciones, entre las cuales las más usuales son las de voltajes, corrientes, frecuencias y desfasajes .

##### 8.14.1.- Medición de Voltajes.

Como vimos anteriormente, el selector del amplificador vertical del osciloscopio está calibrado en unidades de voltaje por división de la cuadrícula de la pantalla, por lo tanto, esta medición la podemos realizar en forma directa.

Los osciloscopios presentan en general una impedancia de entrada bastante alta (del orden de  $1M\Omega$ ) comparada con la resistencia interna de la mayoría de los voltímetros, sobre todo de los diseñados para medir voltajes pequeños. Sin embargo, hay voltímetros que presentan una resistencia interna mayor de  $1M\Omega$ , especialmente en las escalas diseñadas para medir voltajes elevados (del orden de las decenas o centenas de voltios), por lo tanto, aunque en general podemos considerar que, desde el punto de vista de la carga introducida por el instrumento de medición de voltaje en un circuito, el osciloscopio es preferible al voltímetro, hay que analizar cada caso en particular.

Además, el osciloscopio presenta tres ventajas sobre el voltímetro:

- El osciloscopio puede medir voltajes alternos o continuos sin necesidad de utilizar un dispositivo especial, mientras que los voltímetros que miden voltajes alternos requieren un circuito rectificador.

- Los osciloscopios pueden presentar en su pantalla señales que tengan tanto componentes alternas como continuas, y realizar las mediciones de cada una de las componentes por separado, utilizando los modos de acoplamiento AC y DC, como vimos en el punto correspondiente al amplificador vertical, mientras que un voltímetro en particular puede medir voltajes alternos o continuos, pero no los dos simultáneamente.

- El ancho de banda de los osciloscopios es muy superior al de los voltímetros.

El procedimiento a seguir para medir voltajes DC en la pantalla del osciloscopio es el siguiente:

Paso 1.- Conectamos la punta de prueba en un canal vertical, por ejemplo, en el identificado como canal 1.

Paso 2.- Ubicamos el selector de imagen en CH1 (si no hace falta observar dos canales simultáneamente).

Paso 3.- Ubicamos el selector de disparo de base de tiempo en CH1, para sincronizar adecuadamente la diente de sierra.

Paso 4.- Ubicamos el control de calibración de la escala horizontal en una posición tal que veamos una línea continua en la pantalla (por ejemplo, 1 Error!)

Paso 5.- Con el selector de acoplamiento de la señal en "Tierra" (GND), ubicamos la línea de 0V en el centro de la pantalla, utilizando para ello el ajuste de posición vertical. Esto nos permite medir voltajes tanto positivos como negativos. Si ya conocemos la polaridad de la señal, podemos pasar directamente al paso 8.

Paso 6.- Pasamos el selector de acoplamiento a la posición DC, para aplicar la señal al canal vertical.

Paso 7.- Ajustamos el control de calibración de la escala vertical hasta que podamos observar claramente si la señal es positiva (se desplaza hacia la parte superior de la pantalla) o negativa (se desplaza hacia la parte inferior de la pantalla).

Paso 8.- Ponemos el selector de acoplamiento nuevamente en GND y hacemos coincidir la línea de 0V con la línea inferior de la pantalla si el voltaje es positivo o con la línea superior de la pantalla si el voltaje es negativo. De esta manera obtenemos el máximo rango de medición.

Paso 9.- Con el selector de acoplamiento en DC, ajustamos el control de calibración de la escala vertical hasta lograr la máxima separación posible (sin que la línea se salga de pantalla) entre la posición de 0V y la línea de señal.

Paso 10.- Contamos el número de divisiones entre la posición de 0V y la línea de señal y multiplicamos por el número indicado en el control de calibración de la escala vertical. Este es el valor del voltaje de la señal DC.

Para medir voltajes AC en la pantalla del osciloscopio procedemos de la siguiente forma:

Paso 1.- Seguimos los pasos 1, 2 y 3 del procedimiento para medir voltajes DC.

Paso 2.- Ubicamos el control de calibración de la escala horizontal en una posición tal que podamos observar unos pocos ciclos de la señal.

Paso 3.- Con el selector de acoplamiento de la señal en GND, ubicamos la línea de 0V en el centro de la pantalla, utilizando para ello el ajuste de posición vertical.

Paso 4.- Pasamos el selector de acoplamiento a la posición AC. De esta manera estamos filtrando cualquier componente DC que contenga la señal.

Paso 5.- Ajustamos el control de calibración de la escala vertical hasta que podamos observar la señal más grande sin que se salga de pantalla.

Paso 6.- Hacemos coincidir el extremo inferior de la señal con la línea inferior de la pantalla.

Paso 7.- Contamos el número de divisiones y subdivisiones (por lo general cada subdivisión es 0,2 divisiones) entre el extremo inferior y el superior de la señal y lo multiplicamos por el número indicado en el control de calibración de la escala vertical. Este es el voltaje pico a pico de la señal AC.

#### 8.14.2.- Medición de Corrientes.

La medición de corrientes con el osciloscopio se realiza en forma indirecta.

En el circuito donde deseamos medir la corriente introducimos una resistencia cuyo valor sea mucho menor que las resistencia de la rama correspondiente, y medimos con el osciloscopio el voltaje existente entre los terminales de dicha resistencia de prueba. A partir de esta medición y del valor de la resistencia calculamos el de la corriente aplicando la ley de Ohm.

Como podemos escoger el valor de la resistencia que vamos a introducir en el circuito, tenemos la posibilidad de reducir al máximo el error sistemático debido al método de medición.

#### 8.14.3.- Medición de Frecuencias.

Existen varios métodos para medir frecuencias, algunos de los cuales presentan un alto grado de sofisticación. A continuación vamos a analizar tres de ellos.

8.14.3.1.- Método indirecto utilizando la calibración de tiempo del eje horizontal.

Como vimos anteriormente, cuando la diente de sierra está conectada a las placas de deflexión horizontal, mediante el selector correspondiente podemos escoger el tiempo asignado a cada división de la pantalla del osciloscopio, con lo cual podemos medir directamente sobre dicha pantalla el período de la señal bajo estudio, que es igual al inverso de la frecuencia.

La exactitud de esta medición depende de la exactitud de la calibración del eje horizontal.

El procedimiento para medir frecuencias con este método es el siguiente:

Paso 1.- Seguimos los pasos 1 al 5 del procedimiento para medir voltajes AC.

Paso 2.- Contamos el número de divisiones y subdivisiones horizontales entre dos máximos, dos mínimos o dos cruces por cero de la señal y los multiplicamos por el número indicado en el control de calibración de la escala horizontal. Este es el período de la señal AC. Su inverso es la frecuencia.

8.14.3.2.- Método indirecto utilizando las Figuras de Lissajous.

Hemos visto que en la pantalla del osciloscopio podemos formar cualquier figura bidimensional con tal de aplicar las señales apropiadas a los canales vertical y horizontal. Existe un conjunto de figuras conocidas con el nombre de figuras de Lissajous, las cuales se forman cuando la frecuencia de la señal de uno de los canales está relacionada con la del otro mediante un número racional. En la Figura 63 podemos observar algunas de estas figuras con su correspondiente relación Frecuencia. canal vertical/Frecuencia canal horizontal. Para cada una de estas relaciones se muestran las formas de onda correspondientes a cinco desfasajes diferentes.

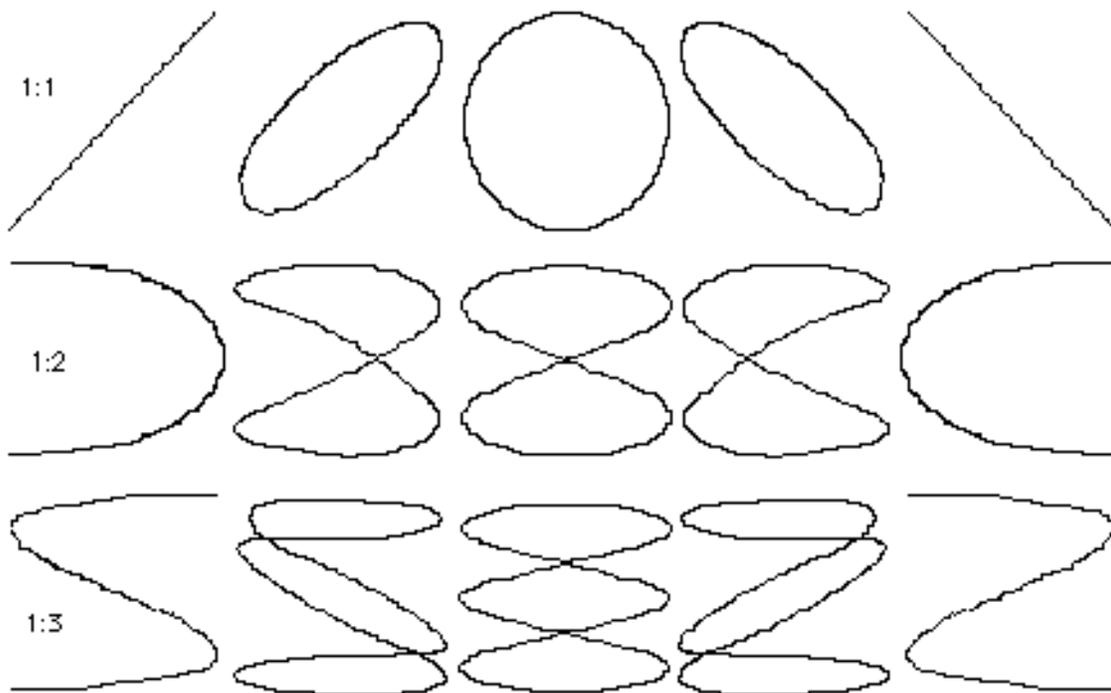


Fig. 63.- Figuras de Lissajous

El procedimiento para medir frecuencias utilizando las figuras de Lissajous es el siguiente:

Paso 1.- Seleccionamos en la base de tiempo la presentación X-Y, esto es desconectamos la diente de sierra para aplicar la señal introducida por el canal X a las placas de deflexión horizontal.

Paso 2.- Con el selector de acoplamiento en GND, movemos los controles de posición de los canales vertical y horizontal hasta ubicar el punto luminoso en el centro de la pantalla.

Paso 3.- Colocamos el selector de acoplamiento del canal vertical en AC.

Paso 4.- Introducimos en el canal vertical del osciloscopio la señal cuya frecuencia queremos medir y en el canal horizontal la salida de una fuente de señales sinusoidales de frecuencia conocida, como podemos observar en la Figura 64. (Al realizar las conexiones, hay que ser muy cuidadosos al conectar las tierras de las puntas de prueba del osciloscopio, de acuerdo a lo visto en el punto 8.11).

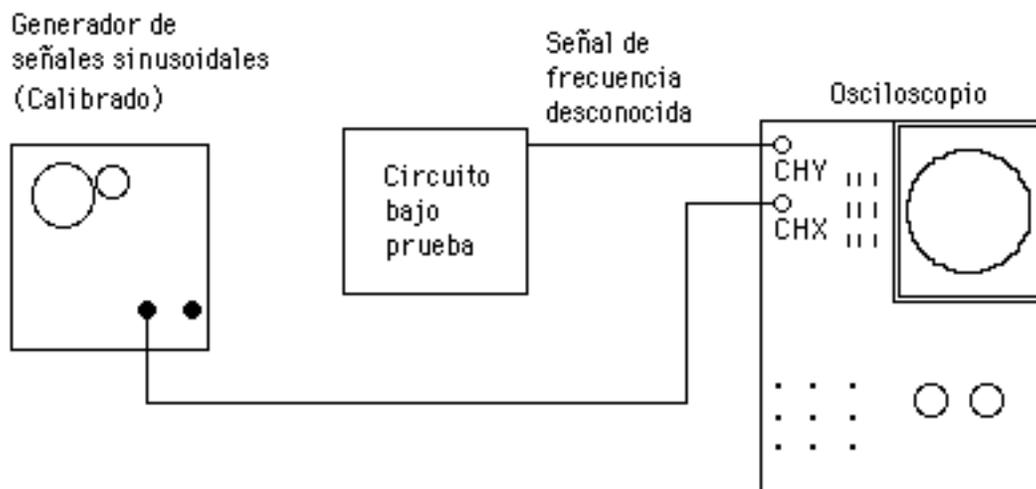


Fig. 64.- Circuito para medir frecuencias utilizando las Figuras de Lissajous.

Paso 5.- Variamos la frecuencia de la señal producida por el generador hasta que en la pantalla del osciloscopio aparezca una figura de Lissajous similar a las presentadas en la Figura 63, lo más estable posible. En este instante las frecuencias de las señales están relacionadas mediante la fracción indicada en dicha figura.

Paso 6.- Si queremos calcular a partir de la figura obtenida, la relación entre las dos frecuencias de las señales que la forman, procedemos de la siguiente manera:

- Supongamos que la figura que parece en la pantalla es la presentada en la Figura 65.

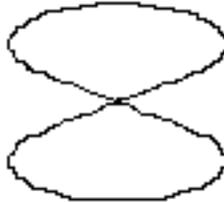


Fig. 65.- Figura de Lissajous obtenida en una medición.

- Sobre esta figura podemos trazar imaginariamente una tangente vertical y una horizontal, como se muestra en la Figura 66.

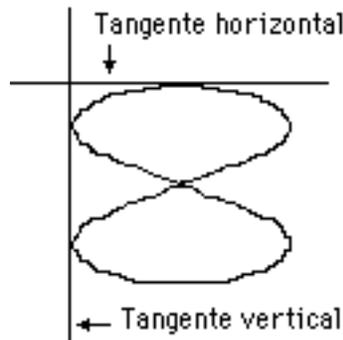


Fig. 66.- Tangentes a la Figura de Lissajous.

- Como podemos observar, la tangente vertical tiene dos puntos de contacto con la figura, mientras que la horizontal tiene uno solo. La ecuación que da la relación entre la frecuencia de la señal aplicada en el eje vertical y la de la aplicada en el horizontal es la siguiente:

$$\frac{\text{N}^\circ \text{ de puntos de tangencia de la tang. horizontal}}{\text{N}^\circ \text{ de puntos de tangencia de la tang. vertical}} = \frac{f_{\text{vertical}}}{f_{\text{horizontal}}}$$

- Como la frecuencia de la señal aplicada al canal horizontal la conocemos (la producida por el generador), podemos calcular la correspondiente al canal vertical.

#### 8.14.3.3.- Método indirecto utilizando el eje "Z".

El procedimiento a seguir en este caso es el descrito a continuación:

Paso 1.- Aplicamos al canal vertical una señal sinusoidal de magnitud y frecuencia conocidas y al canal horizontal otra señal de igual magnitud y frecuencia pero desfasada  $90^\circ$  con respecto a la primera. Para ello montamos un circuito como el mostrado en la Figura 67, en el que calculamos los valores de R y C para que los voltajes entre los extremos del condensador y de la resistencia tengan aproximadamente la misma amplitud dentro de un determinado rango de frecuencias. En estas condiciones, en la pantalla del osciloscopio observamos un círculo.

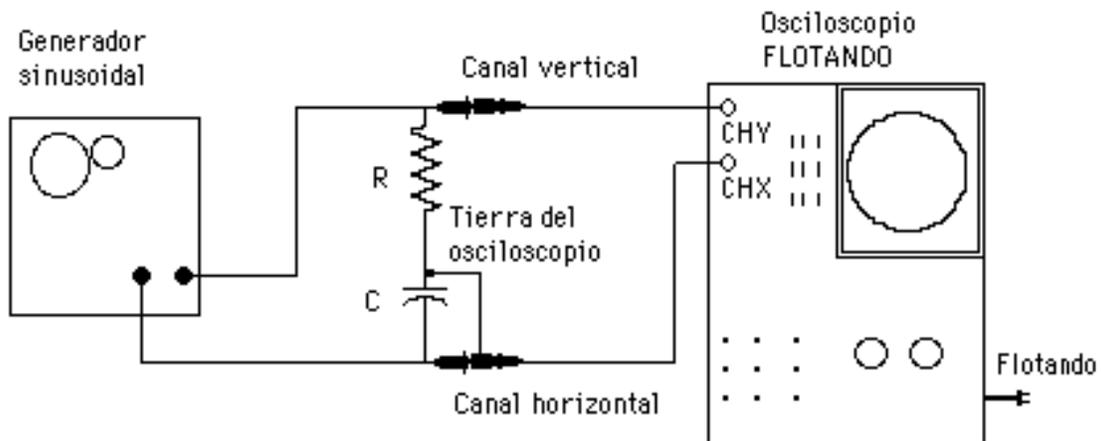


Fig. 67.- Circuito para medición de frecuencia utilizando el eje "Z".

Paso 2.- Aplicamos una señal sinusoidal a la entrada del eje "Z" del osciloscopio, la cual actuará sobre el potencial de la grilla, haciendo variar la intensidad del haz.

Paso 3.- Variamos la frecuencia del generador de funciones hasta obtener en la pantalla del osciloscopio un círculo segmentado estable, como el de la figura N° 68.

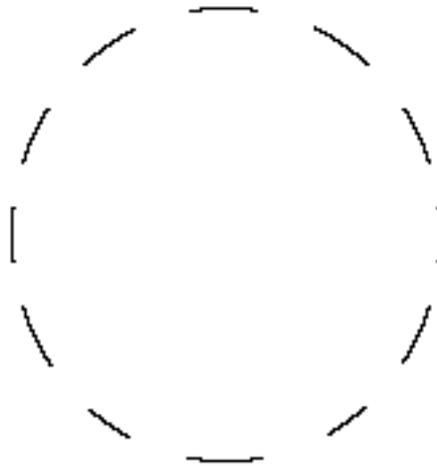


Figura 68.- Figura observada en la pantalla del osciloscopio cuando la frecuencia de la señal aplicada al eje "Z" es un múltiplo de la frecuencia base.

Paso 4.- Contamos el número de segmentos que aparecen en la imagen, N. La relación entre la frecuencia de la señal aplicada al eje Z y la aplicada a los otros dos canales está dada por la expresión:

$$\frac{\text{Frecuencia aplicada al eje Z}}{\text{Frecuencia aplicada a los dos canales}} = N$$

#### 8.14.4.- Medición de Desfasaje.

El conocimiento del desfasaje existente entre dos señales de la misma frecuencia es de sumo interés en varios problemas prácticos, como por ejemplo en aquéllos relacionados con el cálculo de potencia eléctrica en circuitos de corriente alterna. Por lo tanto vamos a analizar tres métodos para determinarlo.

##### 8.14.4.1.- Utilizando el barrido horizontal del osciloscopio.

Este método se basa en la utilización de un osciloscopio que tiene dos canales verticales.

Paso 1.- A cada canal vertical conectamos una de las señales entre las que queremos medir el desfase (las cuales deben tener la misma frecuencia).

Paso 2.- Ubicamos el selector de imagen en ALT o CHOPP, dependiendo de la frecuencia de las señales entre las que vamos a medir el desfase.

Paso 3.- Ubicamos el control de calibración de la escala horizontal en una posición tal que podamos observar uno o dos ciclos de las señales. En la pantalla del osciloscopio observaremos las formas de onda mostradas en la Figura 69.

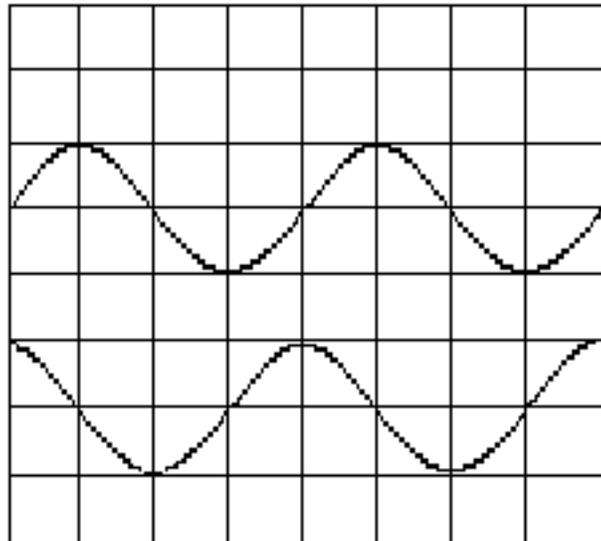


Fig. 69.- Formas de onda entre las que se quiere medir el desfase.

Paso 4.- Determinamos cuántas divisiones en el sentido horizontal corresponden a un ciclo de la senoide, y tomamos nota de ello (en este caso cuatro divisiones). Un ciclo es equivalente a un desfase de  $2\pi$  radianes ó  $360^\circ$ .

Paso 5.- Con el selector de acoplamiento de la señal en GND para cada uno de los canales verticales, ubicamos las líneas de 0V de ambos canales en el centro de la pantalla, utilizando para ello el ajuste de posición vertical.

Paso 6.- Pasamos los selectores de acoplamiento de los canales verticales a la posición AC. En la pantalla del osciloscopio veremos formas de onda como las mostradas en Figura 70.

Paso 7.- Sobre estas señales, contamos el número de divisiones existentes entre un determinado punto de una de las señales y un punto de la otra que tenga la misma fase que el primero. Siguiendo con nuestro ejemplo, tenemos que contar las divisiones entre los puntos A y B de la figura anterior, que como podemos observar, es igual a una división.

Paso 8. - Aplicamos una regla de tres simple para determinar el desfase entre las señales. Para el ejemplo que estamos analizando, si cuatro divisiones corresponden a  $360^\circ$ , una división corresponde a X, donde  $X = 90^\circ$ .

Paso 9.- Observando la imagen podemos especificar que la señal sobre la que identificamos el punto A, está adelantada con respecto a la otra, ya que la primera cruza por cero ( pasando de valores positivos a negativos) antes que la segunda.

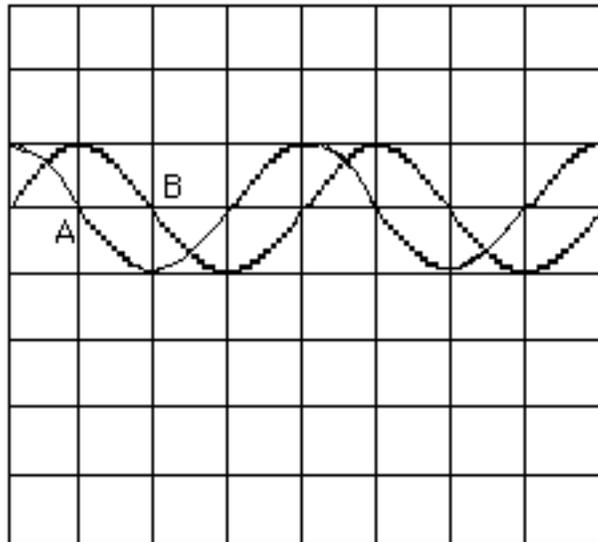


Fig. 70.- Señales superpuestas para medir el desfase.

#### 8.14.4.2.- Utilizando la figura de Lissajous básica.

El segundo método se basa en la utilización de una figura de Lissajous muy específica: la que se forma cuando aplicamos dos señales de la misma frecuencia, una al canal vertical y otra al horizontal.

Según el desfase existente entre ambas señales, pueden aparecer sobre la pantalla distintas formas de onda. En la Figura 71 podemos observar las correspondientes a ciertos ángulos específicos.

Figura					
Desfase	0	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{3\pi}{4}$	$\pi$

Fig. 71.- Formas de onda correspondientes a los ángulos indicados.

El procedimiento para medir el desfase entre dos señales utilizando este método es el siguiente:

Paso 1.- Seleccionamos en la base de tiempo la presentación X-Y, esto es desconectamos la diente de sierra para aplicar la señal introducida por el canal X a las placas de deflexión horizontal.

Paso 2.- Con el selector de acoplamiento en GND, movemos los controles de posición de los canales vertical y horizontal hasta ubicar el punto luminoso en el centro de la pantalla.

Paso 3.- Colocamos el selector de acoplamiento del canal vertical en AC.

Paso 4.- Introducimos en el canal vertical del osciloscopio una de las señales bajo medición, y en el canal horizontal la segunda señal. En la pantalla del osciloscopio aparecerá una imagen como la de la Figura 72.

Paso 5.- Sobre la imagen obtenida, medimos las distancias indicadas en la Figura 72. El ángulo de desfase  $\phi$  entre las dos señales está dado por la siguiente relación:

$$\pm \frac{D_A}{D_B} = \text{sen}\phi$$

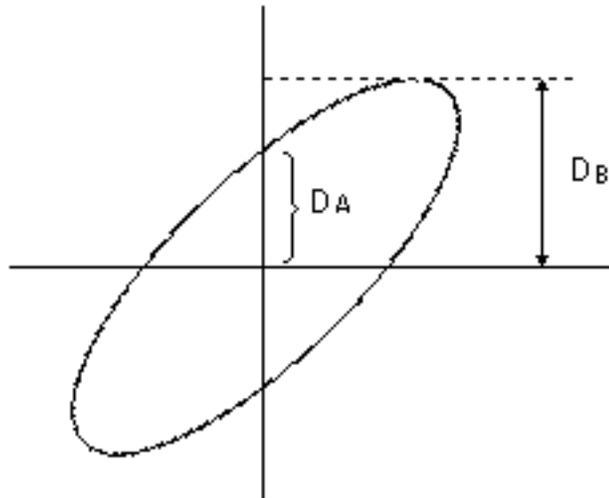


Fig. 72.- Procedimiento para medir el desfase

Para aplicar este método no requerimos de un osciloscopio que posea dos canales verticales, ni cuya calibración de los ejes sea muy exacta. Sin embargo, tiene la desventaja de que no es posible determinar cuál de las señales está adelantada con respecto a la otra.

#### 8.14.4.3.- Utilizando disparo externo de la diente de sierra.

El tercer método es posible utilizarlo cuando disponemos de un osciloscopio que posee un solo canal vertical pero puede disparar la diente de sierra no solamente con la señal aplicada al canal vertical, sino también con una introducida en la entrada X.

El procedimiento a seguir es el siguiente:

Paso 1.- En las placas de deflexión horizontal aplicamos el generador de barrido interno (la diente de sierra), disparado por una de las dos señales entre las cuales vamos a medir el desfase. Para esto introducimos dicha señal en la entrada X y colocamos el selector del circuito de disparo en la posición "externa".

Paso 2.- Aplicamos la señal anterior a la entrada del canal vertical y tomamos nota de la posición de un determinado punto. Por ejemplo, en la forma de onda de la Figura 73 observamos que el punto A, donde la señal cruza por cero desde valores negativos a positivos, se encuentra ubicado en el primer punto de la pantalla.

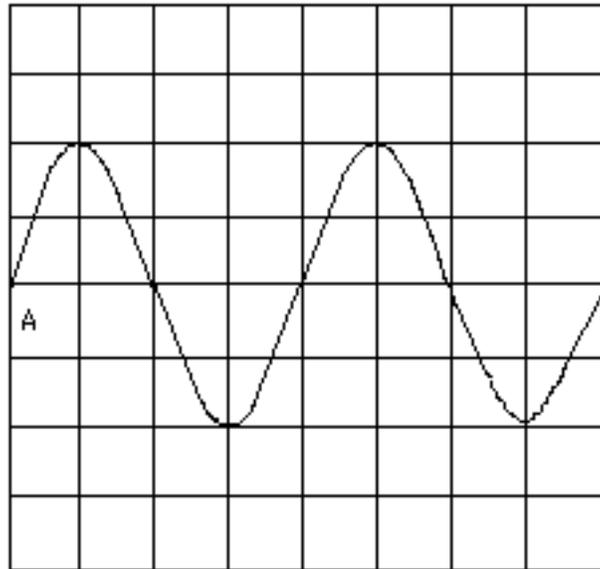


Fig. 73.- Medición de desfase con un solo canal vertical

Paso 3.- Desconectamos la señal aplicada al canal vertical y conectamos la otra señal a dicho canal. Supongamos que al hacerlo obtenemos la forma de onda de la Figura 74.

Paso 4.- Sobre esta figura, a partir de la posición donde se encontraba el punto A, buscamos el punto que tenga igual fase que A. Para este ejemplo el cruce por cero desde valores negativos a positivos se encuentra a tres divisiones del origen.

Paso 5.- Determinamos el número de divisiones correspondiente a un ciclo de cualquiera de las dos señales.

Paso 6.- Aplicamos una regla de tres simple para calcular el desfase. En el ejemplo que estamos analizando, si cuatro divisiones corresponden a  $360^\circ$ , tres divisiones corresponden a X, donde  $X = 270^\circ$ . Adicionalmente podemos acotar que la primera señal aplicada está adelantada con respecto a la segunda.

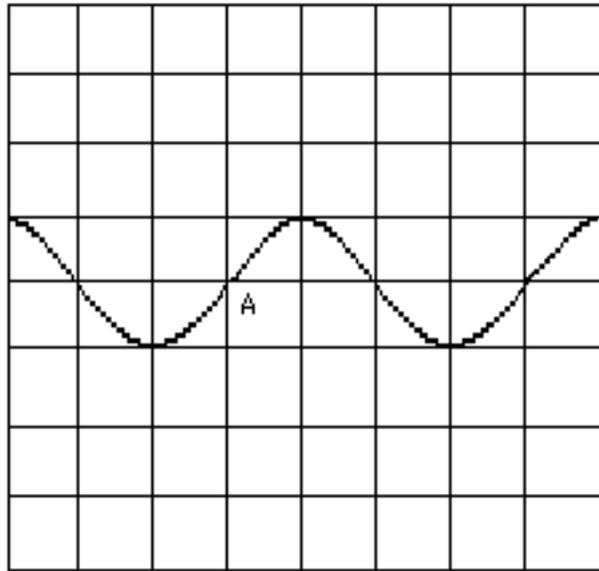


Fig. 74.- Aplicación de la segunda señal para la medición del desfase.