

Práctica 2.- Instrumentación electrónica y elementos eléctricos en corriente alterna

1.- GENERADORES DE SEÑAL.

Son las fuentes generadoras de tensión alterna, que nos van a suministrar señales de diferente forma (senoidal, rectangular y triangular) para tensiones y frecuencias deseadas. Además, algunos son capaces de añadir un nivel de continua a la señal generada.

Constan generalmente de un oscilador electrónico, cuya frecuencia se puede variar. Esto último se realiza exteriormente por medio de un dial calibrado en frecuencias, Hertz generalmente (1 Hertz = 1 ciclo/seg.) situado en la parte frontal del aparato. El límite de frecuencias viene determinado por las características del aparato. En los osciladores de baja frecuencia, que son los que se usan en el laboratorio, la frecuencia varía normalmente entre 1 Hertz - 3 MHz. Normalmente la salida de estos osciladores suele estar acoplada a un amplificador que eleva la tensión, pudiendo graduarse ésta mediante un mando situado exteriormente.

Una fuente de tensión alterna conocida de todos es la red de alumbrado, cuya frecuencia es de 50 Hz y cuya tensión es de 125 ó 220 voltios, por lo que no es recomendable aplicarla directamente a la entrada de nuestros osciloscopios.

Seguidamente vamos a mostrar los controles y la forma de dos generadores de onda típicos.

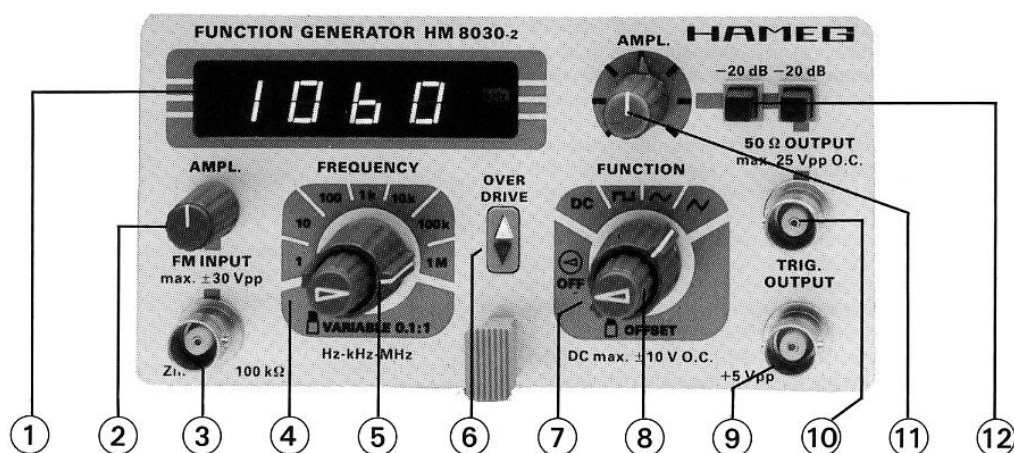


Fig.2.1 .- Vista frontal de un generador de señal

1. **Display**, visualización del valor de la frecuencia en hertz.
2. Control de amplitud de modulación de FM (no se utiliza)
3. Entrada de modulación de frecuencia (no se utiliza)

4. **Selector de frecuencia:** Actuando sobre este selector ajustamos la frecuencia que estará dentro del margen elegido (selector de banda). Esta frecuencia será aquella que indique el selector de frecuencias multiplicada por el límite inferior de la banda elegida en el selector de banda.
5. **Selector de banda de frecuencia:** actuando sobre él establecemos el margen de frecuencias en el que nos vamos a mover.
- 6.- Led indicador de sobrecarga.
8. **Ajuste del offset** (el offset suma una tensión continua a la señal alterna del generador. Normalmente estará en cero)
7. **Selector de la forma de onda:** Determinamos si la forma de la señal va a ser cuadrada, senoidal o triangular.
9. Salida de la señal de trigger (no se utiliza)
10. **Conector coaxial para la salida de la señal.**
11. **Mando de ajuste de la amplitud de la señal de salida** . Aumentamos o disminuimos la amplitud (tensión pico a pico) de la señal (onda). Para controlarla podemos conectar la salida a un osciloscopio, y una vez visualizada, actuamos sobre este control.
12. **Atenuadores de la amplitud de la señal de salida.** Haccionándolos se disminuye la amplitud e la señal de salida en 20 dB cada uno.

Para la obtención de una señal seguiremos los siguientes pasos: seleccionamos la forma de onda (8) y la banda de frecuencias (7), ajustamos la frecuencia (5) y por último la amplitud (11).

Otro modelo es el siguiente:

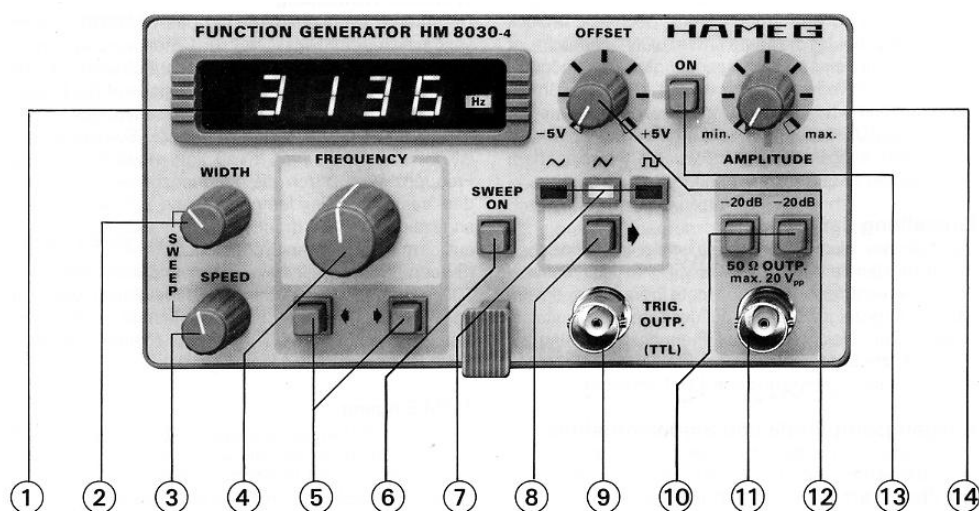


Fig.2.2.- Vista frontal de un generador de señal

1. **Display**, visualización del valor de la frecuencia en hertz.
2. Control de amplitud de modulación de FM (no se utiliza)
3. Control de frecuencia de modulación de FM (no se utiliza)
4. **Selector de frecuencia**: Actuando sobre este selector ajustamos la frecuencia que estará dentro del margen elegido (selector de banda). Esta frecuencia será aquella que indique el selector de frecuencias multiplicada por el límite inferior de la banda elegida en el selector de banda.
5. **Selector de banda de frecuencia**: actuando sobre él establecemos el margen de frecuencias en el que nos vamos a mover.
- 6.- Botón para accionar la modulación de frecuencia (debe estar desconectado).
7. Leds indicadores de la forma de onda
8. Boton seleccionador de la forma de onda (sinusoidal, cuadrada ó triangular)
9. Salida de la señal de trigger (no se utiliza).
10. **Atenuadores de la amplitud de la señal de salida**. Haccionándolos se disminuye la amplitud e la señal de salida en 20 dB cada uno.
10. **Conector coaxial para la salida de la señal**.
12. **Ajuste del offset** (el offset suma ó resta una tensión continua en este caso de hasta 5 volt. a la señal alterna del generador. Normalmente estará en cero)
13. Interruptor para poner a funcionar el offset .
14. **Mando para ajuste de la amplitud de la señal de salida**: Aumentamos o disminuimos la amplitud de la onda. Para controlarla podemos conectar la salida a un osciloscopio, y una vez visualizada, actuamos sobre este control

Es muy importante no suministrar tensión alguna a los terminales de salida ya que podríamos dañar al instrumento.

2.- EL OSCILOSCOPIO.

Es actualmente el instrumento de medida más versátil. El osciloscopio es básicamente un dispositivo de visualización gráfica que muestra señales eléctricas variables en el tiempo. El eje vertical, a partir de ahora denominado Y, representa el

voltaje; mientras que el eje horizontal, denominado X, representa el tiempo, aunque también es posible representar en ambos ejes dos señales eléctricas.

Los instrumentos de medida más usuales emplean como elemento básico de medida el galvanómetro, el cual se utiliza en algunos polímetros. Este instrumento, aunque económico y de fácil empleo, presenta sin embargo varios inconvenientes, entre los que podemos citar el gran momento de inercia de la aguja (incluso en los galvanómetros de espejo), lo cual no permite que ésta se desplace a velocidades elevadas, y el poseer una sola dimensión para medir. Esto hace imposible su empleo cuando aparecen campos eléctricos o corrientes alternas de frecuencia elevada.

El instrumento básico de visualización en los osciloscopios es el tubo de rayos catódicos, en el cual el papel de la aguja del galvanómetro viene desempeñado por un fino haz de electrones, cuya masa será por tanto despreciable.

Un osciloscopio se suele utilizar para:

- Determinar directamente el período y el voltaje de una señal.
- Determinar indirectamente la frecuencia de una señal.
- Determinar qué parte de la señal es DC y cual AC.
- Localizar averías en un circuito.
- Medir la fase entre dos señales.
- Determinar qué parte de la señal es ruido y como varía éste en el tiempo.

Los osciloscopios son uno de los instrumentos más versátiles que existen y se utilizan para medir un gran número de fenómenos: provisto del transductor adecuado (un elemento que convierte una magnitud física en señal eléctrica) será capaz de darnos el valor de una presión, ritmo cardíaco, potencia de sonido, nivel de vibraciones en un coche, etc.

Los osciloscopios también pueden ser analógicos ó digitales. Los primeros trabajan directamente con la señal aplicada, ésta una vez amplificada desvía un haz de electrones en sentido vertical proporcionalmente a su valor. En contraste los osciloscopios digitales utilizan previamente un conversor analógico-digital (A/D) para almacenar digitalmente la señal de entrada, reconstruyendo posteriormente esta información en la pantalla.

Ambos tipos tienen sus ventajas e inconvenientes. Los analógicos son preferibles cuando es prioritario visualizar variaciones rápidas de la señal de entrada en tiempo real. Los osciloscopios digitales se utilizan cuando se desea visualizar y estudiar eventos no repetitivos (picos de tensión que se producen aleatoriamente).

2.1.- El tubo de rayos catódicos

El tubo de rayos catódicos está formado por una ampolla de cristal, de la forma indicada en la figura 2.3 , dentro de la cual hay un vacío muy elevado. En su interior tenemos un filamento (1), que calienta a un cátodo (2) que emite electrones (Efecto Edison). Estos electrones son atraídos por un ánodo (3), que se encuentra situado lateralmente, arrollado en espiral, en el otro extremo del tubo y a una diferencia de potencial respecto al cátodo del orden de 10.000 a 25.000 voltios. Los electrones atraviesan varios elementos (5,H,V) que modifican su dirección y velocidad antes de ser atraídos por este ánodo en la parte frontal del tubo (4), la cual es plana y está recubierta interiormente de un material fluorescente, que emite luz al ser bombardeado por los electrones. En su camino hacia el ánodo, el electrón se encuentra una rendija cilíndrica (5 izquierda), positiva respecto al cátodo, que lo acelera en mayor o menor proporción según el potencial aplicado y cuyo valor se regula con el mando de "brillo", del osciloscopio (fig.2.40, 2). Con esto se logra que los electrones lleguen con más ó menos velocidad a la pantalla. Normalmente existe la posibilidad de modular o variar esta tensión de acuerdo con otra externa. Para ello existe una conexión indicada con la letra Z, que desempeña el papel de tercera dimensión.

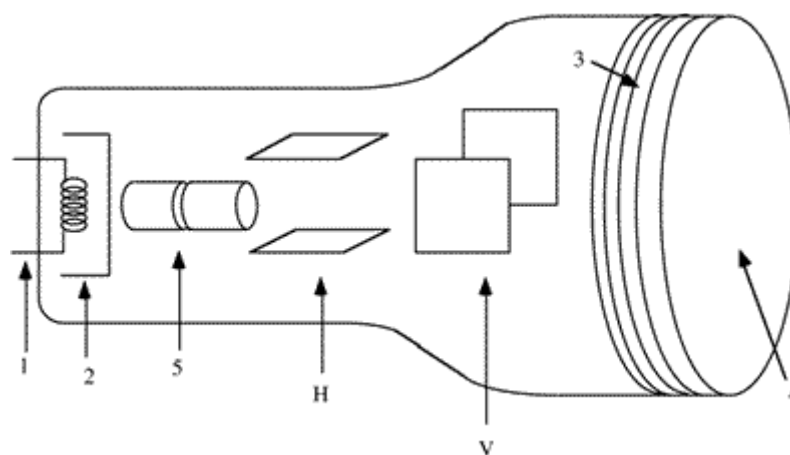


Figura 2.3.- Esquema de un tubo de rayos catódicos.

A continuación se encuentra otra rendija cilíndrica (5 derecha), que concentra el haz de electrones que salen dispersos del filamento. Esto último se regula con el mando de "enfoco" el cual permite modificar la nitidez de la trama en la pantalla(fig.2.40, 3).

Existen otras rendijas, cuyo papel no citamos aquí, y finalmente obtenemos un fino haz de electrones, que puede ser desviado de izquierda a derecha y de arriba a

abajo, por dos pares de placas, verticales V y horizontales H, que crean campos eléctricos de intensidad variable, en las direcciones vertical (Y) y horizontal (X) respectivamente. Tenemos así la posibilidad de desviar el haz de electrones en dos direcciones X e Y, así como variar la velocidad de incidencia del mismo sobre la pantalla. Efectivamente, si a los dos pares de placas no se les aplica tensión eléctrica alguna, el haz de electrones no se desvía, con lo que en la pantalla veremos un punto luminoso en su centro (Figura 2.4.a).

Si aplicamos una tensión continua a las placas verticales (fig.2.40, conector 23, mandos 26 y 27), de tal forma que la placa de la izquierda sea positiva respecto de la placa derecha, el haz de electrones se desplazará hacia el lado izquierdo (Figura 2.4.b). La amplitud del desplazamiento será proporcional a la tensión aplicada. Si sobre la pantalla hay una escala graduada en centímetros cuadrados, por ejemplo, podremos medir la longitud del desplazamiento.

Análogamente, si la placa vertical de la derecha es positiva respecto de la izquierda, el haz se desplazará hacia la primera. Lo mismo ocurre con las placas horizontales, (fig.2.40, conector 35, mandos 31 y 32) como muestran las Figuras 2.4.c, 2.4.d, 2.4.e y 2.4.f.

Si aplicamos una tensión alterna aparecerá una línea luminosa, por efecto de persistencia en el ojo. Para ello, la frecuencia ha de ser superior a los 40 Hz. Esto es debido al continuo cambio de polaridad de las placas. La longitud de dicha línea será proporcional a la tensión pico a pico como muestran las Figuras 2.4.g, 2.4.h.

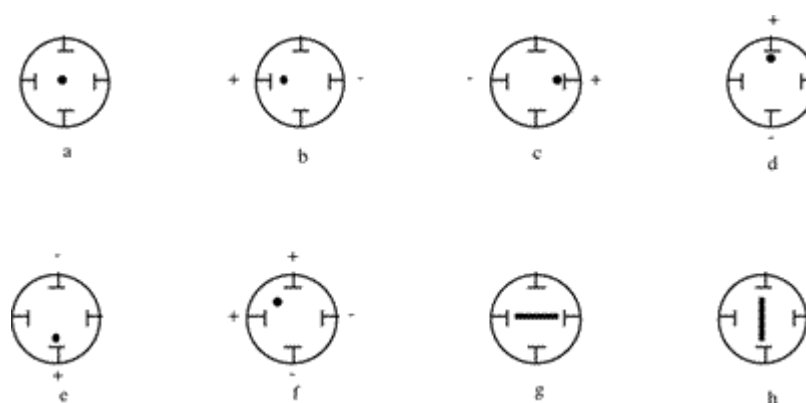


Figura 2.4.- Señales en un tubo de rayos catódicos.

Intercalando mediante un conmutador amplificadores o atenuadores a las placas horizontales, (fig,2.40, mandos 26 y 27, 31 y 32) podemos abarcar todo tipo de márgenes de medida de voltaje.

Hasta ahora sin embargo, no hemos podido visualizar una señal alterna en la pantalla del tubo de rayos catódicos. Para ello recurrimos a un curioso artificio. Supóngase que aplicamos a las placas verticales una tensión que imprima al haz de electrones un movimiento de izquierda a derecha. Para que esto ocurra de forma continuada, la tensión a aplicar en dichas placas tendrá la forma de un diente de sierra (Figura 2.5), de tal forma que comience con un valor cero y linealmente se vaya haciendo positiva, hasta que el haz de electrones alcance la parte derecha de la pantalla. Si ahora conectamos las placas horizontales del tubo de rayos catódicos con la tensión correspondiente a la señal que queremos visualizar, podremos verla correctamente siempre y cuando la frecuencia del diente de sierra sea proporcional a la señal problema (Figura 2.6). Esto último se consigue mediante dispositivos electrónicos en forma automática o manualmente retrasando o adelantando la aparición del diente de sierra. Tendremos así los dos parámetros que nos van a permitir representar la señal en la pantalla.

La señal en diente de sierra se logra mediante un oscilador electrónico que posee el osciloscopio en su interior, y cuya frecuencia (por tanto periodo) se puede variar mediante un conmutador exterior que viene calibrado en unidades de tiempo/cm., que indica el tiempo que tarda el haz de electrones en recorrer horizontalmente 1 cm. de pantalla (fig.2.40, 12 y 13) .

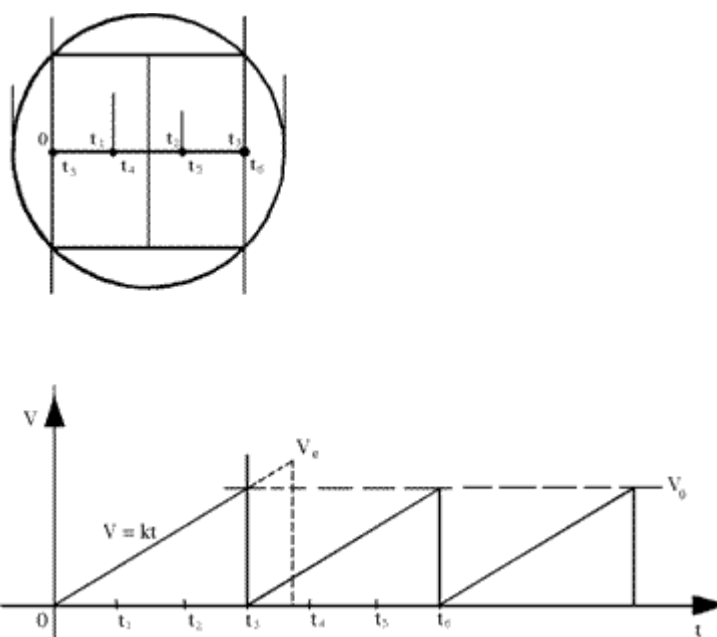


Figura 2.5.- Señal en diente de sierra.

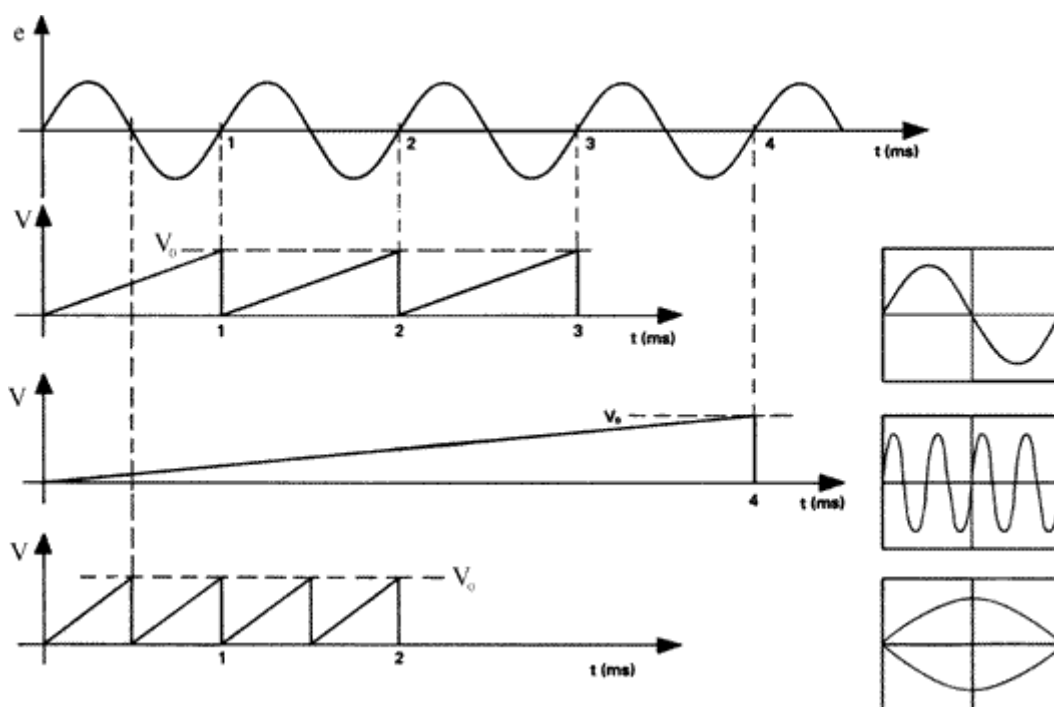


Figura 2.6.- Relación entre la señal a visualizar y la señal en diente de sierra.

Podemos así obtener fácilmente el periodo de la señal, sin más que medir la distancia entre puntos homólogos y multiplicarla por el tiempo indicado en el conmutador del generador de dientes de sierra. Por este motivo se le suele denominar "base de tiempos".

De no ser periódica la señal que queremos visualizar, no se conseguirían los resultados apetecidos, ya que entonces no se superpondrían tramos equivalentes de señal en la pantalla del osciloscopio (Figura 2.7).

Una posibilidad es que el período de la función diente de sierra generada por el osciloscopio no coincida con el de la señal que queremos visualizar. Aparecen así superpuestos diferentes tramos de la señal, sin que podamos diferenciar claramente a qué corresponde cada uno (Figura 2.8). La solución en este caso pasa por estirar de alguna manera el diente de sierra introduciendo partes planas entre cada etapa ascendente (ver HOLD-OFF en manual de instrucciones del osciloscopio). Esto se puede realizar automáticamente (fig. 2.40, 16) ó manualmente (fig. 2.40, 16 y 17). Se consigue de esta manera hacer coincidir partes iguales de la señal (que es periódica) con cada uno de los tramos ascendentes y así resolver el problema.

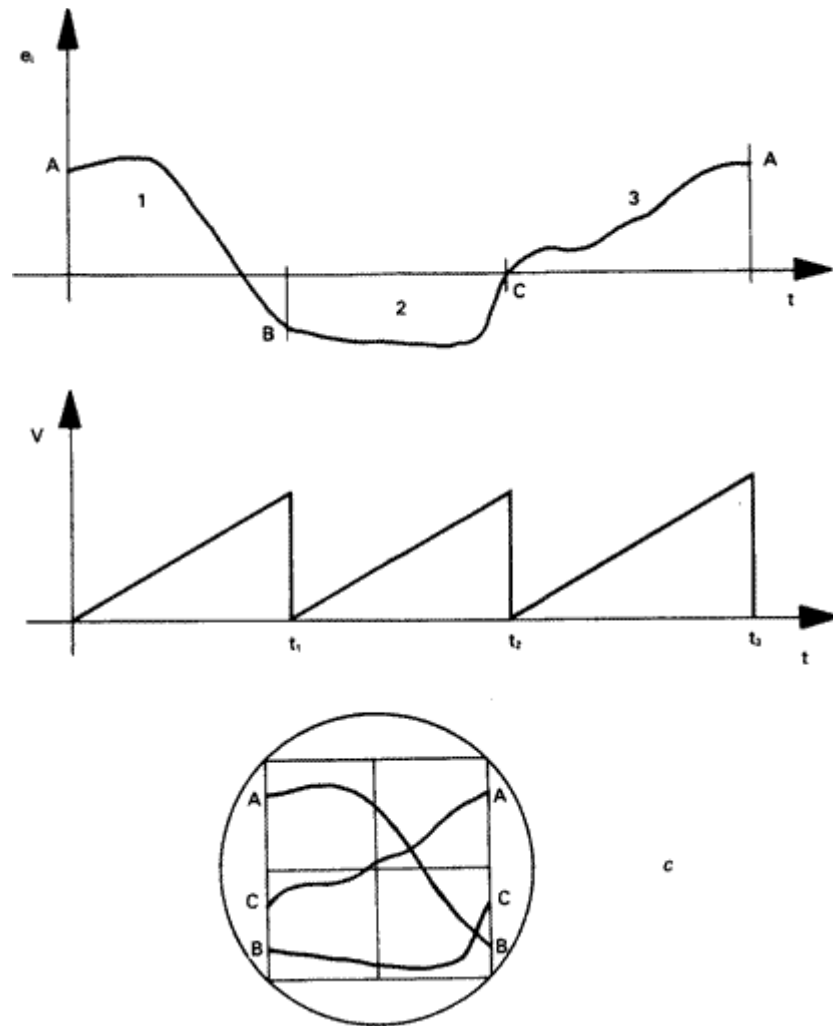


Figura 2.7. - Ejemplo de visualización de una señal no periódica.

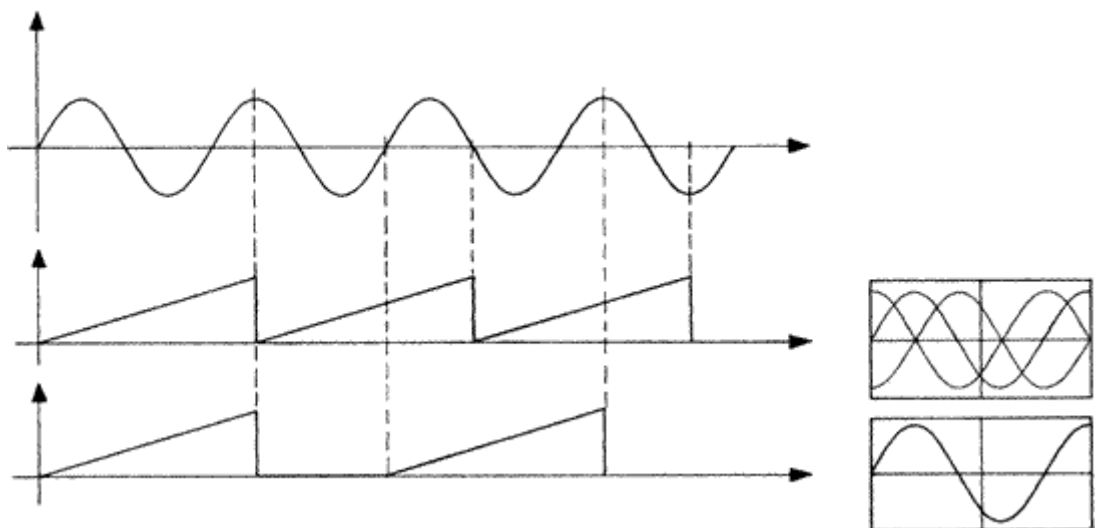


Figura 2.8.- Ejemplo de visualización de una señal.

Existe además un conmutador que nos permite conectar ó eliminar la base de tiempos(fig. 2.40, 5) , así como disparar ésta por la señal proveniente en su caso del canal I ó II (fig. 2.40, 28). La existencia de dos canales de entrada en el osciloscopio tiene la ventaja de poder comparar una señal con la otra, como por ejemplo la señal de entrada a un sistema con la salida del mismo.

2.2.- Controles del osciloscopio

A primera vista un osciloscopio se parece a una pequeña televisión portátil, salvo una rejilla que ocupa la pantalla y el mayor número de controles que posee. En la siguiente figura se representan los controles descritos anteriormente, para el modelo de osciloscopio mas usual en el laboratorio, distribuidos en cinco secciones (otros modelos de osciloscopios tienen controles similares y si se tiene duda habrá que examinar el manual del fabricante):

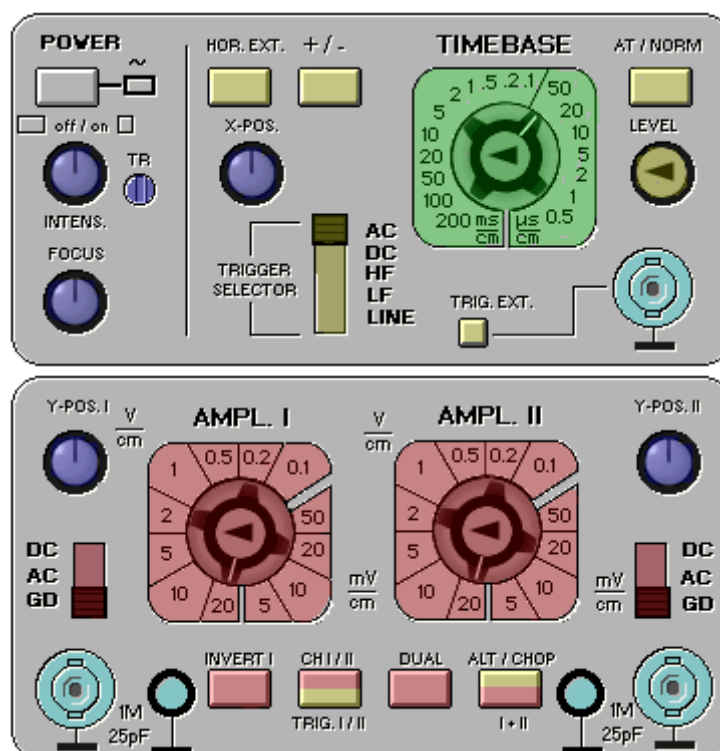


Figura 2.9.- Controles en un osciloscopio.

- **Vertical (rojo)
- **Horizontal (verde)
- **Disparo (amarillo)
- **Control de la visualización (azul oscuro)
- **Conectores (azul claro)

Seguidamente vamos a explicar cómo funcionan los controles que posee un osciloscopio, describiendo superficialmente los procesos internos llevados a cabo por este aparato. Empezaremos por el tipo analógico ya que es el más sencillo.

2.3.- Osciloscopios analógicos

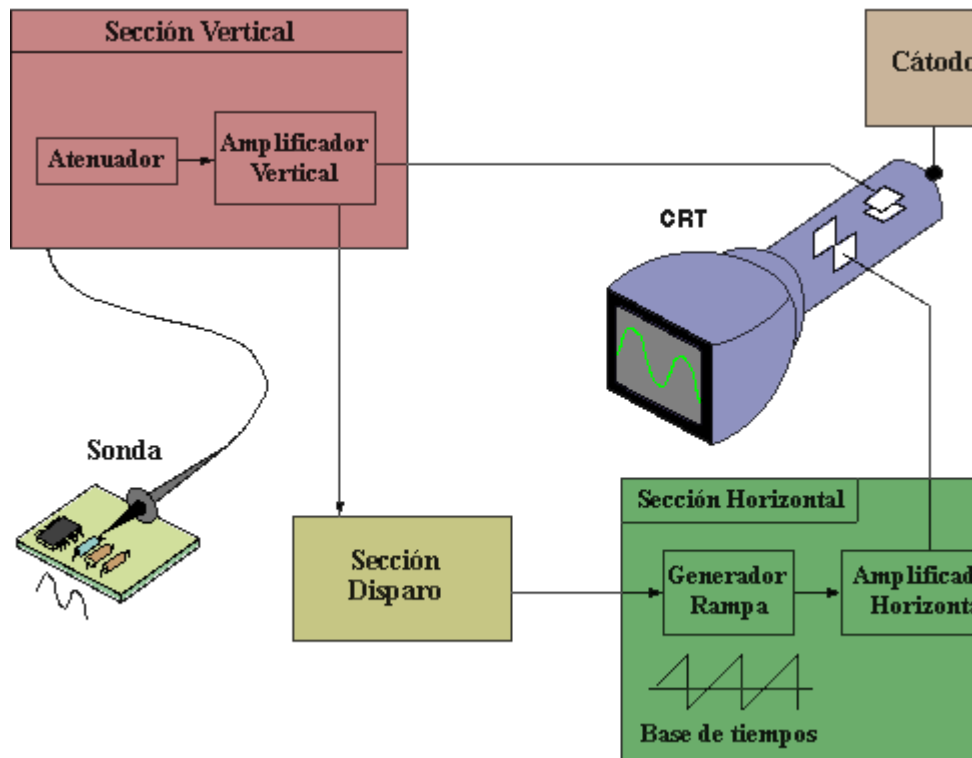


Figura 2.10.- Osciloscopio analógico.

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

Esta deflexión se realizará hacia arriba si la tensión es positiva con respecto al punto de referencia (GND), o hacia abajo si dicha tensión es negativa.

La señal también atraviesa la sección de disparo para de esta forma iniciar el barrido horizontal (éste 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. El retrazado (recorrido de derecha a izquierda) se realiza de forma mucho más rápida con la parte descendente del mismo diente de sierra.

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 periódicas (se asegura que el trazado comience en el mismo punto de la señal).

Para utilizar de forma correcta un osciloscopio analógico necesitamos realizar tres ajuste básicos:

- **La atenuación o amplificación que necesita la señal.** Utilizar el mando AMPL. para ajustar la amplitud de la señal antes de que sea aplicada a las placas de deflexión vertical. Conviene que la señal ocupe una parte importante de la pantalla sin llegar a sobrepasar sus límites para poder realizar bien las medidas.
- **La base de tiempos.** Utilizar el mando TIMEBASE para ajustar lo que representa en tiempo una división horizontal de la pantalla. Para señales repetitivas es conveniente que en la pantalla se puedan observar aproximadamente un par de ciclos.
- **Disparo de la señal.** Utilizar los mandos TRIGGER LEVEL (nivel de disparo) y TRIGGER SELECTOR (tipo de disparo) para estabilizar lo mejor posible señales repetitivas. Inicialmente lo mejor es ponerlo en automático, con lo que el disparo se realiza automáticamente.

Por supuesto, también deben ajustarse los controles que afectan a la visualización: FOCUS (enfoque), INTENS. (intensidad) nunca excesiva, Y-POS (posición vertical del haz) y X-POS (posición horizontal del haz).

2.4.- Osciloscopios digitales

Los osciloscopios digitales poseen además de las secciones explicadas anteriormente un sistema adicional de procesamiento de datos que permite almacenar y visualizar las señales.

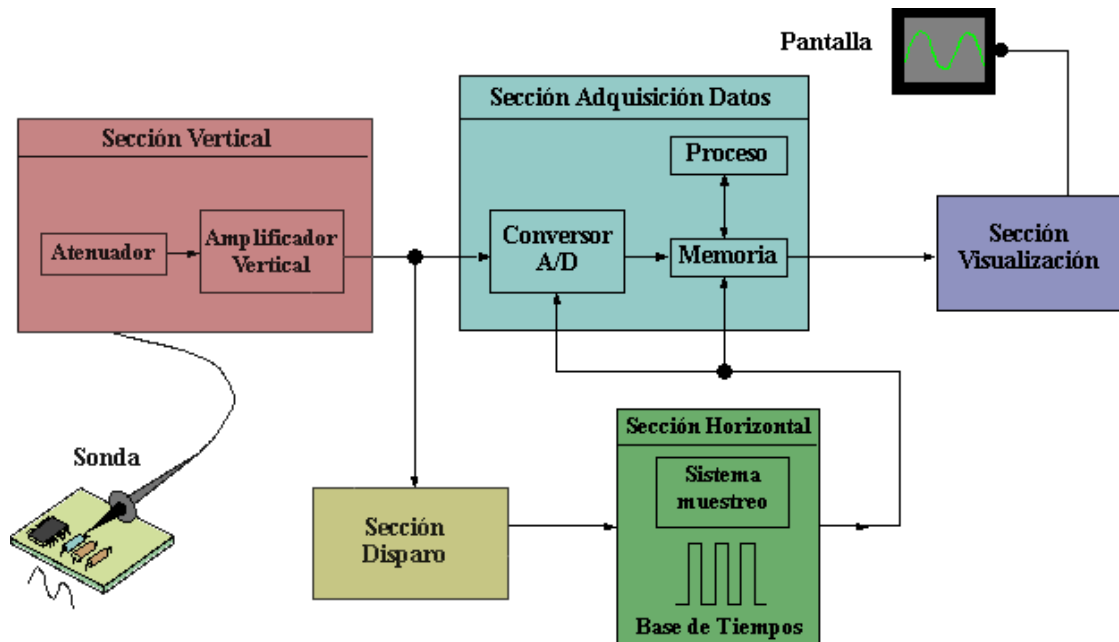


Figura 2.11.- Osciloscopio digital.

Cuando se conecta la sonda de un osciloscopio digital a un circuito, la sección vertical ajusta la amplitud de la señal de la misma forma que lo hacía el osciloscopio analógico.

El convertor analógico-digital del sistema de adquisición de datos muestrea la señal a intervalos de tiempo determinados y convierte la señal de voltaje continua en una serie de valores digitales llamados muestras. En la sección horizontal una señal de reloj determina cuándo el convertor A/D toma una muestra. La velocidad de este reloj se denomina velocidad de muestreo y se mide en muestras por segundo.

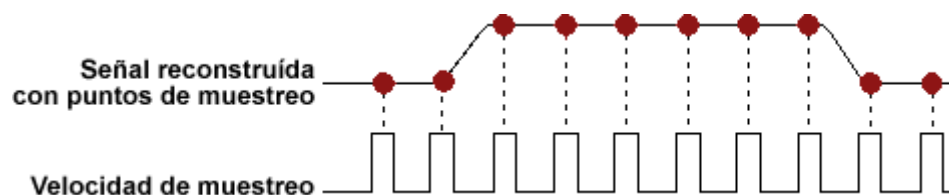


Figura 2.12.- Ejemplo del muestreo de una señal.

Los valores digitales muestreados se almacenan en una memoria como puntos de señal. El número de los puntos de señal utilizados para reconstruir la señal en pantalla se denomina registro. La sección de disparo determina el comienzo y el final de los puntos de señal en el registro. La sección de visualización recibe estos puntos

del registro, una vez almacenados en la memoria, para presentar en pantalla la señal.

Dependiendo de las capacidades del osciloscopio se pueden tener procesos adicionales sobre los puntos muestreados, incluso se puede disponer de un predisparo, para observar procesos que tengan lugar antes del disparo.

Fundamentalmente, un osciloscopio digital se maneja de un modo similar a uno analógico: para poder tomar las medidas se necesita ajustar los mandos AMPL., TIMEBASE, y los que intervienen en el disparo.

2.5.- Métodos de muestreo

Para señales de variación lenta, los osciloscopios digitales pueden perfectamente reunir más puntos de los necesarios para reconstruir posteriormente la señal en la pantalla. No obstante, para señales rápidas (cómo de rápidas dependerá de la máxima velocidad de muestreo de nuestro aparato) el osciloscopio no puede recoger muestras suficientes y debe recurrir a una de estas dos técnicas:

- **Interpolación**, es decir, estimar un punto intermedio de la señal basándose en el punto anterior y posterior.
- **Muestreo en tiempo equivalente**. Si la señal es repetitiva es posible muestrear durante unos cuantos ciclos en diferentes partes de la señal para después reconstruir la señal completa.

2.5.1.- Muestreo en tiempo real con interpolación

El método estándar de muestreo en los osciloscopios digitales es el muestreo en tiempo real: el osciloscopio reúne los suficientes puntos como para reconstruir la señal. Para señales no repetitivas o la parte transitoria de una señal es el único método válido de muestreo.

Los osciloscopios utilizan la interpolación para poder visualizar señales que son más rápidas que su velocidad de muestreo. Existen básicamente dos tipos de interpolación:

- **Senoidal**: Conecta los puntos muestreados con curvas según un proceso matemático, de esta forma los puntos intermedios se calculan para rellenar los espacios entre puntos reales de muestreo.
- **Lineal**: Simplemente conecta los puntos muestreados con líneas.

Usando este proceso es posible visualizar señales con gran precisión disponiendo de relativamente pocos puntos de muestreo.

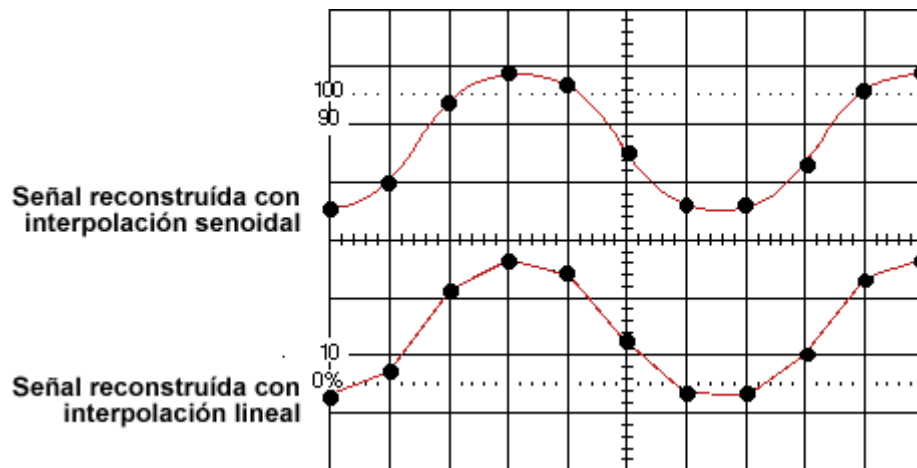


Figura 2.13.- Ejemplo de interpolación de una señal.

2.5.2.- Muestreo en tiempo equivalente

Algunos osciloscopios digitales utilizan este tipo de muestreo. Se trata de reconstruir una señal repetitiva capturando una pequeña parte de la señal en cada ciclo. Existen dos tipos básicos:

- **Muestreo secuencial.** Los puntos aparecen de izquierda a derecha en secuencia para conformar la señal.
- **Muestreo aleatorio.** Los puntos aparecen aleatoriamente para formar la señal

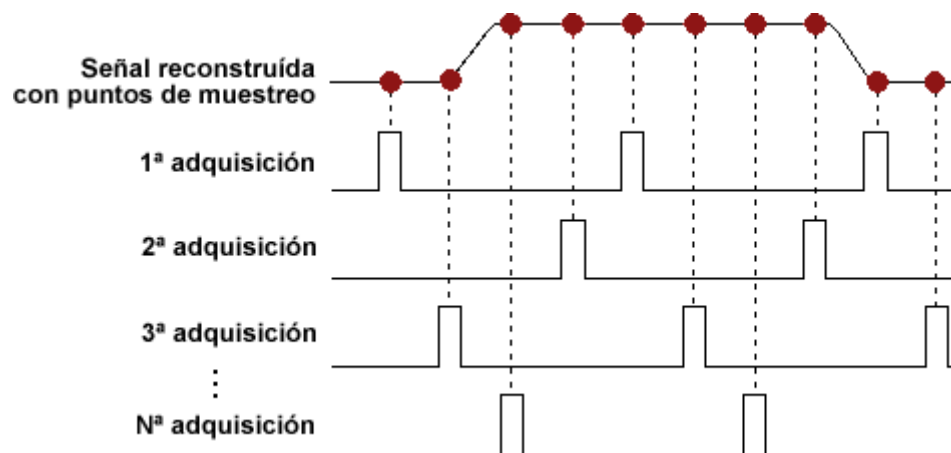


Figura 2.14.- Muestreo en tiempo equivalente.

2.6.- Terminología

Estudiar un tema implica conocer nuevos términos técnicos. Ahora vamos a explicar los términos más utilizados en relación al estudio de los osciloscopios.

Existe un término general para describir un patrón que se repite en el tiempo: **onda**. Existen ondas de sonido, ondas oceánicas, ondas cerebrales y por supuesto, ondas de tensión. Un osciloscopio mide estas últimas. Un **ciclo** es la mínima parte de la onda que se repite en el tiempo. Una **forma de onda** es la representación gráfica de una onda. Una forma de onda de tensión siempre se presentará con el tiempo en el eje horizontal (X) y la amplitud en el eje vertical (Y).

La forma de onda nos proporciona una valiosa información sobre la señal. En cualquier momento podemos visualizar la altura que alcanza y, por lo tanto, saber si el voltaje ha cambiado en el tiempo (si observamos, por ejemplo, una línea horizontal podremos concluir que en ese intervalo de tiempo la señal es constante). Con la pendiente de las líneas diagonales, tanto en flanco de subida como en flanco de bajada, podremos conocer la velocidad en el paso de un nivel a otro. Pueden observarse también cambios repentinos de la señal (ángulos muy agudos) generalmente debidos a procesos transitorios.

Tipos de forma de ondas

Se pueden clasificar las ondas con las que vamos a trabajar en los cuatro tipos siguientes:

- Ondas senoidales
- Ondas cuadradas y rectangulares
- Ondas triangulares y en diente de sierra.
- Pulsos y flancos o escalones.

2.6.1.- Tipos de formas de ondas

Ondas senoidales

Son las ondas fundamentales y eso por varias razones: Poseen unas propiedades matemáticas muy interesantes (por ejemplo, con combinaciones de señales senoidales de diferente amplitud y frecuencia se puede reconstruir cualquier forma de onda), la señal que se obtiene de las tomas de corriente de cualquier casa tienen esta forma, las señales de test producidas por los circuitos osciladores de un generador de señal son también senoidales, y la mayoría de las fuentes de potencia en AC (corriente alterna) producen señales senoidales.

La señal senoidal amortiguada es un caso especial de este tipo de ondas. Se produce en fenómenos de oscilación, pero no se mantiene en el tiempo.

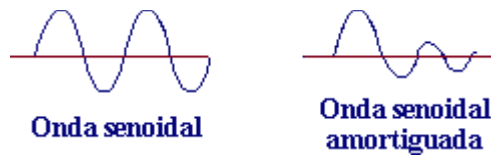


Figura 2.15.- Ondas senoidales.

Ondas cuadradas y rectangulares

Las ondas cuadradas son básicamente ondas que pasan de un estado a otro de tensión, a intervalos regulares, en un tiempo muy reducido. Son utilizadas usualmente para probar amplificadores (esto es debido a que este tipo de señales contienen en sí mismas todas las frecuencias). La televisión, la radio y los ordenadores utilizan mucho este tipo de señales, fundamentalmente como relojes y temporizadores.

Las ondas rectangulares se diferencian de las cuadradas en no tener iguales los intervalos en los que la tensión permanece a nivel alto y bajo. Son particularmente importantes para analizar circuitos digitales.

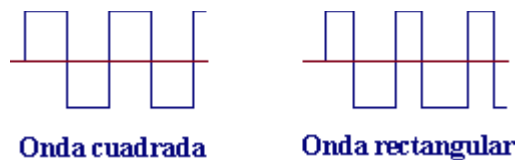


Figura 2.16.- Ondas cuadradas y rectangulares.

Ondas triangulares y en diente de sierra

Se producen en circuitos diseñados para controlar voltajes linealmente, como pueden ser, por ejemplo, el barrido horizontal de un osciloscopio analógico o el barrido tanto horizontal como vertical de una televisión. Las transiciones entre el nivel mínimo y el máximo de la señal cambian a un ritmo constante. Estas transiciones se denominan rampas.

La onda en diente de sierra es un caso especial de señal triangular con una rampa descendente de pendiente mucho más pronunciada que la rampa ascendente.

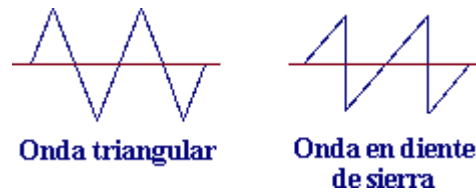


Figura 2.17.- Ondas triangulares y en diente de sierra.

Pulsos , flancos o escalones

Señales que se presentan una sola vez, como los escalones y los pulsos, se denominan señales transitorias. Un escalón indica un cambio repentino en el voltaje, por ejemplo cuando se conecta un interruptor de alimentación. El pulso indicaría, en este mismo ejemplo, que se ha conectado el interruptor y al cabo de un determinado tiempo se ha desconectado. Un flanco es la parte de subida ó bajada (flanco de subida ó flanco de bajada respectivamente) de una señal que cambia repentinamente, tal como un pulso ó un escalón

Generalmente el pulso representa un bit de información atravesando un circuito de un ordenador digital o también un pequeño defecto en un circuito (por ejemplo un falso contacto momentáneo). Es común encontrar señales de este tipo en ordenadores, equipos de rayos X y de comunicaciones.

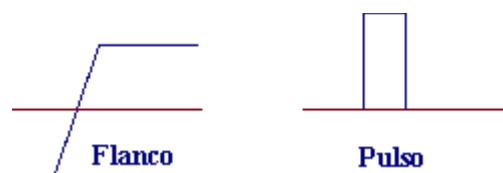


Figura 2.18.- Escalón y pulso.

2.6.2.- Medidas en las formas de onda

En esta sección se definen los parámetros utilizados habitualmente para describir las formas de onda que vamos a usar en esta práctica.

Voltaje

Voltaje es la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos de un circuito. Normalmente uno de esos puntos suele ser tierra (GND, 0V), pero no siempre, por ejemplo se puede medir el voltaje pico a pico de una señal (V_{pp}) como la diferencia entre el valor máximo y mínimo de esta. La palabra amplitud significa generalmente la diferencia entre el valor máximo de una señal y tierra.

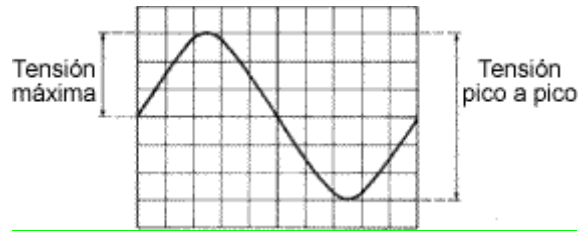


Figura 2.19.- Medida del voltaje.

La magnitud de la tensión se determina multiplicando el valor del coeficiente de deflexión (AMPL. I ó AMPL. II, según el canal de trabajo, como se puede ver en la Figura 7) ajustado por la altura de la imagen en divisiones. El regulador fino del atenuador de entrada debe encontrarse en su posición calibrada CAL.

Definiendo:

H = Altura en divisiones de la onda

V_{pp} = Tensión pico a pico de la señal de entrada

A = Coeficiente de deflexión en V/división

La tensión pico a pico de la señal viene dada por: $V_{pp} = A \cdot H$.

Tal y como se ve en la Figura 18, $H = 6$ div; si el coeficiente de deflexión del osciloscopio es $A = 50$ mV/div, la tensión pico a pico de la señal es: $V_{pp} = A \cdot H = 6 \text{ div} \cdot 50 \text{ mV/div} = 300 \text{ mV}$.

Período y Frecuencia

Si una señal se repite en el tiempo, posee una frecuencia (f). La frecuencia se mide en Hertz (Hz) y es igual al número de veces que la señal se repite en un segundo, es decir, 1Hz equivale a 1 ciclo por segundo.

Una señal repetitiva también posee otro parámetro: el periodo, definiéndose como el tiempo que tarda la señal en completar un ciclo.

Período y frecuencia son recíprocos el uno del otro:

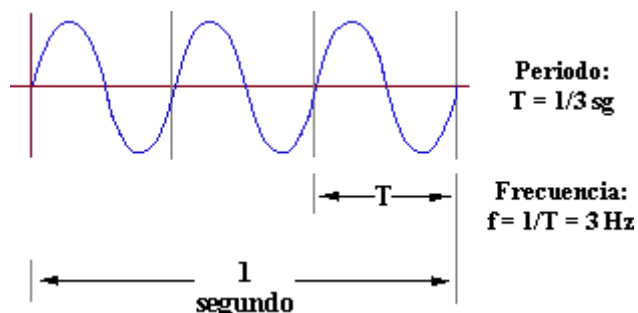


Figura 2.20.- Medida del período y de la frecuencia.

La duración de un período de señal se calcula multiplicando la sección de tiempo correspondiente (distancia horizontal en divisiones entre puntos homólogos) por el coeficiente de tiempo que se haya ajustado en el conmutador TIMEBASE (ver Figura 2.9). Para determinar los valores de tiempo, el regulador fino de tapa roja deberá estar en su posición calibrada CAL.

Definiendo:

L = longitud horizontal en divisiones de una onda en pantalla

T = tiempo en segundos de un período

f = Frecuencia en Hz de la repetición de la señal

Z = Coeficiente de tiempo en segundos/división ajustado en el conmutador de base de tiempos (TIMEBASE).

y teniendo en cuenta que $f = 1/T$, el período de la señal viene dado por: $T = L \cdot Z$.

Tal y como se ve en la Figura 2.19, $L = 10$ div; si la Base de Tiempos (TIMEBASE) del osciloscopio es $Z = 0.5 \mu\text{s}/\text{div}$, el período de la señal es: $T = L \cdot Z = 10 \text{ div} \cdot 0.5 \mu\text{s}/\text{div} = 5 \mu\text{s}$.

Fase

La fase se puede explicar mucho mejor si consideramos la forma de onda senoidal. La onda senoidal se puede extraer de la circulación de un punto sobre un círculo de 360° . Un ciclo de la señal senoidal abarca los 360° .

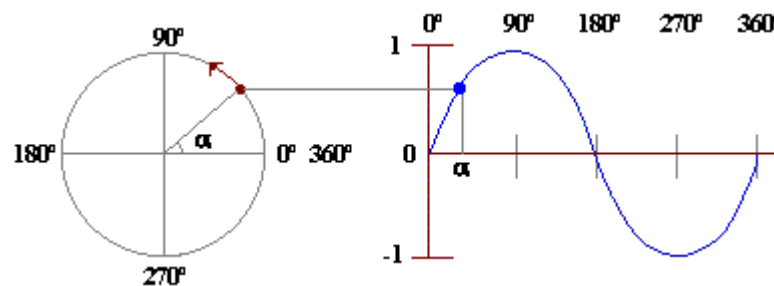


Figura 2.21.- Medida de la fase.

Cuando se comparan dos señales senoidales de la misma frecuencia puede ocurrir que ambas no estén en fase, o sea, que no coincidan en el tiempo los pasos por puntos equivalentes de ambas señales. En este caso se dice que ambas señales están desfasadas, pudiéndose medir el desfase usando algunos de los métodos que veremos (sección 2.9.1.).

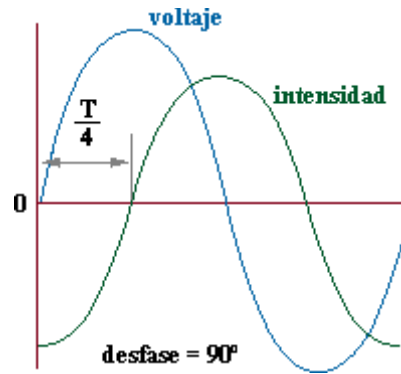


Figura 2.22.- Medida del desfase.

2.7.- Parámetros que influyen en la calidad de un osciloscopio

Los términos definidos en esta sección nos permitirán comparar diferentes modelos de osciloscopio disponibles en el mercado.

Ancho de Banda.

Especifica el rango de frecuencias en las que el osciloscopio puede medir con precisión. Por convenio el ancho de banda se calcula desde 0Hz (continua) hasta la frecuencia a la cual una señal de tipo senoidal se visualiza a un 70.7% del valor aplicado a la entrada (lo que corresponde a una atenuación de 3dB, donde dB es $20 \cdot \log_{10}(\text{amplitud})$).

Tiempo de subida.

Es otro de los parámetros que nos dará, junto con el anterior, la máxima frecuencia de utilización del osciloscopio. Es un parámetro muy importante si se desea medir con fiabilidad pulsos y flancos (recordar que este tipo de señales poseen transiciones entre niveles de tensión muy rápidas). Un osciloscopio no puede visualizar pulsos con tiempos de subida más rápidos que el suyo propio.

Sensibilidad vertical.

Indica la facilidad del osciloscopio para amplificar señales débiles. Se suele proporcionar en mV por división vertical, normalmente es del orden de 5 mV/div (llegando hasta 2 mV/div).

Velocidad.

Para osciloscopios analógicos esta especificación indica la velocidad máxima del barrido horizontal, lo que nos permitirá observar sucesos más rápidos. Suele ser del orden de nanosegundos por división horizontal.

Exactitud en la ganancia.

Indica la precisión con la cual el sistema vertical del osciloscopio amplifica o atenúa la señal. Se proporciona normalmente en porcentaje máximo de error.

Exactitud de la base de tiempos.

Indica la precisión en la base de tiempos del sistema horizontal del osciloscopio para visualizar el tiempo. También se suele dar en porcentaje de error máximo.

Velocidad de muestreo.

Concepto únicamente aplicable en los osciloscopios digitales, y que indica cuantas muestras por segundo es capaz de tomar el sistema de adquisición de datos (específicamente el conversor A/D). En los osciloscopios de calidad se llega a velocidades de muestreo de Megamuestras/seg. Una velocidad de muestreo grande es importante para poder visualizar pequeños períodos de tiempo. En el otro extremo de la escala, también se necesita velocidades de muestreo bajas para poder observar señales de variación lenta. Generalmente la velocidad de muestreo cambia al actuar sobre el mando TIMEBASE para mantener constante el número de puntos que se almacenan para representar la forma de onda.

Resolución vertical.

Se mide en bits y es un parámetro que nos da la resolución del conversor A/D del osciloscopio digital. Nos indica con qué precisión se convierten las señales de entrada en valores digitales almacenados en la memoria. Técnicas de cálculo pueden aumentar la resolución efectiva del osciloscopio.

Longitud del registro.

Indica cuántos puntos se memorizan en un registro para la reconstrucción de la forma de onda. Algunos osciloscopios permiten variar, dentro de ciertos límites, este parámetro. La máxima longitud del registro depende del tamaño de la memoria de que disponga el osciloscopio. Una longitud grande del registro permite realizar zooms sobre detalles en la forma de onda de forma muy rápida (los datos ya han sido almacenados), sin embargo esta ventaja se obtiene a costa de consumir más tiempo en el muestreo de la señal completa.

2.8.- Calibración de un osciloscopio

La calibración es la primera operación a realizar una vez encendido el osciloscopio cuando queremos que las medidas que tomemos tengan mucha precisión. Como se

sabe, todo aparato de medida conviene calibrarlo antes de usarlo. La calibración consiste en introducir valores conocidos de la magnitud física a medir y comprobar que efectivamente coinciden con los indicados por el aparato de medida. En el osciloscopio, las magnitudes a medir son amplitud y frecuencia de una señal eléctrica y por tanto introduciremos valores conocidos de cada una de ellas para calibrarlo.

Normalmente, cada osciloscopio proporciona señales conocidas (tanto en amplitud como en frecuencia) y serán estas las que usaremos para calibrar el aparato. De no ser así, habremos de recurrir al uso de un generador de señal que nos proporcione valores conocidos.

Los pasos a seguir (para el osciloscopio que se muestra en la documentación que se os entregará para la realización de las prácticas) serán pues:

- Comprobar que ninguna de las teclas está pulsada.
- Asegurarse de que el regulador fino de los mandos TIMEBASE, AMPL. I y AMPL. II está situado en la posición CAL.
- Colocar los mandos principales con muesca blanca en una posición media (con la raya señalando más o menos verticalmente hacia arriba).
- Colocar los dos conmutadores AC-DC-GD de entrada para canal I y canal II en la posición de DC .
- Eliminar la base de tiempos (tecla X-Y pulsada).
- Centrar el punto de la señal utilizando el botón X-POS e Y-POS, para ambos canales (I y II).
- Introducir por una de las entradas la señal conocida, procedente del calibrador del osciloscopio (el conmutador DC-AC-GD tiene que estar en la posición DC).
- Comprobar que el valor de la amplitud efectivamente coincide con el indicado. De no ser así, modificar los mandos de calibrado (los reguladores finos) que afectan a la amplitud de la señal (ver instrucciones del osciloscopio en cada caso).
- Comprobar que el valor de la frecuencia es el indicado. De no ser así, modificar el mando de calibrado (el regulador finos que afecta a la base de tiempos del osciloscopio – TIME/DIV (ver instrucciones del aparato en cada caso).
- No modificar en adelante las posiciones de calibrado obtenidas. Normalmente coinciden con las ya indicadas por el osciloscopio (CAL).
- El calibrado tiene que realizarse en los dos canales (I y II).

2.9.- Figuras de LISSAJOUS

Las figuras de Lissajous son el resultado de enfrenar dos movimientos armónicos simples perpendiculares entre sí. Éstos pueden ser representados por señales de tipo senoidal. Por ello el osciloscopio resulta una herramienta útil para su visualización, ya que podemos utilizar la posición X-Y y eliminar la base de tiempos para enfrenar perpendicularmente dos señales que entran por cada uno de los canales del osciloscopio. Ello es posible ya que uno de los canales hace de X (La señal se propaga horizontalmente) y el otro de Y (La señal se propaga verticalmente). En la Figura 2.23 aparece el caso más simple, en el cual ambas señales tienen igual frecuencia. Sin embargo, para diferentes combinaciones de frecuencia tendremos figuras más complicadas. Además, dependiendo del desfase entre las señales enfrentadas aparecen variantes de las anteriores (ver Figura 2.24).

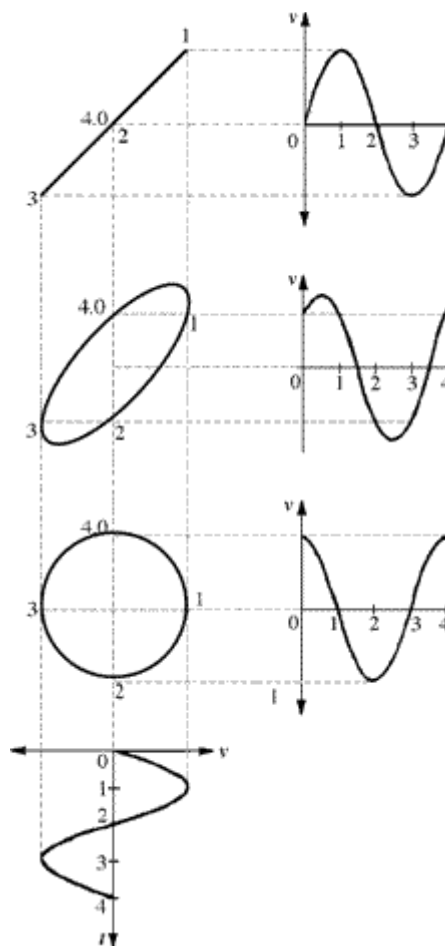


Figura 2.23.-
Figuras de Lissajous.

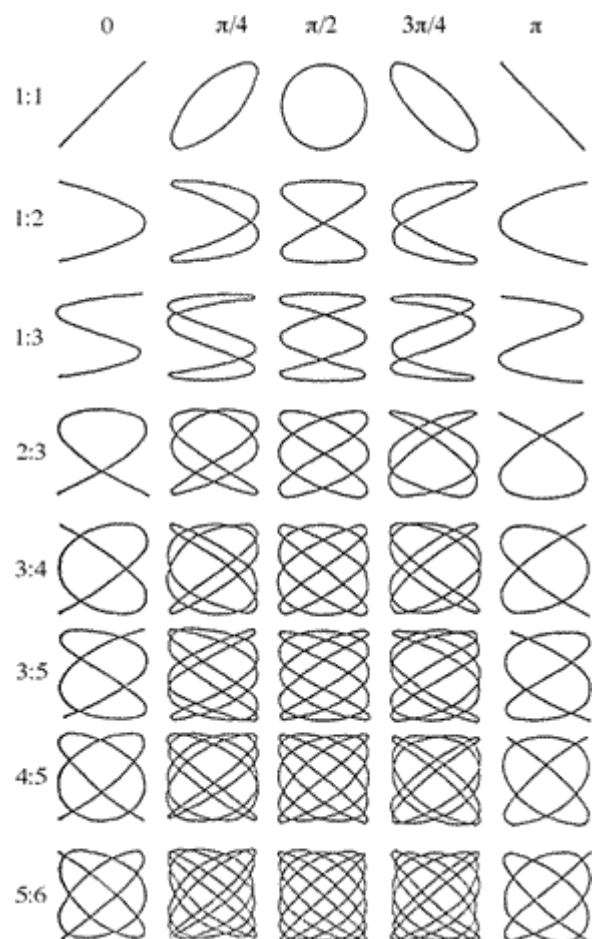


Figura 2.24.-
Otras figuras de Lissajous.

por un canal y mediremos el ángulo formado por la elipse, tal y como indica la figura 24. El desfase vendrá dado por

$$\varphi = \arcsen \frac{A}{B}$$

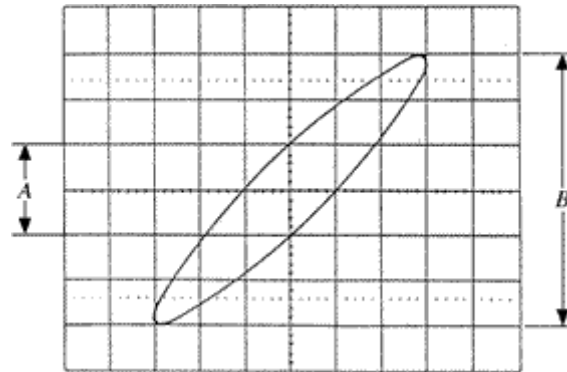


Figura 2.26.- Medida usando el método de la elipse.

2.10.- Valores eficaces

Vamos a ver cómo se relacionan las señales medidas con el polímetro con las obtenidas en el osciloscopio. Si tenemos un circuito alimentado por una fuente de tensión alterna, podremos representar la tensión y la intensidad en función de sus valores máximos y de la frecuencia como sigue:

$$V = V_m \text{sen} \omega t$$

$$I = I_m \text{sen}(\omega t + \varphi)$$

donde T es el período, cuyo valor en función de la frecuencia angular es:

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

Sustituyendo tendremos:

$$\left. \begin{aligned} \bar{p} &= \frac{\omega}{2\pi} \int_0^T V_m I_m \sin \omega t \sin(\omega t + \phi) dt \\ \sin(\omega t + \phi) &= \sin \omega t \cos \phi + \sin \phi \cos \omega t \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\bar{p} = \frac{\omega}{2\pi} V_m I_m \left[\int_0^T \sin^2 \omega t \cos \phi + \int_0^T \sin \omega t \cos \omega t \sin \phi dt \right]$$

$$\left. \begin{aligned} \int \sin^2 ax \, dx &= \frac{x}{2} - \frac{\sin 2ax}{4a} \\ \int \sin ax \cos ax \, dx &= \frac{\sin^2 ax}{2a} \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\bar{p} = \frac{\omega}{2\pi} V_m I_m \left[\left(\frac{t}{2} - \frac{\sin 2\omega t}{4\omega} \right) \cos \phi + \frac{\sin^2 \omega t}{2\omega} \right]_0^T \Rightarrow$$

$$\bar{p} = \frac{V_m I_m}{2} \cos \phi$$

1) La potencia depende del desfase entre tensión e intensidad con independencia del signo del mismo ($\cos \varphi$)

2) En un circuito formado sólo por resistencias ($\varphi=0$)

$$\bar{p} = \frac{V_m I_m}{2}$$

3) En un circuito formado sólo por condensadores ($\varphi=90$)

$$\bar{p} = 0$$

4) La potencia disipada en alterna, es siempre menor que la disipada en continua.

Además, si llamamos V_e e I_e a los valores de tensión y corriente medidos con el polímetro, tendremos lo que sigue:

1) Continua

$$\bar{p} = I_e V_e$$

2) Alterna

$$\bar{p} = \frac{I_m V_m}{2}$$

Para poder establecer una equivalencia entre ambas expresiones habrá de cumplirse

$$\frac{I_m V_m}{2} = I_e V_e$$

lo cual será cierto si definimos

$$V_e = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \quad I_e = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

V_e e I_e son los llamados valores eficaces.

3.- CONDENSADORES.

Un condensador es un elemento de circuito que permite almacenar carga eléctrica. La cantidad de carga que puede almacenar dependerá de su capacidad, la cual se mide en faradios. Los valores de los condensadores oscilan entre unos pocos picofaradios hasta un microfaradio en los condensadores de papel y 500 o más microfaradios en los electrolíticos.

Los símbolos convencionales para representar un condensador son los indicados en la Figura 2.27.

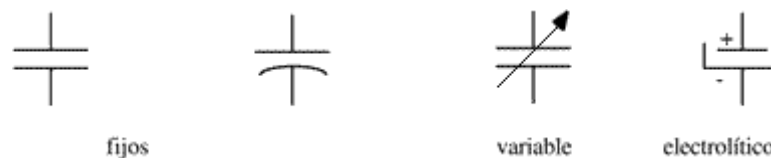


Figura 2.27.- Símbolos de condensadores.

En los condensadores, además de su capacidad, habrá que tener en cuenta la diferencia de tensión máxima que pueden soportar y, en el caso de los electrolíticos, su polaridad.

Los condensadores se construyen normalmente mediante dos láminas metálicas finas (estaño o aluminio), separadas por un aislante delgado también llamado dieléctrico (Figura 2.28). Este "bocadillo" se enrolla o se pliega para darle un tamaño más reducido y se recubre de un revestimiento aislante. Según el tipo de dieléctrico utilizado, el condensador se denominará de mica, papel, cerámica, plástico, etc. A cada armadura se le une un alambre que sale al exterior y que hace las veces de

terminal. Esto permite insertarlo en un circuito. Para aumentar la capacidad de un condensador, conviene que el dieléctrico sea lo más delgado posible. Esto sólo puede lograrse a expensas de reducir la tensión eléctrica máxima que se puede aplicar sin que salte una chispa entre sus armaduras, lo cual deterioraría el dieléctrico y por lo tanto el condensador (rotura del dieléctrico). Se pueden conseguir así condensadores de varios microfaradios. La capacidad de un condensador puede indicarse directamente sobre el mismo o mediante diferentes códigos.

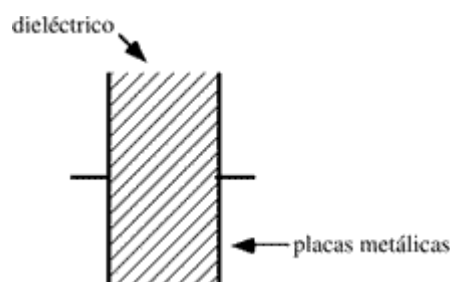


Figura 2.28.- Estructura de un condensador.

El condensador se carga debido a que una carga eléctrica $+q$ aplicada a una de las placas, al no poder atravesar el dieléctrico, se queda ahí almacenada. La presencia de dicha carga hace que el dieléctrico se polarice, con lo cual cada uno de los dipolos formantes se reorienta en la misma dirección. Finalmente la placa metálica opuesta queda cargada con una carga $-q$. El resultado final es un sistema neutro (Figura 2.29).

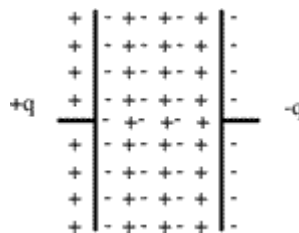


Figura 2.29.- Distribución de las cargas en un condensador.

La capacidad de un condensador C , es una cantidad constante que está relacionada con la carga y el potencial mediante la expresión:

$$\left. \begin{aligned} v(t) &= \frac{q(t)}{C} \\ i(t) &= \frac{dq}{dt} \Rightarrow q(t) = \int_0^t i(t)dt \end{aligned} \right\} \Rightarrow v(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i(t)dt \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow i(t) = C \frac{dv(t)}{dt}$$

Esta última, nos relaciona tensión e intensidad. Dicha relación no es lineal como en el caso anterior de la resistencia.

Para entender un poco más acerca del funcionamiento de un condensador, podemos utilizar un símil hidráulico. Este equivaldría a una vasija como la de la Figura 28. En ella el volumen actual de líquido sería la carga del condensador. El volumen total de la vasija representaría la capacidad y la altura de líquido en la vasija, la diferencia de potencial entre placas.

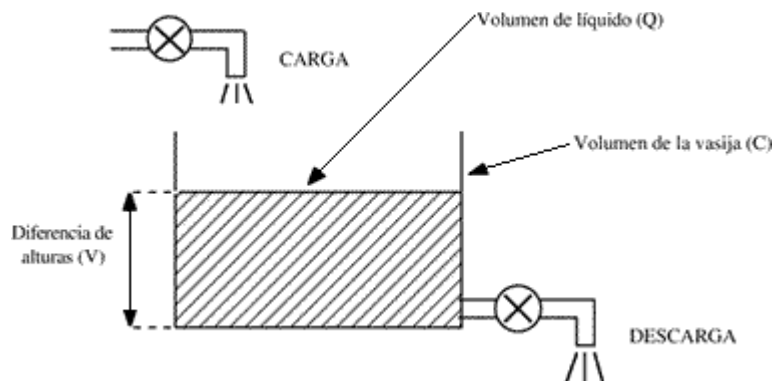


Figura 2.28.- Símil hidráulico de un condensador.

Para ver el comportamiento en dinámica del condensador, introduciremos este dentro de un circuito. Utilizando el símil de la vasija, podemos imaginar el proceso de carga y descarga de aquella unida a un depósito que la alimenta tal y como aparece en la Figura 2.31.

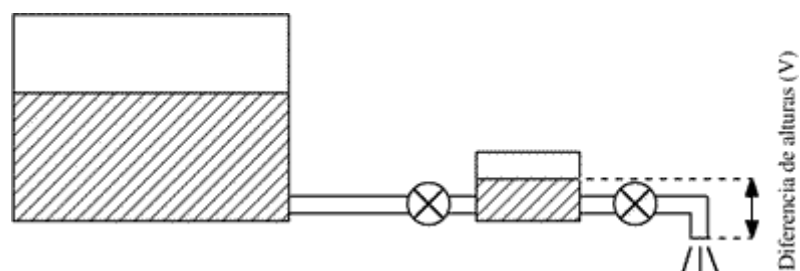


Figura 2.31.- Comportamiento dinámico de un condensador.

Se pueden dar dos situaciones:

1) Que la vasija se llene con un caudal constante. Para ello deberá existir algún mecanismo que ayude a inyectar líquido del depósito dentro de la vasija. Una vez llena, podremos vaciarla, también a volumen constante, mediante el uso de otro mecanismo, esta vez de extracción. Eléctricamente, esto equivale al circuito de la figura 2.32, en el cual hemos introducido dos generadores de intensidad de corriente, que obligan a esta a permanecer constante, así como un interruptor que nos permite conectar una u otra.

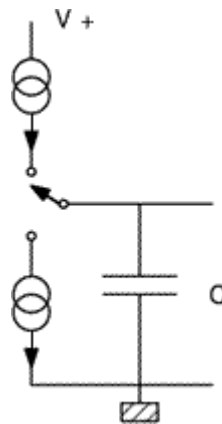


Figura 2.32.- Circuito eléctrico equivalente de un condensador

De esta forma en un caso se estará produciendo carga y en el otro descarga. De la expresión obtenida anteriormente para el potencial, si tomamos $i(t)=cte$ nos queda:

$$\left. \begin{array}{l} v(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i(t) dt \\ i(t) = cte \end{array} \right\} \Rightarrow v(t) = K * t$$

donde $K=cte$.

De aquí tenemos que tanto en la carga como en la descarga el potencial varía linealmente con el tiempo, como si de una señal triangular se tratase (Figura 31).

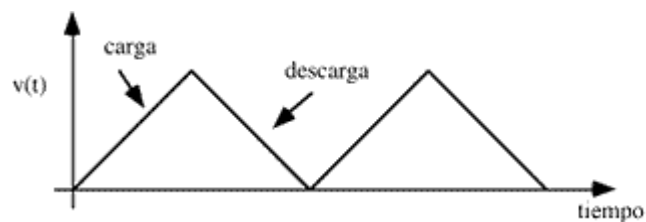


Figura 2.33.- Forma de variación del potencial para un condensador con I constante.

2) Si eliminamos los mecanismos de inyección antes citados, la carga y descarga se producirá exclusivamente debido a la diferencia de potencial entre placas $V(t)$. Supondremos en este caso que el potencial en la fuente de alimentación permanece constante, o sea el nivel de líquido del depósito que alimenta la vasija es el mismo durante todo el proceso. El circuito será ahora el de la Figura 2.34.

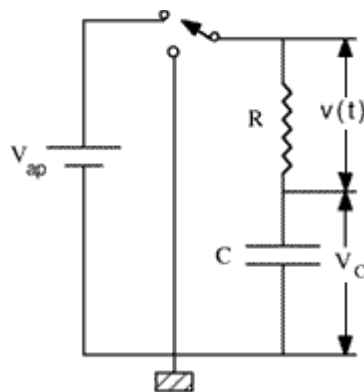


Figura 2.34.- Forma de variación del potencial para un condensador

La resistencia que aparece es debida al circuito en sí (las tuberías que sirven de unión). En el caso anterior no era necesaria ya que la intensidad de corriente permanecía constante. De las expresiones vistas con anterioridad tenemos:

$$i(t) * R = v(t) \quad (\text{resistencia})$$

$$i(t) = C \frac{dv_c(t)}{dt} \quad (\text{condensador})$$

En la carga

$$\left. \begin{array}{l} i(t) = C \frac{dv_c(t)}{dt} \\ i(t) * R = V_{ap} - v_c(t) \end{array} \right\} \Rightarrow C \frac{dv_c(t)}{dt} = \frac{V_{ap} - v_c(t)}{R} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \frac{dv_c(t)}{v_c(t) - V_{ap}} = -\frac{dt}{RC} \Leftrightarrow \ln(v_c(t) - V_{ap}) = -\frac{t}{RC} + cte \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow (v_c(t) - V_{ap}) = Ae^{-\frac{t}{RC}} \Leftrightarrow v_c(t) = V_{ap} + Ae^{-\frac{t}{RC}} \Rightarrow$$

$$t = 0 \Rightarrow v_c = 0 \Leftrightarrow A = -V_{ap}$$

$$\Rightarrow v_c(t) = V_{ap}(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

El condensador se cargará rápidamente al principio, pero la velocidad de carga irá disminuyendo de forma logarítmica a medida que se reduce la diferencia de potencial como podemos ver en la Figura 2.35. Para el caso de la descarga:

$$\left. \begin{array}{l} i(t) = C \frac{dv_c(t)}{dt} \\ i(t) = \frac{v(t)}{R} \\ v(t) + v_c(t) = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow i(t) = -\frac{v(t)}{R} \Rightarrow C \frac{dv_c(t)}{dt} = \frac{-v_c(t)}{R} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \frac{dv_c(t)}{v_c(t)} = -\frac{dt}{RC} \Leftrightarrow \ln(v_c(t) - V_{ap}) = -\frac{t}{RC} + \text{cte} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow (v_c(t) - V_{ap}) = Ae^{-\frac{t}{RC}} \Leftrightarrow v_c(t) = V_{ap} + Ae^{-\frac{t}{RC}} \Rightarrow$$

$$t = 0 \Rightarrow v_c = 0 \Leftrightarrow A = -V_{ap}$$

$$\Rightarrow v_c(t) = V_{ap} e^{-\frac{t}{RC}}$$

La descarga es muy rápida al principio, pero se va moderando de forma exponencial a medida que la diferencia de potencial se anula (Figura 2.35).

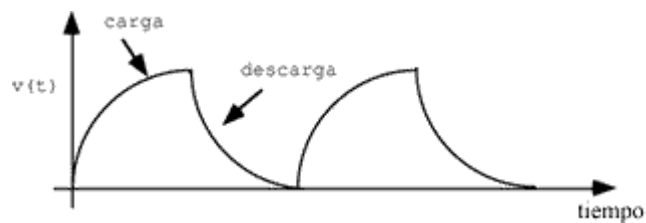


Figura 2.35.- Carga y descarga de un condensador en el segundo

En ambos casos, juegan su papel los valores de la resistencia y del condensador. Si definimos el producto de ambos ($\tau = RC$) como constante de tiempo y calculamos límites, tendremos que:

$$\lim_{\tau \rightarrow 0} e^{-\frac{t}{\tau}} = 0$$

$$\lim_{\tau \rightarrow \infty} e^{-\frac{t}{\tau}} = 1$$

1) En el caso de la carga, sustituyendo queda

$$\begin{array}{ll} \tau \rightarrow 0 & V_c \rightarrow V_{ap} \\ \tau \rightarrow \infty & V_c \rightarrow 0 \end{array}$$

2) En el caso de la descarga, tendremos

$$\begin{array}{ll} \tau \rightarrow 0 & V_c \rightarrow 0 \\ \tau \rightarrow \infty & V_c \rightarrow V_{ap} \end{array}$$

De lo anterior se deduce que tanto en la carga como en la descarga, constantes de tiempo grandes hacen que el condensador se cargue (o se descargue) lentamente y viceversa.

En diferentes aplicaciones, se precisan capacidades muy grandes, tamaños pequeños y tensiones bajas. Para ello se recurre a los condensadores electrolíticos, que dan capacidades muy elevadas. Se fabrican mediante un proceso electrolítico que forma una capa de óxido metálico intercalada en una pasta ó solución conductora. Hay que tener en cuenta la polaridad de las armaduras al conectarlo, para no destruir el dieléctrico, por lo que no se puede tampoco intercalar en circuitos con grandes tensiones alternas.

A veces es conveniente variar la capacidad de un circuito sin quitar el condensador de éste. Esto se consigue con los condensadores variables que están formados por dos armaduras situadas una frente a la otra, y cuya área eficaz (porción de superficie de una frente a la otra) se puede hacer variar girando una armadura sobre la otra. Un ejemplo de estos últimos son los conocidos condensadores de sintonía de los aparatos de radio.

3.1.- Asociación de condensadores

Es posible realizar asociación de condensadores tanto en serie como en paralelo, siendo su capacidad total:

a) En serie.

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

b) En paralelo.

$$C = C_1 + C_2$$

3.2.- Valores de los condensadores

Si bien en el caso de las resistencias, la lectura del valor de las mismas resultaba más o menos trivial, sin más que conocer los valores asociados a una serie de colores, en el caso de los condensadores, la lectura se complica ya que existen diferentes tipos de encapsulado.

Una primera división, nos establece dos grandes grupos en los cuales poder dividir los condensadores, según su capacidad.

A.- Capacidades grandes.

Corresponden a condensadores electrolíticos y dado que su tamaño es apreciable, aparece en ellos claramente escrita la capacidad. Además, todos ellos presentan cierta polaridad que viene indicada por los signos + ó -. Dicha polaridad es necesario conservarla cuando son insertados en un circuito, ya que de lo contrario pueden resultar dañados seriamente, sobre todo si la diferencia de potencial aplicado en sus extremos resulta elevada.

B.- Pequeñas capacidades.

Salvo que se indique lo contrario, sus unidades serán pF o μ F. Existen varios tipos que pasaremos a describir a continuación.

B.1.- De tántalo

Su tamaño es pequeño comparado con los anteriores, si bien también están polarizados, por lo que habremos de respetar las precauciones anteriormente descritas. Precisamente, el hecho de que estén polarizados, unido a su pequeño tamaño es una pista para identificarlos.

La lectura se puede presentar de dos formas:

- a) +4 μ 7
- b) +475K

Ambos indican la misma capacidad. Sin embargo, en a) μ sirve de punto decimal, resultando pues 4.7 μ F. En b) K indica el tipo de tolerancia (Figura 34) y 5 el exponente al cual hemos de elevar el valor 10. Es un sistema parecido al de las resistencias, pero sin colores. El resultado será:

$$47 \cdot 10^5 \text{ pF} = 4.7 \mu\text{F}$$

resultado que concuerda con el anterior. En la Figura 2.36 se muestran dos tablas con los diferentes códigos utilizados tanto para colores como para tolerancias.

COLOR	VALOR
NEGRO	0
MARRON	1
ROJO	2
NARANJA	3
AMARILLO	4
VERDE	5
AZUL	6
MORADO	7
GRIS	8
BLANCO	9
NEGRO	20%
BLANCO	10%
VERDE	5%
ROJO	2%
MARRON	1%

CODIGO	TOLERANCIA
A	0,05%
B	0,1%
C	0,25%
D	0,5%
F	1%
G	2%
J	5%
K	10%
M	20%

Figura 2.36.- Códigos de colores y tolerancias para condensador

B.2.- Otros

Siguen la regla general de utilizar como unidades los pF o μ F. Por ello, aplicando el sentido común, dado que se trata de pequeñas capacidades, debemos considerar que los valores numéricos grandes (820) corresponden a pF y los muy pequeños (0.33) a μ F, a no ser que se indique lo contrario.

En general, el código que siguen es el ya visto en el caso del tántalo. Bien la aparición de una letra en el medio (4n7) o bien el uso de la tercera cifra como exponente (475). Como letras se utilizan p o U para picofaradios, n para nanofaradios y μ para microfaradios.

Además, existe la posibilidad de emplear esto último, pero usando colores.

Algunos ejemplos nos ayudarán a comprender un poco mejor lo anterior:

$$822 \text{ M} \rightarrow 82 \cdot 10^2 \text{ pF} = 8.2 \text{ nF con } 20\% \text{ tolerancia.}$$

$$683 \text{ F} \rightarrow 68 \cdot 10^3 \text{ pF} = 68 \text{ nF con } 1\% \text{ tolerancia.}$$

$$392 \text{ K} \rightarrow 39 \cdot 10^2 \text{ pF} = 3.9 \text{ nF con } 10\% \text{ tolerancia.}$$

$$[\text{amarillo}][\text{morado}][\text{rojo}][\text{verde}] \rightarrow 47 \cdot 10^2 \text{ pF} = 4.7 \text{ nF con } 5\% \text{ tolerancia.}$$

Existen por último casos que se salen un poco de la regla anterior, en los que no existe ningún tipo de codificación, lo cual provoca algunas veces confusión. A continuación se citan algunos ejemplos que pueden ser vistos en el laboratorio:

$$270 \text{ K} \rightarrow 270 \cdot 1000 \text{ pF} = 270 \text{ nF}$$

$$470 \text{ J} \rightarrow 470 \text{ pF}$$

Como se puede ver en el primer caso, la elección de K como letra para la tolerancia, no parece haber sido muy afortunada, pues en este caso significa 1000.

4.- AUTOINDUCCIONES (L).

La autoinducción es una propiedad de la materia, por la cual esta se opone a la variación de la intensidad de corriente eléctrica que circula por ella. Esta especie de inercia que presentan los cuerpos al cambio de corriente, se interpreta como la aparición de una corriente eléctrica cuyo sentido es el opuesto al de la primitiva. En lugar de un símil hidráulico, se suele aplicar uno mecánico para explicar este fenómeno y es que lo anterior equivaldría a intentar desplazar un sólido rígido deslizando sobre un plano horizontal (Figura 2.37).

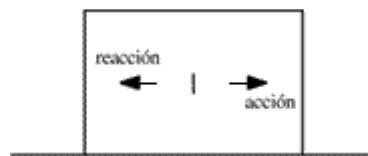


Figura 2.37.- Símil de una autoinducción.

Así, a la fuerza que se aplica (acción) se opondría otra derivada de la inercia (reacción) la cual habremos de vencer para que el sólido deslice.

La relación entre tensión e intensidad para este caso vendrá dada por la expresión:

$$v(t) = L \frac{di(t)}{dt} \Rightarrow i(t) = \frac{1}{L} \int_0^t v(t) dt$$

donde L es la autoinducción.

Las autoinducciones son componentes eléctricos que tienen inductancia apreciable. Constan normalmente de muchas espiras una junto a otra sobre un mismo soporte, sumándose así el flujo magnético creado por la corriente que circula por cada espira. Estos elementos se denominan vulgarmente bobinas.

La unidad de inductancia en el sistema Giorgi es el Henry. Los circuitos de alta frecuencia emplean inductancias del orden de 10^{-6} henry (μH), aunque con pocas decenas de espiras se logran inductancias de 10^{-3} henry (mH).

Las inductancias elevadas empleadas en baja frecuencia se obtienen devanando varios centenares de espiras sobre un núcleo de material ferromagnético, como por ejemplo el hierro o la ferrita. Con el uso de estos materiales la densidad del flujo magnético aumenta apreciablemente, lográndose así centenares de henrys.



Figura 2.38.- Representación gráfica de las autoinducciones.

Las inductancias variables se logran introduciendo más o menos el núcleo (si lo poseen), en la bobina o moviendo una parte del devanado respecto a la otra.

Muchas veces hay que tener en cuenta además de la inductancia, la resistencia del hilo de los devanados y la capacidad entre las espiras y entre las capas de devanados.

PARTE PRÁCTICA.

1. Medición de tensiones continuas y alternas mediante el osciloscopio.

De acuerdo con las instrucciones de manejo del osciloscopio del puesto de prácticas, realizar las siguientes operaciones:

- Enchufar y conectar el osciloscopio, esperando a que se caliente. El piloto deberá encenderse.
- Situar el mando de brillo en una posición tal que no sature y eliminar la base de tiempos situando el conmutador en la posición "X-Y". (Nota: la saturación se observa cuando el punto luminoso que aparece emite una luz muy intensa que origina la aparición de un halo en torno al punto en cuestión).
- Manejar los mandos de posición horizontal y vertical, para situar el punto luminoso en el centro de la pantalla. Retocar si es necesario el mando de enfoque.
- Realizar la experiencia descrita en el apartado 2.1 , figura 2.4, aplicando una tensión continua procedente de la fuente de alimentación a las placas horizontales y verticales, midiéndose los valores con el osciloscopio y comprobándolos con el valor suministrado por un polímetro utilizado como voltímetro.
- Continuar la experiencia aplicando una tensión alterna procedente del generador de funciones mediante una sonda en una de las entradas X ó Y y medir la tensión pico a pico resultante. Comprobar que el valor coincide con el de la tensión medida por un polímetro en alterna (tener en cuenta el factor de

conversión de medición, tensión pico a pico a eficaz , así como la frecuencia y forma de onda que admite el polímetro utilizado).

2. Observar las figuras de Lissajous resultantes a partir de dos señales senoidales con diferentes relaciones de frecuencia (1:1, 1:2, 1:3,2:3,3:4,3:5,4:5 y 5:6).

- Introducimos por el canal I la primera señal senoidal.
- Introducimos por el canal II la segunda señal del mismo tipo que la primera pero de distinta frecuencia.
- Dibujar los casos observados.

3. Determinación de la frecuencia de una señal senoidal desconocida.

- Poner el osciloscopio funcionando en modo X-Y e introducir por el canal X (o el Y) , la señal de frecuencia desconocida .
- Introducir por el otro canal una señal conocida procedente de un oscilador ó generador de señal del laboratorio.
- Modificar la frecuencia de la señal del oscilador conocido hasta que aparezcan en la pantalla las cicloides correspondientes a las figuras de Lissajous.
- Comparar lazos según las direcciones X e Y.
- Modificar la frecuencia hasta que aparezca una elipse (en cuyo caso ambas frecuencias deberán coincidir) y verificar que el valor de la frecuencia de la señal desconocida es el calculado en la práctica siguiente.

4. Determinación de la frecuencia de una señal cualquiera.

- Conectar la base de tiempos, situando el conmutador X-Y en la posición base de tiempos conectada (a la posición X) .
- Girar los mandos de posición horizontal y vertical hasta que aparezca una línea continua en la pantalla.
- Introducir la señal a medir por una de las entradas. Comprobar que los conmutadores de sincronismos de la base de tiempos están en la posición correcta (normalmente en automático y por el canal por el que se introduce la señal) , de lo contrario no podremos visualizar correctamente la señal en la pantalla al no estar estática.
- Modificar la base de tiempos, hasta que la separación entre puntos homólogos de la señal sea suficiente para visualizarla.

- Obtener el período T de la señal y comprobar que coincide con el inverso de la frecuencia suministrada por el generador de señal.

5. Medición del ángulo de desfase entre dos señales sinusoidales de igual frecuencia.

Para realizar esta práctica, utilizaremos los dos métodos para medir el desfase que hemos estudiado. La obtención de ambas señales se consigue en la práctica mediante el uso de un circuito formado por una resistencia y un condensador, de tal manera que se verifique la siguiente relación $5 \text{ kHz} < 1/(2\pi RC) < 10 \text{ kHz}$ (valor de $R > 1\text{k}\Omega$). Se podría intentar hacer esto mediante el uso de dos generadores de funciones, pero tendremos problemas en la práctica por la dificultad que supone conseguir dos señales de igual frecuencia a partir de fuentes independientes, por un lado y por otro, la dificultad añadida de controlar el desfase entre las fuentes.

Así, a partir del circuito RC de la figura siguiente, se consiguen dos tensiones sinusoidales desfasadas, una de las cuales, la tensión entre los extremos de la resistencia, esté en fase con la intensidad, pues la resistencia no produce desfase entre la tensión y la intensidad (para ello uno de los extremos de la resistencia debe estar conectado a masa). La tensión total estará desfasada respecto la intensidad, pues atraviesa el condensador que produce un desfase que depende de la frecuencia. Vemos pues así el desfase entre la tensión y la intensidad que circula por un circuito RC, (aunque realmente sea el desfase entre la tensión entre los extremos de la resistencia, = intensidad, y la total)

Para medir el desfase seguiremos los siguientes pasos:

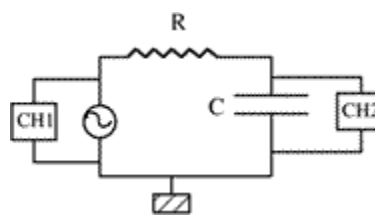


Fig. 2.39.- Esquema para la medida del ángulo de desfase (NOTA: intercambiar en el esquema la R por la C)

- Introducir en el osciloscopio ambas señales por cada una de sus entradas CH1 y CH2.
- Para usar el método de las dos trazas, medir la distancia entre puntos homólogos y transformar dicho valor tal y como se explicó anteriormente.

- Para usar el método de la Elipse de Lissajous, desconectar la base de tiempos del osciloscopio poniendo el osciloscopio en la posición X-Y y midiendo sobre la elipse que aparece los valores correspondientes.
- Por último comprobaremos que el valor del desfase medido por ambos métodos es aproximadamente el mismo.

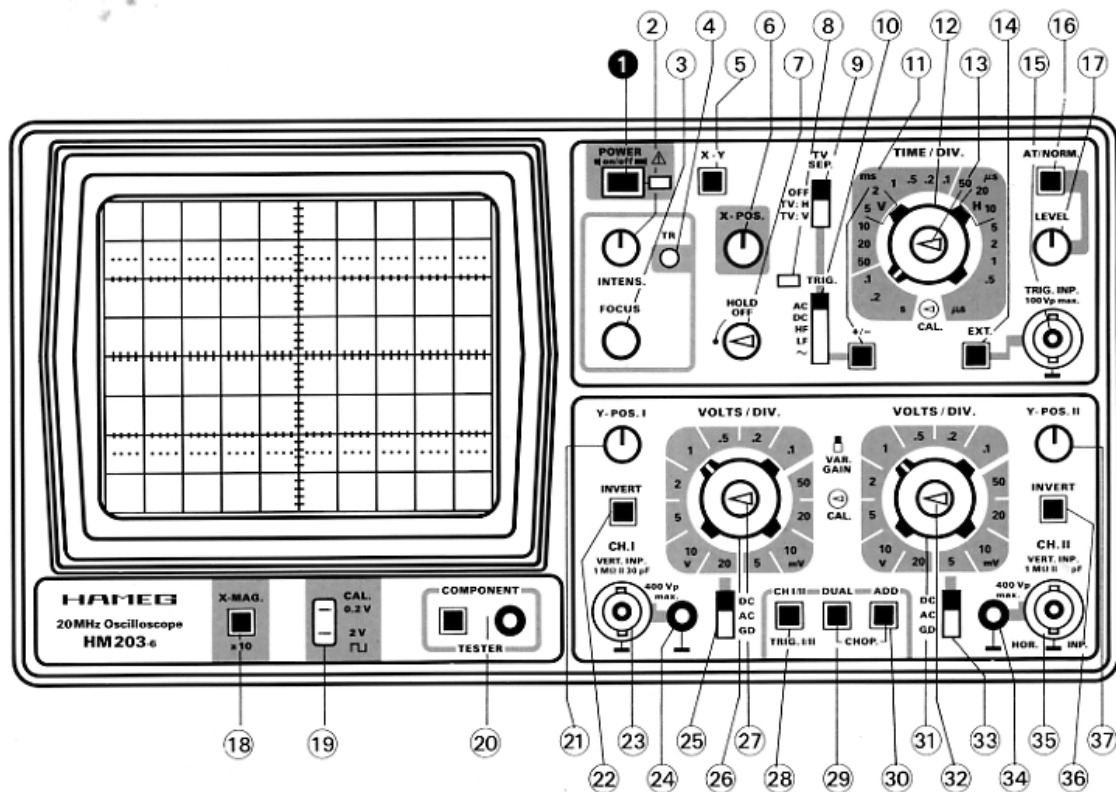


Fig. 2.40.- Vista frontal de un osciloscopio con su panel de mandos.

Front Panel Elements HM203-6 (Brief Description – Front View)

Element	Function	Element	Function
① POWER on/off (pushbutton + LED)	Turns scope on and off. LED indicates operating condition.	②③ CH. I (BNC connector)	CH. I signal input. Input impedance 1M Ω 30pF.
② INTENS. (knob)	Intensity control for trace brightness.	②④ Ground (4mm socket)	Separate ground jack.
③ FOCUS (knob)	Focus control for trace sharpness.	②⑤ DC-AC-GD (slide switch)	Selects input coupling of the CH. I Vertical Amplifier. DC: All components of the input signal are passed. AC: Signal is capacitively coupled (DC is blocked). GD: Signal is disconnected, amplifier input is grounded.
④ TR (pot)	Trace rotation. To align trace with horizontal graticule line. Compensates influence of earth's magnetic field.	②⑥ VOLTS/DIV. (rotary switch)	CH. I input attenuator. Selects input sensitivity in mV/cm or V/cm in 1-2-5 sequence.
⑤ X-Y (pushbutton switch)	Selects X-Y operation, stops sweep. X signal via CH. II. Attention! Phosphor burn-in without X signal.	②⑦ VAR. GAIN (center knob)	Continuously variable gain between the calibrated settings of the VOLTS/DIV switch. Increases sensitivity 2.5:1. Cal. position: ccw.
⑥ X-POS. (knob)	Controls horizontal position of trace.	②⑧ CH I/II-TRIG. I/II (pushbutton switch)	Button released: CH. I only and internal trig. from CH. I. Button depressed: CH. II only and internal trig. from CH. II. In DUAL and ADD mode: Button selects internal trigger signal.
⑦ HOLD OFF (knob)	Controls holdoff-time between sweeps. Normal position = full ccw.	②⑨ DUAL (pushbutton switch)	} CHOP. Button released: One channel only. Button depressed: CH. I and CH. II in alternate mode. DUAL and ADD buttons depressed: CH. I and CH. II in chopped mode.
⑧ TRIG. (LED)	LED lights, if sweep is triggered.	②⑩ ADD (pushbutton switch)	
⑨ TV SEP. (lever switch)	TV-Sync-Separator. OFF = Normal operation. TV: H = Line or horizontal frequency. TV: V = Frame or vertical frequency.	②⑪ VOLTS/DIV. (rotary switch)	CH. II input attenuator. Selects input sensitivity in mV/cm or V/cm in 1-2-5 sequence.
⑩ TRIG. AC-DC-HF-LF-~ (lever switch)	Trigger selector AC: 10 Hz to 20 MHz. DC: DC to 20 MHz. HF: 1.5 kHz to 40 MHz. LF: DC to 1 kHz. ~: Internal line triggering.	②⑫ VAR. GAIN (center knob)	Continuously variable gain between the calibrated settings of the VOLTS/DIV switch. Increases sensitivity 2.5:1. Cal. position: ccw.
⑪ +/- (pushbutton switch)	Selects the slope of the trigger signal. + = rising edge; - = falling edge.	②⑬ DC-AC-GD (slide switch)	Selects input coupling of the CH. II Vertical Amplifier. DC: All components of the input signal are passed. AC: Signal is capacitively coupled (DC is blocked). GD: Signal is disconnected, amplifier input is grounded.
⑫ TIME/DIV. (rotary switch)	Selects timebase speeds from 0.5 μ s/cm to 0.2 s/cm.	②⑭ Ground (4mm socket)	Separate ground jack.
⑬ Variable (center knob)	Timebase variable control. Increases timebase sweep speed 2.5:1 Cal. position = full counterclockwise.	②⑮ CH. II BNC connector)	CH. II signal input. Input impedance 1M Ω 30pF.
⑭ EXT. (pushbutton switch)	Button released = internal triggering. Button depressed = external triggering, trigger signal via TRIG. INP. (15).	②⑯ INVERT (CH II) (pushbutton switch)	Inversion of CH. II display. In combination with ADD button ⑩ = algebraic addition. In X-Y mode inoperative.
⑮ TRIG. INP. (BNC connector)	Input for external trigger signal, if button ⑭ is depressed.	②⑰ Y-POS. II (knob)	Controls vertical position of CH. II display. In X-Y mode inoperative.
⑯ AT/NORM. (pushbutton switch)	Button released = autom. triggering, trace visible without input signal. Button depressed = normal triggering with LEVEL (17) adjustment, trace invisible without signal.		
⑰ LEVEL (knob)	To adjust trigger point, if AT/NORM. (16) button is depressed.		
⑱ X-MAG. x10 (pushbutton switch)	10:1 expansion in the X direction. Resolution (incl. ⑬) 20 ns/cm.		
⑲ CALIBRATOR 0.2V-2V (4.9mm sockets)	Calibrator output sockets for probes 10:1 = 0.2V _{pp} , 100:1 = 2V _{pp} (FL).		
⑳ COMPONENT TESTER (pushbutton switch and 4mm jack)	Button depressed: CT in operation. 2-terminal measurement: component connection to CT jack and ground jack.		
㉑ Y-POS. I (knob)	Controls vertical position of CH. I display.		
㉒ INVERT (CH I) (pushbutton switch)	Inversion of CH. I display. In combination with ADD button ⑩ = algebraic addition.		

Controls located underneath the instrument:

CH. I DC-Balance **CH. II** Correction of DC balance.
(pots) Adjustment with screwdriver.