

Introducción a la medida de magnitudes eléctricas (II)

Apunte complementario para las clases experimentales de Física III

Marcelo Stipcich (mstipci@exa.unicen.edu.ar), 2005

El Osciloscopio

En este apunte se realiza una introducción al manejo del osciloscopio, su principio de funcionamiento, utilidades que brinda, y algunos tipo de medidas que se realizan con él.

El osciloscopio es básicamente un dispositivo gráfico que exhibe (dibuja) un gráfico correspondiente a una señal eléctrica. En la mayoría de los usos el gráfico demuestra cómo las señales cambian en un cierto intervalo de tiempo: el eje vertical (y) representa voltaje y el eje horizontal (x) representa tiempo. La intensidad o el brillo de la exhibición a veces se llama el eje de Z (Figura 1). Trabajando sobre este tipo de gráfico se puede obtener mucha información sobre una señal:

- determinar los valores del tiempo y del voltaje de una señal.
- calcular la frecuencia de una señal oscilante.
- detectar si existen "piezas defectuosas" en un circuito.
- considerar si un componente que funciona incorrectamente está modificando la señal.
- medir cuándo de una señal es continua (CC) o alterna (CA).
- medir cuánto de la señal es ruido y si el ruido está cambiando con tiempo.

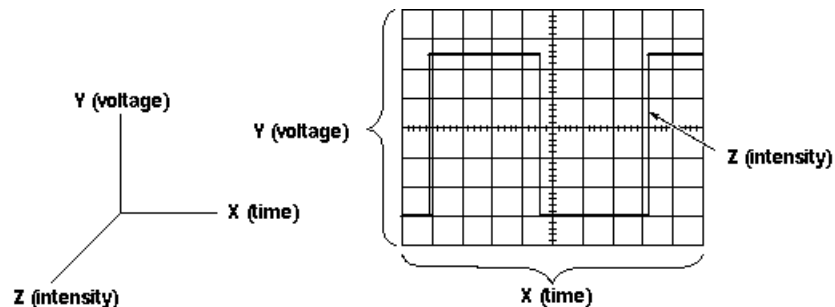


Figura 1: Componentes de X, de Y, y de Z de una forma de onda exhibida

El panel delantero de un osciloscopio tiene normalmente secciones de control divididas en sección vertical, horizontal, y del trigger (disparador). Hay también controles de exhibición y conectores de entrada. Vea si usted puede establecer estas secciones en el panel delantero de su osciloscopio.

Utilidades

Los osciloscopios son imprescindibles para el diseño, control y reparación de equipos electrónicos, pero la utilidad de un osciloscopio no se limita al mundo de la electrónica. Con un *transductor* apropiado, un osciloscopio puede medir varias clases de fenómenos. Un transductor es un dispositivo que crea una señal eléctrica en respuesta a estímulos, tales como sonido, tensión mecánica, presión, luz, calor, etc.. Por ejemplo, un micrófono es un transductor. Un ingeniero automotor utiliza un osciloscopio para medir vibraciones del motor. Un investigador médico utiliza un osciloscopio para medir ondas cerebrales.

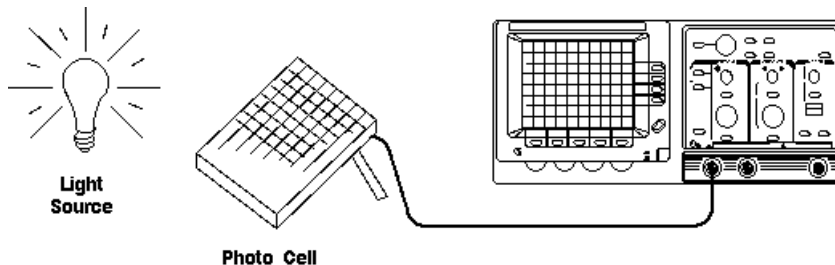


Figura 2: Ejemplo de una señal luminosa monitoreada por un osciloscopio

Osciloscopio analógico y digital

Los equipos electrónicos se pueden dividir en analógicos y digitales. Un equipo analógico trabaja con voltajes continuamente variables, mientras que uno digital trabaja con números binarios discretos que pueden representar muestras de la señal. Por ejemplo, una placa giratoria convencional del tocadiscos es un dispositivo analógico, mientras que un reproductor de discos compactos es un dispositivo digital.

Los osciloscopios también pueden ser analógicos o digitales. Un osciloscopio analógico trabaja directamente aplicando el voltaje medido a un haz electrónico, el que se luego se proyecta sobre la pantalla del osciloscopio. El voltaje desvía al haz hacia arriba y hacia abajo en forma proporcional, trazando la forma de onda en la pantalla. Esto da un cuadro inmediato de la forma de onda.

En contraste, un osciloscopio digital muestrea la forma de onda y utiliza un convertidor de analógico a digital (o ADC) para convertir el voltaje medido en la información digital. Entonces utiliza esta información digital para reconstruir la forma de onda en la pantalla.

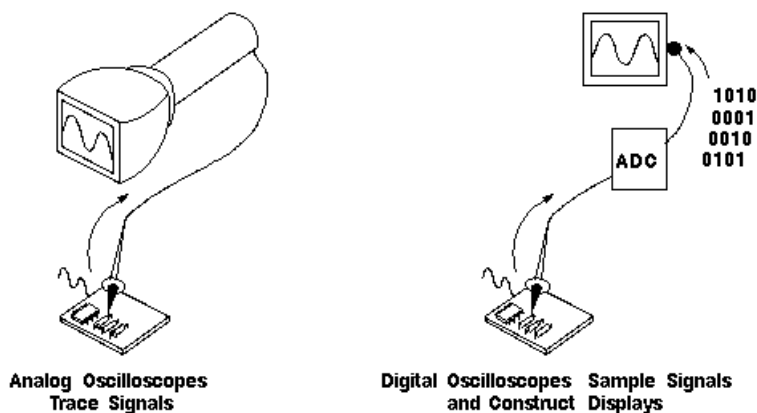


Figura 3: Presentación de la forma de la onda en osciloscopios analógico y digital.

Para cada tipo de uso, habrá un osciloscopio analógico o digital adecuado. Sin embargo, cada equipo posee características únicas que lo hacen más o menos conveniente para las tareas específicas. A menudo se prefieren los osciloscopios analógicos cuando es importante exhibir señales rápidamente que varían en "tiempo real". Los osciloscopios digitales permiten la captura y presentación de los acontecimientos que pueden suceder solamente una vez, pueden procesar los datos digitales del evento y/o enviar los datos a una computadora para procesarlos. También, pueden almacenar los datos digitales de la forma de onda para una visión y una impresión posterior.

¿Cómo trabaja un osciloscopio?

Para entender mejor los controles del osciloscopio, se necesita saber un poco más sobre cómo exhiben una señal los osciloscopios. Los osciloscopios analógicos trabajan algo diferente a los osciloscopios digitales. Sin embargo, varios de los sistemas internos son similares. Los osciloscopios analógicos son algo más simples en concepto y son descritos primero, seguido por una descripción de osciloscopios digitales.

Osciloscopios analógicos

Cuando se conecta una punta de prueba del osciloscopio con un circuito, la señal del voltaje viaja a través de la punta de prueba al sistema vertical del osciloscopio. La Figura 4 es un diagrama de bloques simple que demuestra cómo un osciloscopio analógico exhibe una señal medida.

Dependiendo de cómo se fija la escala vertical (control volts/div), un *atenuador* reduce el voltaje de la señal o los aumentos de un amplificador de voltaje de la señal. Después, dicha señal viaja directamente a las placas de desviación vertical del tubo de rayos catódicos (CRT). El voltaje aplicado causa el movimiento del punto que brilla intensamente en la pantalla. El punto es creado por un haz electrónico que golpea el fósforo dentro de la CRT. Un voltaje positivo hace el punto levantarse mientras que un voltaje negativo hace el punto bajarse.

La señal también viaja al sistema de *disparo (trigger)* o acciona un *barrido horizontal*. El barrido horizontal es un término que refiere a la acción del sistema que hace que el punto se mueva horizontalmente a través de la pantalla. Accionar el sistema horizontal hace que la base de tiempo mueva el punto de izquierda a derecha dentro de un intervalo de tiempo específico. Muchos barridos en secuencia rápida causan el movimiento del punto que brilla intensamente a la mezcla en una línea llena. A velocidades más altas, el punto puede barrer a través de la pantalla hasta 500.000 veces cada segundo.

La acción de barrido horizontal y la acción de desviación vertical actuando a la vez, realizan el gráfico de la señal en la pantalla. El trigger es necesario para estabilizar la repetición de una señal. Se asegura de que el barrido comience en el mismo punto de la señal, dando por resultado un cuadro claro según lo demostrado en la Figura 5.

En conclusión, al utilizar un osciloscopio analógico, usted necesita realizar tres ajustes básicos para acomodar una señal entrante:

- La atenuación o la amplificación de la señal. Utilice el control de volts/div para ajustar la amplitud de la señal antes de que se aplique a las placas verticales de la desviación.

- La base del tiempo. Utilice el control de sec/div para fijar la cantidad de hora por la división representada horizontalmente a través de la pantalla.
- El *triggering* del osciloscopio. Utilice el nivel de trigger para estabilizar una señal que se repite, así como para el disparo de un solo evento.

También, el ajuste de los controles del foco y de la intensidad le permite crear una exhibición aguda, visible.

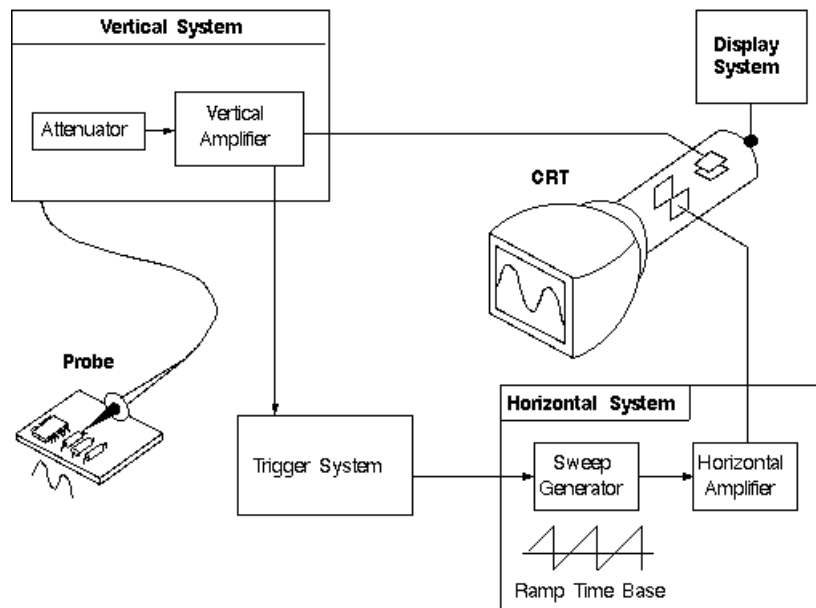


Figura 4: Diagrama de bloques de un osciloscopio analógico.

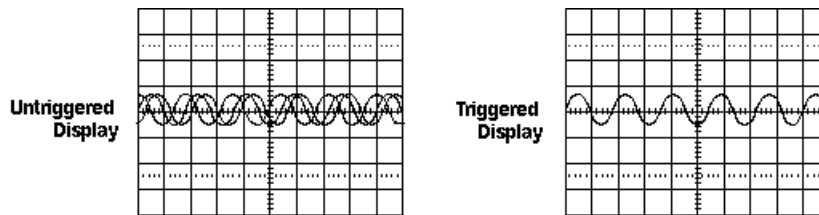


Figura 5: El accionar de trigger estabiliza la forma de la onda.

Osciloscopios digitales

Algunos de los sistemas de los osciloscopios digitales son iguales a los de los osciloscopios analógicos; sin embargo, los digitales contienen sistemas de proceso de datos adicionales (Figura 6). Con los sistemas agregados, el osciloscopio digital recoge los datos para la forma de onda entera y después los exhibe.

Cuando se aplica una punta de prueba del osciloscopio digital a un circuito, el sistema vertical ajusta la amplitud de la señal, tal como en el osciloscopio analógico. Después, el convertidor de analógico a digital (ADC) del sistema de adquisición muestrea la señal en puntos discretos de tiempo; el voltaje de la señal en estos puntos se convierte en valores digitales llamados puntos de muestra. El reloj del sistema horizontal de muestreo determina cada cuánto tiempo toma una muestra el ADC. La velocidad a la que el sistema toma una muestra se llama "sample rate" (velocidad de muestreo) y se mide en cantidad de muestras por segundo. Los puntos de muestreo del ADC se almacenan en memoria como datos de forma de la onda. Con todos los datos de forma se construye el gráfico final. El número de los datos de forma de onda constituyen lo que se llama la longitud de registro. El sistema de trigger determina los puntos del comienzo y de fin del fichero. La pantalla recibe estos datos de registro después de ser almacenados en memoria. Dependiendo de las capacidades del osciloscopio, se puede realizar un procesamiento adicional de los puntos de muestra, realizando la exhibición. Puede existir un sistema de pre-trigger, permitiendo que se observen acontecimientos antes del punto de trigger.

Pero fundamentalmente, con un osciloscopio digital al igual que con un analógico, se necesitan realizar los ajustes vertical, horizontal y del trigger para tomar una medida.

Métodos de muestreo

El método de muestreo indica al osciloscopio digital cómo recoger puntos de muestra. Para las señales que cambian lentamente, un osciloscopio digital recoge fácilmente bastantes más puntos de la muestra para construir

un cuadro exacto. Sin embargo, para señales muy rápidas el osciloscopio no puede recoger suficientes muestras, (el muestreo depende de la tasa de muestreo máxima del osciloscopio). En estas circunstancias, el equipo puede hacer dos cosas:

- recoger algunos puntos de la muestra de la señal en un solo paso (en *modo en tiempo real* del muestreo) y después utilizar *la interpolación*. La interpolación es una técnica de proceso para estimar cómo sería la forma de onda basado en algunos puntos.
- construir un cuadro de la forma de onda en un cierto plazo, mientras la señal se repite (*modo de tiempo equivalente* de muestreo).

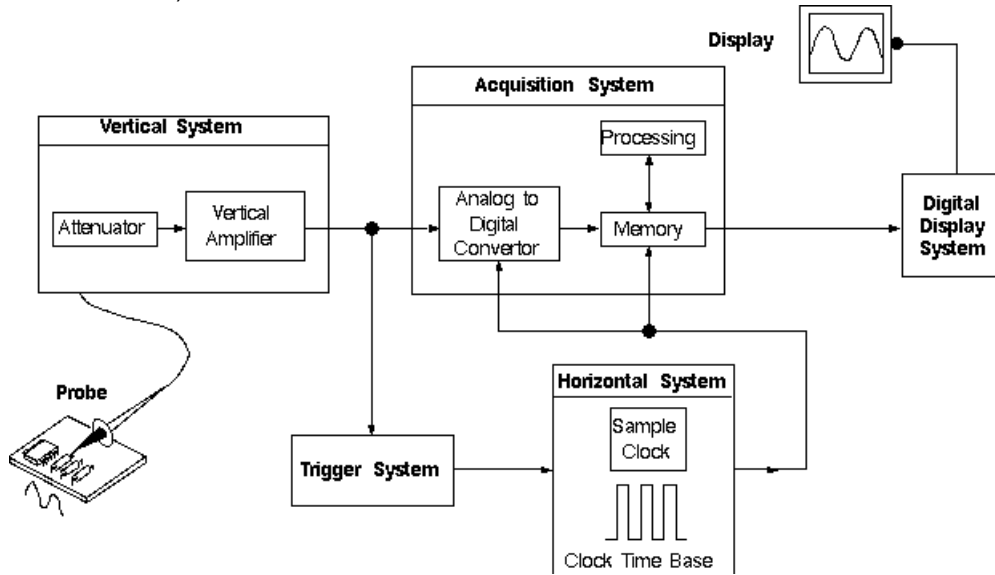


Figura 6: Diagrama De Bloque Del Osciloscopio Digital

Muestreo en tiempo real con interpolación

Los osciloscopios digitales utilizan el muestreo en tiempo real como método de muestreo estándar. En el muestreo en tiempo real, el equipo recoge tantas muestras como puede mientras que ocurre la señal. (Figura 7). Para señales monoestables o transitorias usted debe utilizar el muestreo en tiempo real.

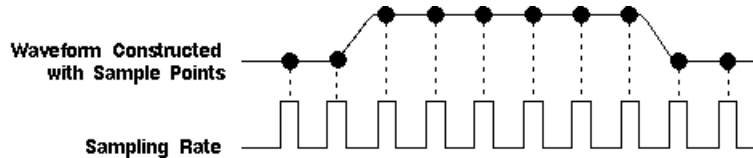


Figura 7: Muestreo en tiempo real

Los osciloscopios digitales usan la interpolación para exhibir las señales que son tan rápidas que el osciloscopio sólo puede recoger algunos puntos de la muestra. La interpolación "conecta los puntos." La interpolación lineal conecta simplemente puntos de la muestra con las líneas rectas, mientras que la sinusoidal conecta los puntos con curvas. (Figura 8). La interpolación *sin x over X* es un proceso matemático similar al de "oversampling" usado en reproductores de discos compactos. Con esta interpolación, los puntos se calculan para completar el tiempo entre las muestras verdaderas. Usando este proceso, una señal de la que se toman muestras solamente algunas veces en cada ciclo se puede exhibir completa o, en el caso del reproductor del discos compactos, reproducirla exactamente después.

Muestreo de tiempo equivalente

Algunos osciloscopios digitales pueden utilizar este tipo de muestreo para capturar señales de repetición muy rápidas. Este tipo de muestreo construye el gráfico de una señal repetida capturando un poco de la información de cada repetición (Figura 9). Se observa la forma de onda acumularse lentamente. Con *el muestreo secuencial* los puntos aparecen de izquierda a derecha en secuencia; con *el muestreo al azar* los puntos aparecen aleatoriamente a lo largo de la forma de onda.

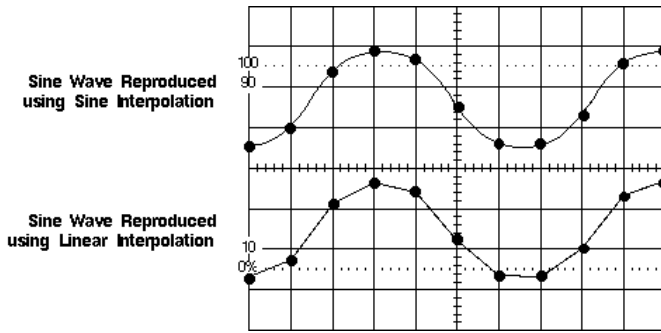


Figura 8: Interpolación lineal y del seno

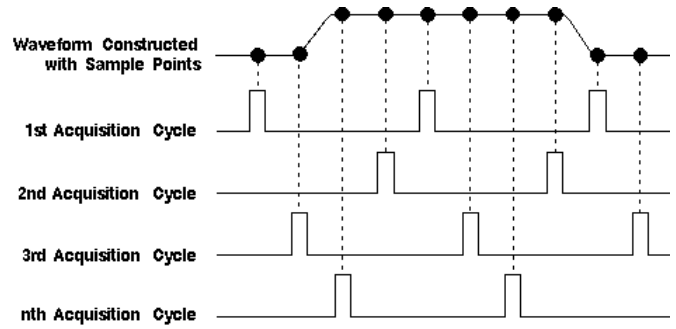


Figure 9: muestreo de tiempo equivalente

Terminología del osciloscopio

Aprender una nueva técnica de medida implica a menudo aprender un nuevo vocabulario. Esta idea es válida también para un osciloscopio. Esta sección describe algunos términos útiles del funcionamiento de la medida y del osciloscopio.

Terminología de la medida

El término genérico para un patrón que se repite en un cierto intervalo de tiempo es *onda* (ondas acústicas, cerebrales, oceánicas, de voltaje, etc.). Un *ciclo* de una onda es la porción de la onda que se repite. Una forma de onda de voltaje demuestra tiempo en el eje horizontal y el voltaje horizontales en el eje vertical.

Las formas de la onda dicen mucho sobre una señal. Si en un momento dado se observa un cambio en la altura de la onda, significa que el voltaje ha cambiado. Si solo se observa una línea horizontal plana, significa que no hay cambio durante ese tiempo. Las líneas diagonales rectas significan un cambio lineal - aumento o caída - de voltaje a velocidad constante. La Figura 10 muestra formas de onda comunes y la Figura 11 muestra algunas fuentes comunes de formas de onda.

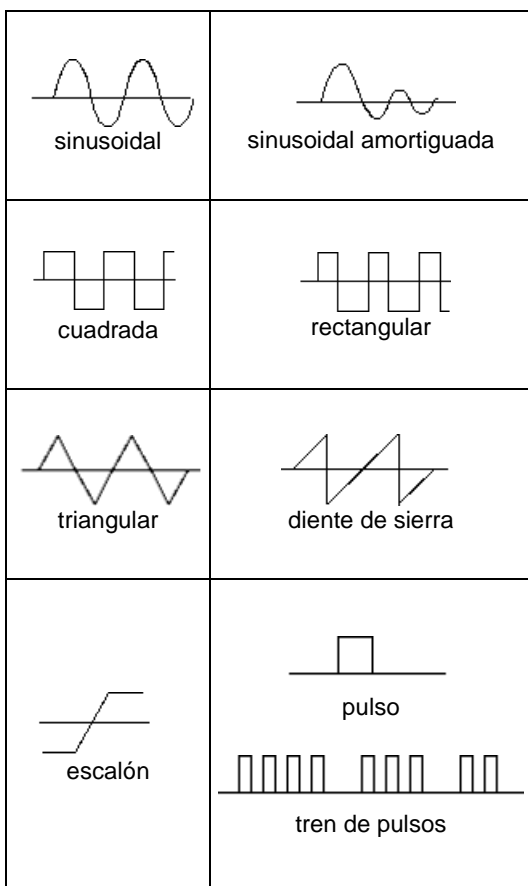


Figura 10: Formas de onda más comunes

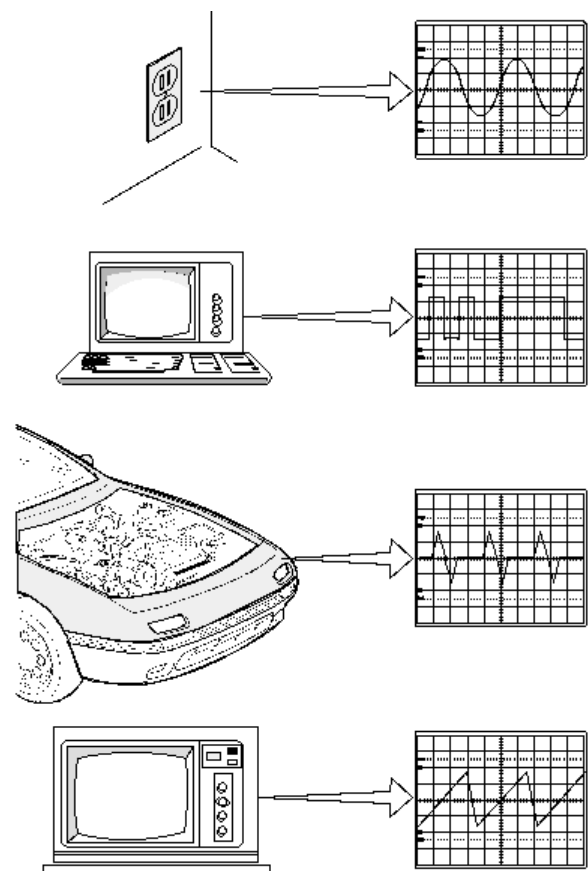


Figura 11: Fuentes de algunas de las formas de onda más comunes

Medidas de la onda

Se utilizan muchos términos para describir los tipos de medidas que se tome con el osciloscopio. Esta sección describe algunas de las medidas y los términos más comunes.

Frecuencia y período

La frecuencia se mide en Hertz (hertz, Haz) y es el número de veces que la señal se repite en un segundo (ciclos por segundo). Una señal también tiene un *período*, que es la cantidad de tiempo que toma la señal de terminar un ciclo. El período y la frecuencia son recíprocos entre sí, de modo que $(1/\text{período}) = \text{frecuencia}$. Como ejemplo, la onda la Figura 12 tiene una frecuencia de 3 Hz y de un período de 1/3 segundo.

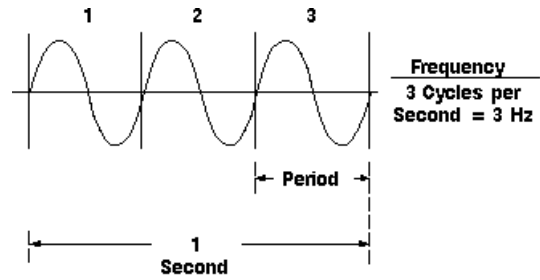


Figura 12: Frecuencia y período

Voltaje

El voltaje es el potencial eléctrico entre dos puntos en un circuito. Generalmente se suele medir con respecto a cero voltios (tierra) pero existen otros tipos de medida, por ejemplo, la de "pico a pico" que consiste en medir la diferencia de voltaje entre el pico máximo al pico mínimo de la onda. La amplitud se refiere comúnmente al voltaje máximo de una señal medida con respecto a tierra. La onda de la Figura 8 tiene una amplitud de 1 V y un voltaje de pico a pico de 2 V.

Fase

Se puede visualizar el concepto de *fase* poniendo como ejemplo una onda sinusoidal. Estas ondas se basan en el movimiento circular y el ciclo de una onda sinusoidal tiene 360 grados (Figura 13). El ángulo de fase describe qué parte del período ha transcurrido, medido en grados, entre una onda y una referencia.

El desplazamiento de fase (o *desfase*) describe la diferencia en medir el tiempo entre dos señales similares. En la Figura 14, la onda "Current" está desfasada 90° con respecto a la onda "Voltage", puesto que las ondas alcanzan puntos similares en sus ciclos exactamente 1/4 de ciclo.

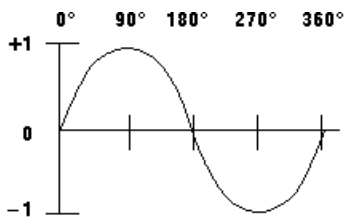


Figura 13: onda sinusoidal, referida a un movimiento circular

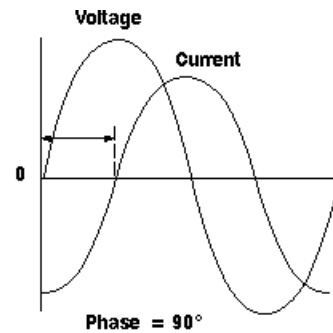


Figura 14: Desplazamiento de fase

Terminología del funcionamiento

Los términos descritos en esta sección pueden venir para arriba en sus discusiones sobre funcionamiento del osciloscopio. Entender estos términos le ayudará a evaluar y a comparar su osciloscopio con otros modelos.

Ancho de banda

La especificación del ancho de banda indica la gama de frecuencias que el osciloscopio puede medir con mayor exactitud. A medida que la frecuencia de la señal aumenta, la capacidad del osciloscopio a responder exactamente disminuye. Por convención, el ancho de banda indica la frecuencia en la cual la señal exhibida se reduce a 70.7% de una señal sinusoidal aplicada.

Tiempo de subida

El tiempo de subida es otra manera de describir la gama de frecuencia útil de un osciloscopio. El tiempo de subida puede ser una consideración más apropiada del funcionamiento cuando se espera medir pulsos o pasos. Un osciloscopio no puede exhibir exactamente pulsos con tiempos de subida más rápidos que el tiempo de subida propio.

Sensibilidad vertical

La sensibilidad vertical indica cuánto puede amplificar el amplificador vertical una señal débil. La sensibilidad vertical se da generalmente en los milivoltios (mV) por la división. El voltaje más pequeño que un osciloscopio de fines generales puede detectar es típicamente cerca de 2 mV por la división vertical de la pantalla.

Velocidad de barrido

Para los osciloscopios analógicos, esta especificación que tiempo se tarda en barrer la pantalla, permitiendo que usted considere los detalles finos. La velocidad de barrido más rápida de un osciloscopio se da generalmente en nanoseconds/div.

Base de tiempo o sensibilidad horizontal

La base del tiempo indica cómo el sistema horizontal exhibe exactamente la sincronización de una señal. Esto se enumera generalmente como error porcentual.

Velocidad de Muestreo

En los osciloscopios digitales, la velocidad de muestreo indica cuántas muestras por segundo pueden adquirir el ADC (y por lo tanto el osciloscopio). Las velocidades máximas se dan generalmente en megasamples por el segundo (MS/s). Cuanto el osciloscopio puede tomar muestras más rápidamente, puede representar más exactamente los detalles finos en una señal rápida. La velocidad mínima de muestreo puede también ser importante si usted necesita mirar períodos de señales que cambian lentamente a tiempo largo. Típicamente, la velocidad de la muestra cambia con los cambios realizados al control de sec/div para mantener un número constante de los puntos de la forma de onda en el expediente de la forma de onda.

Longitud de registro

Indica cuántos puntos de la onda el osciloscopio puede adquirir para un fichero completo. Algunos osciloscopios digitales permiten ajustar la longitud de registro. La longitud de registro máxima depende de la cantidad de memoria en su osciloscopio. Puesto que el osciloscopio puede almacenar solamente un número finito de puntos de la forma de onda, hay una compensación entre el detalle de registro y la longitud de registro. Se puede adquirir un gráfico detallado de una señal por un período de tiempo corto o uno menos detallado por un período del tiempo más largo. Algunos osciloscopios permiten agregar más memoria para aumentar la longitud de registro para los usos especiales (por ejemplo, para adquirir los datos mediante una pc).

Configuración

Esta sección describe brevemente cómo instalar y comenzar a usar un osciloscopio.

Conectar a tierra

La elección de una conexión a tierra apropiada es un paso importante de la configuración del equipo. Poner a tierra correctamente al osciloscopio, lo protege contra un choque eléctrico peligroso y ponerse el usuario a tierra protege los circuitos con que se está trabajando. Si un alto voltaje entra en contacto con alguna parte del osciloscopio, incluyendo las perillas que aisladas, puede causarle un shock eléctrico. Con un osciloscopio correctamente puesto a tierra, la corriente viaja a través de la conexión a tierra en vez de hacerlo **a través del usuario**.

Poner a tierra un osciloscopio significa conectarlo con un punto de referencia eléctricamente neutro. Esto se realiza a través del tercer borne del enchufe lo que significa que si un laboratorio está conectado a tierra apropiadamente, sólo basta con verificar que la toma de energía del equipo esté bien conectada.

El poner a tierra es también necesario para tomar medidas exactas con su osciloscopio. El osciloscopio necesita compartir la misma tierra que cualquier circuito que se esté probando.

Algunos circuitos, en especial los circuitos integrados (ICs), requieren un cuidado extremo, lo que significa que el usuario también necesite conectarse a un punto eléctricamente neutro.

Los controles

El panel delantero se divide en tres secciones principales etiquetadas *verticales*, *horizontales*, y *disparador*. Su osciloscopio puede tener otras secciones, dependiendo del modelo y del tipo (analógico o digital).

Note los conectores de entrada en su osciloscopio. Aquí es donde usted une puntas de prueba. La mayoría de los osciloscopios tienen por lo menos dos canales de entrada y cada canal puede exhibir un gráfico en la pantalla. Los canales múltiples son prácticos para comparar formas de onda.

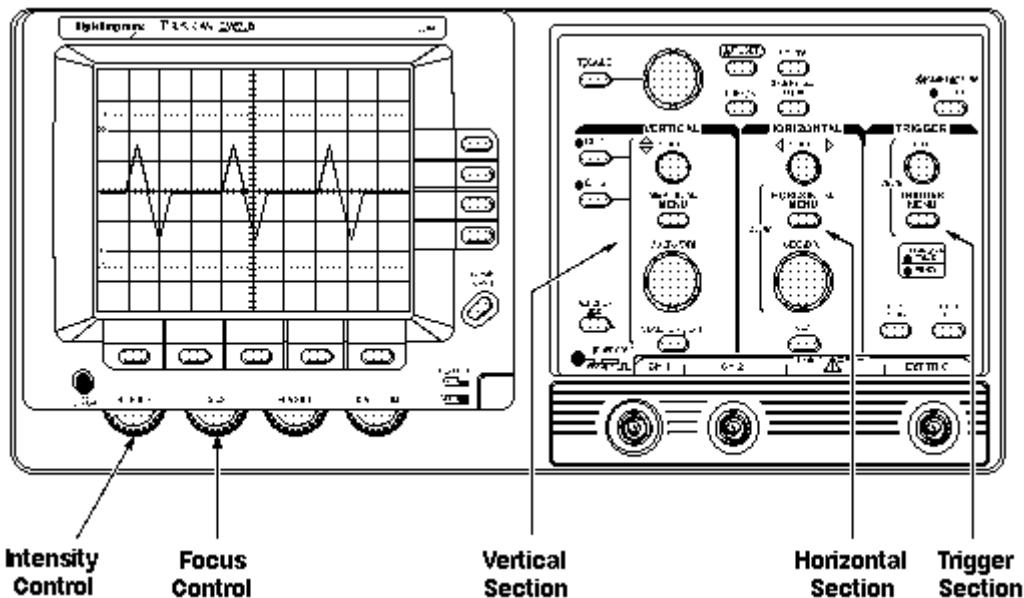


Figura 15: Secciones de control del panel delantero de un osciloscopio

Algunos osciloscopios tienen un botón AUTOSET o PRESET que coloca los controles en un paso para acomodar una señal. Si su osciloscopio no tiene esta característica, es provechoso fijar los controles a las posiciones estándares antes de tomar medidas. Las posiciones estándares incluyen:

- fijar el osciloscopio para mostrar el canal 1;
- fijar la escala de volts/division a una posición media;
- colocar el modo de disparo en *auto* y para el canal 1;
- realizar un control de intensidad de pantalla a un nivel nominal de visión;
- ajustar el control del foco para que haya una señal apropiada.

En caso de inseguridad acerca de cómo realizar alguno de estos pasos, consulte el manual del equipo. La sección de *controles* describe los controles más detalladamente.

Puntas de prueba

El equipo está listo ahora conectarle una punta de prueba. Una punta de prueba es más que un cable con una extremidad con clip. Es un conector de alta calidad, diseñado cuidadosamente para evitar tomar señales de ruido y para no influenciar el comportamiento del circuito que usted está probando durante los ensayos. Sin embargo, ningún dispositivo de la medida puede actuar como observador perfectamente *invisible*. La interacción no intencional de la punta de prueba y del osciloscopio con el circuito se trabajo se llama carga de circuito. Para reducir al mínimo la carga de circuito, generalmente se utiliza una punta de prueba (pasiva) con una cierta atenuación. Para medidas o pruebas específicas, existen muchos otros tipos de puntas de prueba. Dos ejemplos son puntas de prueba activas y de corriente.

Por convención, los factores de atenuación tienen el X después del factor, por ejemplo en la punta de prueba de atenuación 10X. En contraste, los factores de la ampliación tienen el X primero, como X10. Las puntas de prueba iX reducen la amplitud de la señal en la pantalla por un factor i

Debido a la atenuación, la punta de prueba de 10X hace difícil estudiar señales menores de 10 mV. La punta de prueba del 1X carece de la atenuación con lo cual se introducen más interferencias durante la medida del circuito. Utilice la punta de prueba de 10X como su punta de prueba estándar, pero mantenga la punta de prueba del 1X para medir señales débiles. Algunas puntas de prueba tienen la característica de cambiar entre el 1X y 10X en la extremidad de la punta. Si se utilizan este tipo de puntas, hay que asegurarse que se esté utilizando el ajuste correcto antes de tomar medidas.

Muchos osciloscopios pueden detectar la punta de prueba que se está utilizando y ajustar sus lecturas en la pantalla. Sin embargo con algunos osciloscopios se debe fijar el tipo de punta de prueba que se está utilizando en el control de volts/div. La figura 15 muestra una punta de prueba pasiva típica y algunos accesorios más comunes.

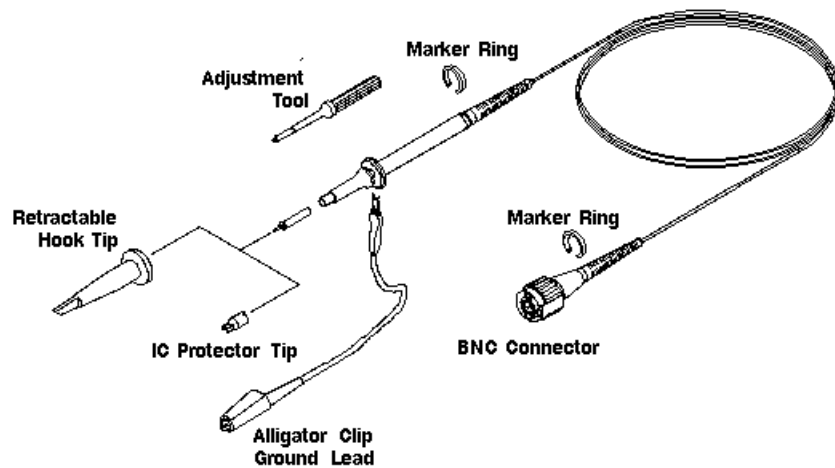


Figura 15: Una punta de prueba pasiva típica con los accesorios

Conectar la punta de prueba a tierra

Medir una señal requiere dos conexiones: la conexión de la extremidad de la punta de prueba y una conexión de tierra. Las puntas de prueba vienen con un accesorio de pinza cocodrilo para ponerlas la tierra al circuito bajo prueba. En la práctica, se coloca la pinza cocodrilo en un sitio que tenga conexión a tierra, tal como el chasis del equipo bajo prueba.

Compensar la punta de prueba

Antes de usar una punta de prueba pasiva, se necesita compensarla para balancear sus características eléctricas a un osciloscopio particular. Una punta de prueba mal ajustada puede hacer menos exactas las medidas. La figura 16 muestra medidas de onda utilizando una punta de prueba no compensada correctamente.

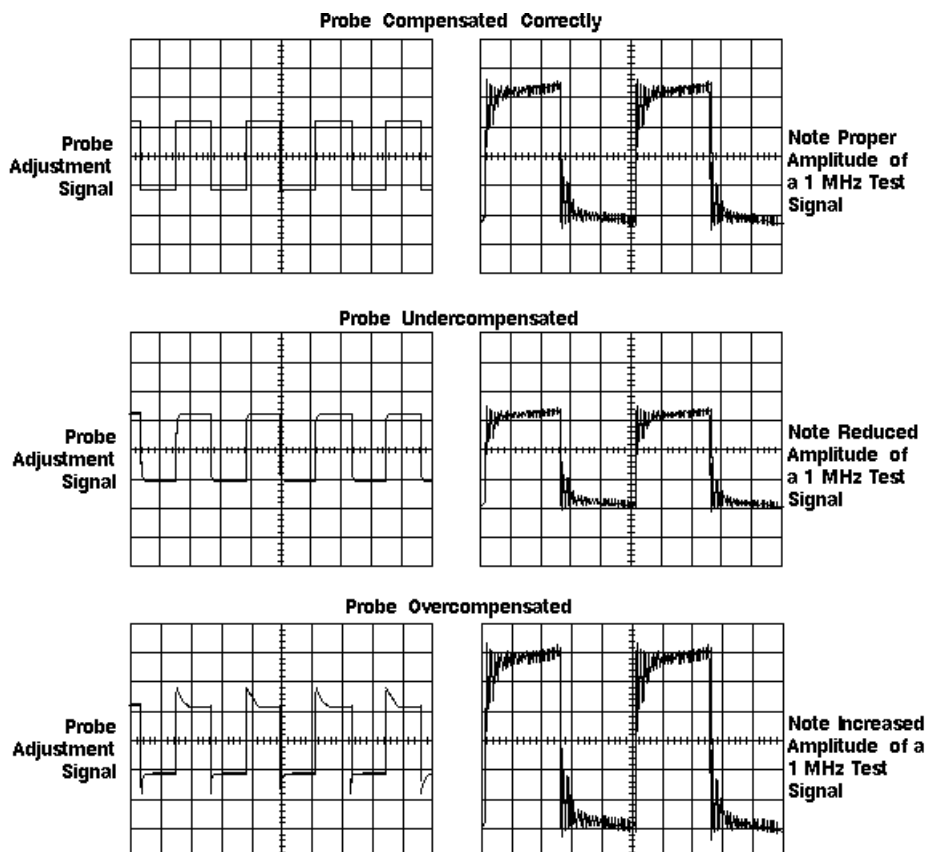


Figura 16: Los efectos de la remuneración incorrecta de la punta de prueba

La mayoría de los osciloscopios tienen una señal cuadrada de la referencia disponible en un terminal del panel delantero para compensar la punta de prueba. Para compensar la punta de prueba:

- conectar la punta de prueba al osciloscopio conectarla a tierra
- conectar la extremidad de la punta de prueba con la señal de compensación de la punta

- al obtener la señal cuadrada de referencia en pantalla, realizar los ajustes apropiados de modo que las esquinas de la onda sean perfectamente cuadradas.

Cuando se compensa la punta de prueba hay que cuidar de utilizar el canal vertical de entrada que se planea utilizar para luego tomar las medidas.

Los Controles

Esta sección describe brevemente los controles básicos encontrados en los osciloscopios analógicos y digitales. Recuerde que algunos controles diferencian entre los osciloscopios analógicos y digitales; su osciloscopio probablemente tiene controles no discutidos aquí.

La exhibición de la medida

Los controles más comunes incluyen:

- control de la intensidad para ajustar el brillo de la forma de onda; si se aumenta la velocidad de barrido, generalmente se necesita aumentar el nivel de la intensidad.
- control del foco. Los osciloscopios digitales pueden no tener este control.
- control de *traza* para alinear la onda con el eje horizontal de la pantalla. Los osciloscopios digitales pueden no tener este control.
- Otros controles de exhibición pueden permitir ajustar la intensidad del cuadrículado y aplicar o sacar señales de información en la pantalla (tal como menús).

Controles Verticales

Utilice los controles verticales para colocar y para escalar la onda verticalmente. La figura 17 muestra un panel delantero típico y algunos de los menús para los controles verticales.

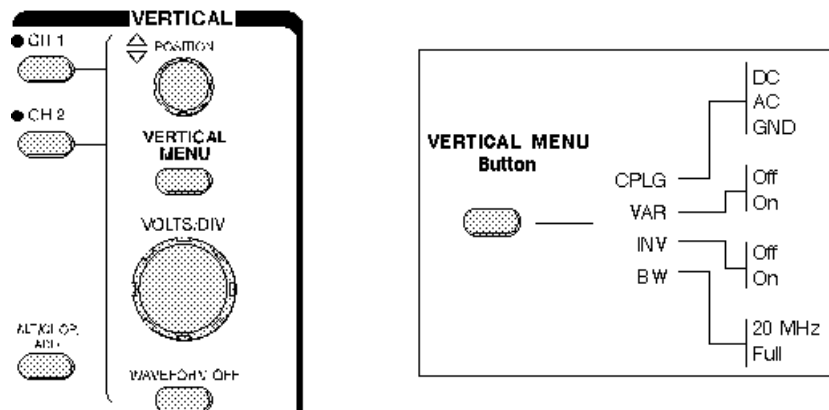


Figura 17: Controles Verticales

Posición y voltios por división

El control vertical de posición permite mover la onda en la pantalla.

El control voltios por división (volts/div) varían el tamaño de la onda en la pantalla. Generalmente un osciloscopio puede presentar niveles de señal entre 4 mV a 40 V. El ajuste de volts/div es un factor de posicionamiento. Por ejemplo, si el ajuste de volts/div es 5 voltios, entonces cada una de las divisiones verticales representa 5 V y la pantalla entera muestra (5 V * número de divisiones verticales) voltios de fondo de escala. Hay que tener en cuenta la punta de prueba que se esté utilizando (1X, 10X, etc.) ya que también influencia al fondo de escala. Generalmente se debe dividir la escala de volts/div por el factor de atenuación de la punta de prueba, aunque algunos osciloscopios lo hacen automáticamente.

Acoplamiento de entrada

El acople se refiere al método usado para conectar una señal eléctrica al osciloscopio. El acople se puede fijar como CC, CA, o tierra. El acople de CC muestra la señal completa conectada a la entrada. El de CA bloquea la componente de CC de la señal, de modo que se observará la onda centrada en cero. La figura 18 muestra esta diferencia. El ajuste del acople de CA es práctico cuando la señal entera es demasiado grande para ajustarla sólo mediante el control de volts/div.

El acople a tierra desconecta la señal de entrada del sistema vertical; esto permite observar en pantalla donde está el 0 V. Con el acople de entrada a tierra se observará una línea horizontal en la pantalla que representa

voltios cero. El cambio de DC a tierra y luego volver otra vez al acople DC, es una manera práctica de medir el voltaje de la señal respecto a tierra.

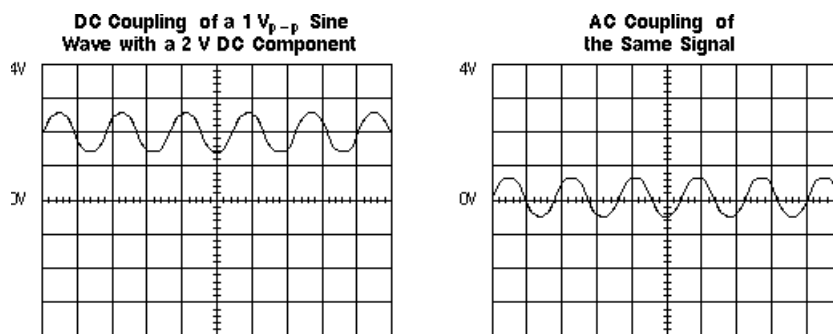


Figura 18: Acople de entrada de CA y de CC

Límite de ancho de banda (bandwidth limit)

La mayoría de los osciloscopios tienen un circuito que limita el ancho de banda del equipo. Este límite reduce el ruido que aparece a veces en la onda exhibida, definiendo mejor la señal.

Canal Invertido

La mayoría de los osciloscopios tienen una función que permite exhibir la señal "al revés". Es decir, la baja tensión en la parte superior de la pantalla y el alto voltaje abajo.

Exhibición alterna y chopeada

En osciloscopios analógicos, se pueden exhibir múltiples canales usando un modo alterno o modo *chopeado* (los osciloscopios digitales no utilizan normalmente estos modos).

El modo alterno dibuja cada canal alternativamente: el osciloscopio termina un barrido desde el canal 1 y luego realiza un barrido desde el canal 2; inmediatamente después realiza un segundo barrido en el canal 1, y así sucesivamente. Este modo se utiliza con señales de media a alta velocidad, cuando la escala de sec/div se fija en 0.5 ms o más.

En el modo de chopeado el osciloscopio dibuja pequeñas porciones de cada señal combinando el tiempo de lectura entre ellas. La tasa de conmutación entre las señales es demasiado rápida para que el usuario la pueda notar. Este modo se utiliza típicamente con señales lentas que requieren velocidades de barrido de 1 ms o menores. La figura 19 muestra la diferencia entre los dos modos.

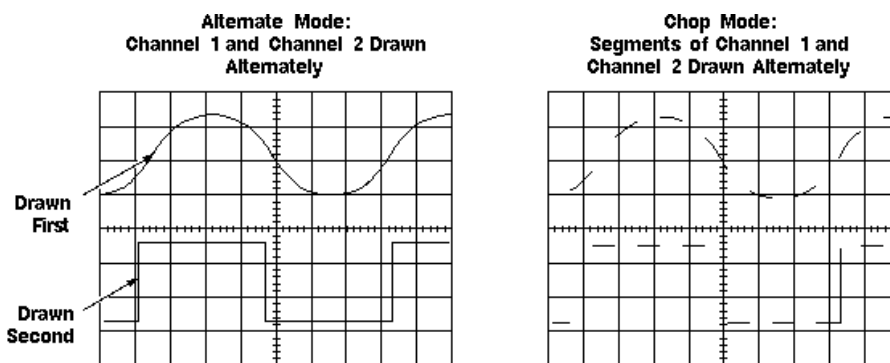


Figura 19: Modos de exhibición de varios canales a la vez

Operaciones matemáticas

El osciloscopio puede también realizar algunas operaciones para permitir que se sumen ondas, creando una nueva onda. Los osciloscopios analógicos combinan las señales mientras que los osciloscopios digitales crean matemáticamente nuevas ondas. La substracción de ondas con osciloscopios analógicos es posible usando la función invertida de canal en una señal y luego la operación suma con la otra señal. Los osciloscopios de digitales típicamente tienen una operación de resta disponible. La figura 20 ilustra una onda creada agregando dos señales.

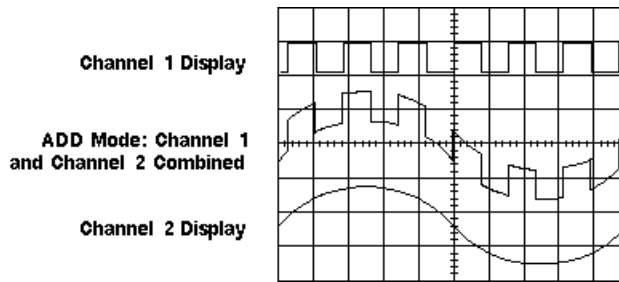


Figura 20: Suma de los canales

Controles Horizontales

Permiten colocar y escalar la onda horizontalmente. La Figura 21 muestra un panel delantero típico y los menús para los controles horizontales.

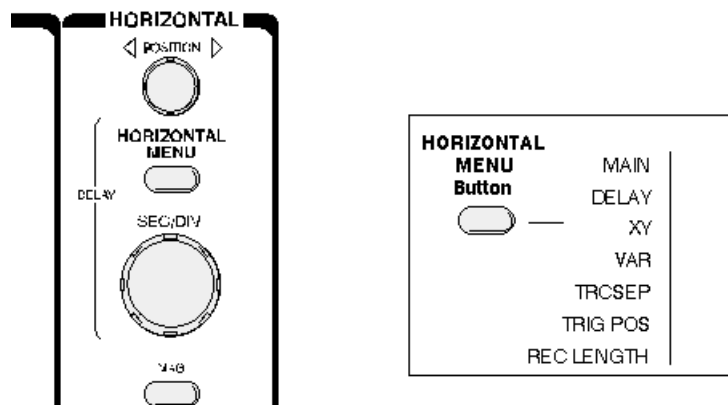


Figura 21: Controles horizontales

Posición y segundos por división

El control horizontal mueve la de onda de izquierda a derecha sobre la pantalla.

El control segundos por división (sec/div) permiten seleccionar la tasa a la cual la onda se dibuja a través de la pantalla (velocidad de ajuste de tiempo o de barrido). Este ajuste es un factor de posicionamiento. Por ejemplo, si el ajuste es 1 ms, cada división horizontal representa a 1 ms y el ancho total de la pantalla representa (1 ms * número de divisiones horizontales) segundos. Cambiar el ajuste sec/div permite observar intervalos más o menos largos de tiempo de la señal de entrada.

Como con la escala vertical de volts/div, la escala horizontal de sec/div puede tener sincronización variable, permitiendo que usted fije escala de tiempo horizontal entre los ajustes discretos.

Posicionamiento del disparador (trigger)

El control de la posición del trigger puede ubicarse en la sección de control horizontal del osciloscopio. Representa "la posición horizontal del disparo en la lectura de la onda". El control de disparo horizontal está solamente disponible en los osciloscopios digitales.

La variación de la posición horizontal del disparador permite capturar lo que hizo una señal *antes* del disparado (llamado *visión del pretrigger*). Los osciloscopios digitales pueden proporcionar esta observación del pretrigger porque procesan constantemente la señal de entrada aún si se ha recibido un disparo o no. Los datos se cargan constantemente en el osciloscopio; el trigger simplemente indica al osciloscopio los datos que debe almacenar en memoria. En contraste, los osciloscopios analógicos exhiben solamente la señal después del trigger.

La visión de pretrigger es una valiosa ayuda para la localización de averías. Por ejemplo, si ocurre un problema intermitentemente, se puede disparar durante el problema mismo, registrar los acontecimientos que condujeron a él y posiblemente encontrar la causa.

Ampliación

El osciloscopio puede tener ajustes horizontales especiales de ampliación que permitan exhibir una sección magnificada sobre el eje X de la onda.

Modo de XY

La mayoría de los osciloscopios tienen la capacidad de exhibir una segunda señal proveniente de otro canal sobre el eje x, en vez de la señal de tiempo. Más adelante se volverá sobre este tema.

Controles del trigger

Los controles del trigger permiten estabilizar la repetición de una onda y capturar formas de onda monoestables. La figura 22 muestra un panel delantero típico y los menús del control de trigger disparador.

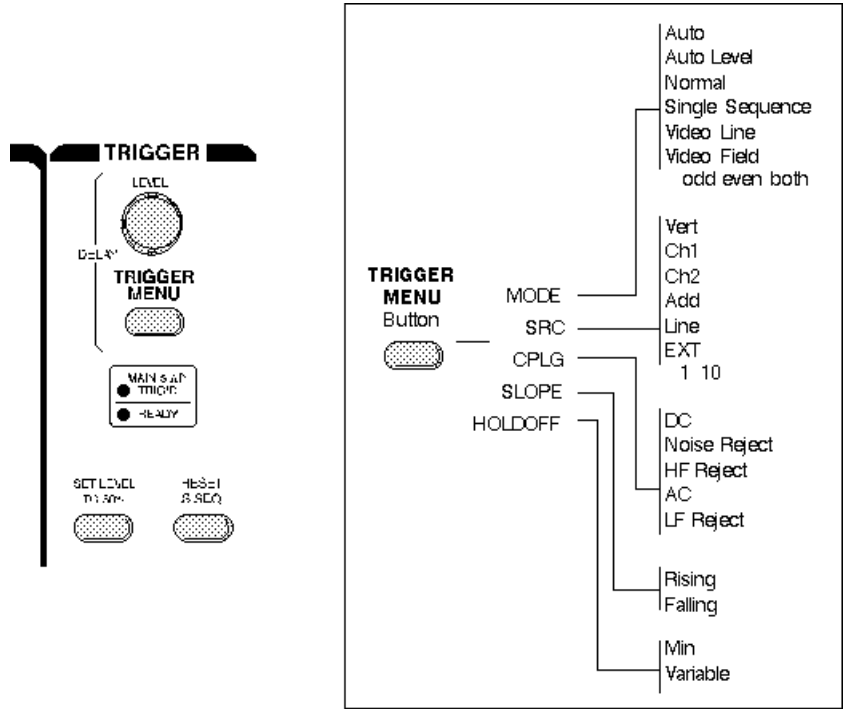


Figura 22: Controles del trigger

El trigger hace que ondas que se repiten aparezcan estáticas en la pantalla del osciloscopio. Imagine el revoltijo que resultaría en la pantalla si cada barrido comienza en un lugar distinto de la señal (Figura 23).

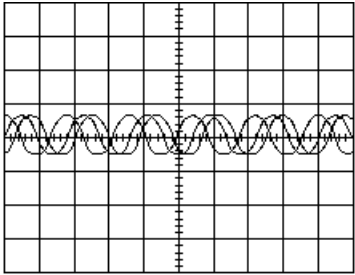


Figura 23: Exhibición en posición “untriggered”

Nivel de trigger y pendiente

Un osciloscopio puede tener varios tipos de trigger, tales como de borde, vídeo, pulso, o lógico. El de borde es el tipo básico y el tipo más común y es el único tipo discutido en este apunte. Se debe consultar el manual de del osciloscopio para los detalles en otros tipos de trigger.

Para el trigger tipo borde, el nivel de trigger y la pendiente proporcionan la definición básica del punto de disparo. El circuito de trigger actúa como un comparador. Se selecciona la pendiente y el nivel voltaico de un lado del comparador; cuando la señal del trigger empareja los ajustes, el osciloscopio genera un disparado.

- El control de la pendiente determina si el punto de disparo está en la zona de subida o de bajada de una señal. Durante la subida, la pendiente es positiva y en la bajada es negativa.
- El control de nivel determina en qué punto se produce el disparado.

La figura 23 muestra cómo la pendiente el nivel de disparo determinan la forma en que se exhibe una onda.

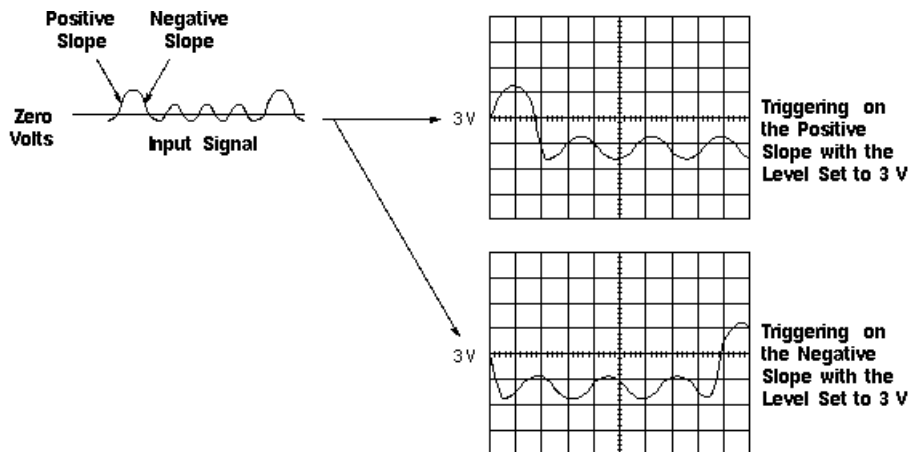


Figura 23: El accionar positivo y negativo de la cuesta

Fuentes del trigger

Varias fuentes pueden accionar el barrido:

- Cualquier canal de entrada
- Una fuente externa, con excepción de la señal a analizar
- La señal de una fuente de energía
- Una señal generada internamente por propio osciloscopio

La mayoría de las veces se utiliza la del propio equipo.

Modos de trigger

Determina si el osciloscopio dibuja una onda o no, si no detecta una señal de trigger. Los modos comunes del trigger incluyen *normal* y *auto*.

En modo normal el osciloscopio grafica solamente cuando la señal de entrada alcanza el punto de disparo del sistema; si no (en un osciloscopio analógico) la pantalla queda en blanco o (en un osciloscopio digital) congelada en la última onda adquirida. El modo normal puede desorientar puesto que no se puede ver la señal si el control no se ajusta correctamente.

El modo auto hace el osciloscopio dibuje la señal, aún sin que exista un disparo. Si no hay señal, un contador de tiempo en el osciloscopio acciona el barrido. Esto se asegura de que la exhibición no desaparezca aún si la señal pasa a bajos voltajes. Es también el mejor modo a utilizar si se están mirando varias señales a la vez y no se desea fijar el control de trigger constantemente.

En la práctica, se utilizarán probablemente ambos modos: modo normal porque es un modo más versátil y más auto porque requiere menos ajuste. Algunos osciloscopios también incluyen los modos especiales para barridos de eventos aislados, para trigger sobre señales de video, o nivel de trigger automático.

Otros Controles

Se han descrito hasta ahora los controles básicos. Un osciloscopio puede tener otros controles para varias funciones, algunos de éstos pueden incluir:

- cursores de medida,
- teclados numéricos para operaciones matemáticas sobre los datos de entrada,
- capacidades de impresión,
- interfaces para conectar el osciloscopio con una computadora.

Observe cuales otras opciones hay disponibles en su equipo y lea el manual para estudiar sobre estos controles.

Técnicas de medida

Esta sección le enseña técnicas básicas de la medida. Las dos medidas más básicas que se pueden hacer son de voltaje y de tiempo. Varias otras medidas se basa en alguna de estas dos técnicas fundamentales.

En esta sección se discuten métodos para tomar medidas visualmente sobre la pantalla del osciloscopio. Muchos osciloscopios digitales tienen un software interno que toma automáticamente las medidas deseadas. Sin embargo, saber tomar las medidas ayudará a entender y comprobar las medidas automáticas.

La exhibición

Las marcas en la pantalla crean un *reticulado*. Cada línea vertical y horizontal constituye *una división importante*. El reticulado se presenta generalmente en un patrón de 8 X 10 divisiones. El etiquetado en los controles del osciloscopio (volts/div y sec/div) se refiere siempre a estas divisiones. Las marcas en el reticulado horizontal y vertical son divisiones de menor importancia.

Muchos osciloscopios muestran en pantalla cuántos voltios representa cada división vertical y cuántos segundos cada división horizontal. Muchos otros equipos también tienen marcas de 0%, 10%, 90%, y de 100% en el reticulado (Figura 24). Esto ayuda a hacer las medidas del tiempo de subida, más fácilmente.

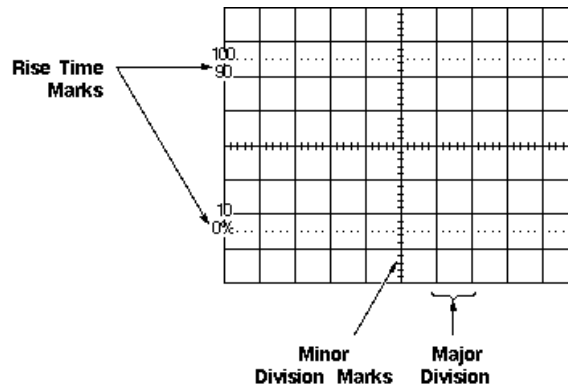


Figura 24: Un Ocular cuadrículado Del Osciloscopio

Medida del voltaje

El osciloscopio es sobre todo un dispositivo que mide voltaje. Una vez que usted haya medido el voltaje, se pueden calcular otras cantidades. Por ejemplo, aplicando la ley del Ohm, y conociendo la diferencia de potencial entre los extremos de una resistencia, se puede calcular la corriente que la está atravesando. El caso es similar para otras magnitudes importantes. El voltaje es la cantidad de potencial eléctrico, expresada en voltios, entre dos puntos en un circuito. Generalmente uno de estos puntos se pone a tierra, pero no siempre. Los voltajes se pueden también medir de pico a pico. Se debe tener cuidado de especificar qué voltaje se mide. La Figura 25 muestra el voltaje de un pico (V_p) y el voltaje de pico a pico V_{pp} .

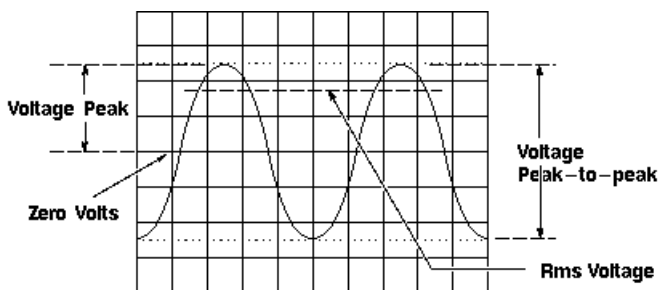


Figura 25: voltaje de pico y voltaje de pico a pico

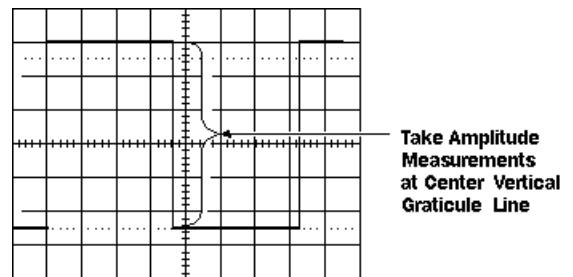


Figura 26: medida del voltaje en la línea vertical central del reticulado.

El voltaje se mide contando el número de divisiones que atraviesa una onda en la escala vertical del osciloscopio. La señal se ajusta de forma de cubrir verticalmente la mayor parte de la pantalla, entonces se toma la medida a lo largo de la línea vertical del centro del reticulado, que tiene las divisiones más pequeñas, que ayudan a definir mejor la medida. Cuanto más área de pantalla se utiliza, se podrá leer más exactamente en la pantalla.

Muchos osciloscopios tienen *cursores* de pantalla que permiten tomar medidas de onda automáticamente, sin tener que contar marcas del reticulado. Básicamente, los cursores son dos líneas horizontales para las medidas de voltaje y dos líneas verticales para las medidas de tiempo que se pueden mover alrededor de la pantalla. Una lectura muestra el voltaje o el tiempo en sus posiciones.

Medidas de tiempo y de frecuencia

Se toma la medida de tiempo usando la escala horizontal del osciloscopio. Las medidas del tiempo incluyen medir el período, el ancho del pulso, y el tiempo de los pulsos. La frecuencia es la inversa del período, así que una vez que se conoce el período, se conoce la frecuencia. Como medidas del voltaje, las medidas del tiempo son más exactas cuando se ajusta la señal a medir de forma de cubrir un área grande en la pantalla. Midiendo a lo largo de

la línea central horizontal del reticulado, que tiene divisiones más pequeñas, se mejora notablemente la medida. (Figura 27)

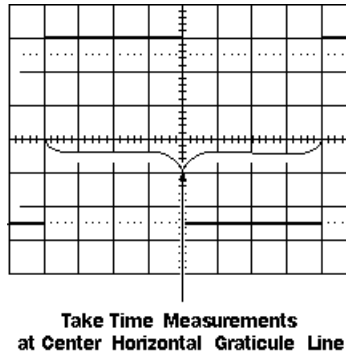


Figura 27: Tiempo de la medida en la línea horizontal de centro del ocular cuadrículado

Medidas del tiempo del pulso y de subida

En muchos usos, los detalles de la forma del pulso son importantes. Los pulsos pueden torcerse y hacer un circuito digital funcionar incorrectamente, y la sincronización en un tren de pulsos a menudo es significativa.

Las medidas estándares del pulso son *ancho de pulso* y *tiempo de subida*. El tiempo de subida es la cantidad de tiempo que toma un pulso para ir desde el bajo al alto voltaje. Por convención, el tiempo de subida es medido a partir la 10% al 90% del voltaje total del pulso. Esto elimina cualquier irregularidad en las esquinas de la transición del pulso. Esto también explica porqué la mayoría de los osciloscopios tienen marcas del 10% y del 90% en su pantalla. El ancho del pulso es la cantidad de tiempo que el pulso toma para ir y volver al bajo voltaje. Por convención, el ancho del pulso es medido al 50% del máximo voltaje.

Medidas de desplazamiento de fase

La sección de control horizontal puede tener un modo de XY que permita exhibir una señal de entrada además de la base del tiempo del eje horizontal. Este modo de operación abre una nueva área en las técnicas de la medida de desplazamiento de fase.

La fase de una onda es la cantidad de tiempo que transcurre desde el principio de un ciclo dado hasta el principio del ciclo siguiente, medida grados. Un método para medir el desplazamiento de fase es utilizar el modo de XY. Esto implica introducir una señal en el sistema vertical como de costumbre y otra señal en el sistema horizontal. Esto se denomina medida XY porque el eje X y el eje Y están mostrando voltaje. La onda que resulta de este arreglo se denomina patrón de Lissajous (por el físico francés Julio Antoine Lissajous). De la forma del patrón de Lissajous, se puede determinar la diferencia de fase entre dos señales. También su cociente de frecuencias. La figura 28 muestra patrones de Lissajous para varios cocientes de frecuencia y desplazamientos de fase.

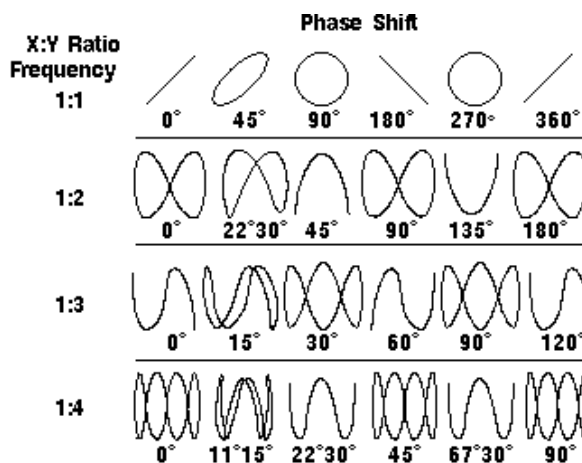


Figura 28: Patrones de Lissajous

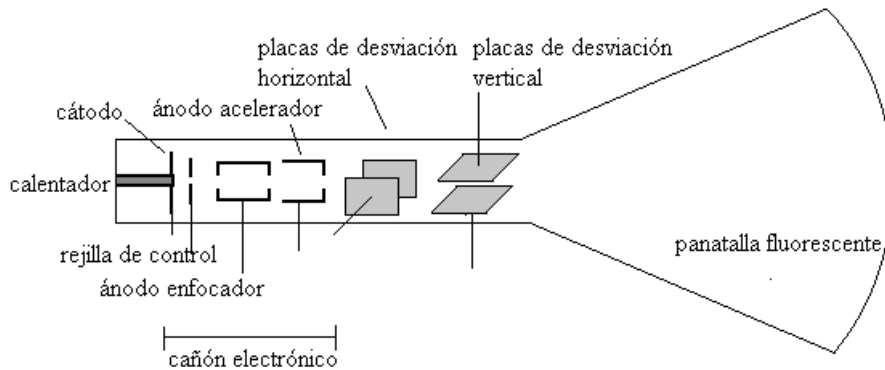
¿Otras medidas posibles?

Esta sección ha cubierto técnicas muy básicas de medida. Otras técnicas implican configurar el osciloscopio para probar componentes eléctricos, recortar el ruido de la señal, medir señales transitorias, y muchos otras experiencias que tomarían demasiado espacio de enumerar. Las técnicas de la medida que se utilizarán dependen del tipo de experiencia a realizar. Es el usuario mismo el que determina hasta qué punto logra sacar provecho al osciloscopio utilizándolo como una herramienta de medida.

Detalle final: El tubo de rayo catódicos

Descripción

El osciloscopio es un instrumento muy corriente en el laboratorio de Física, de Electricidad y Electrónica. Tiene forma cónica con un cuello tubular en el que va montado el cañón de electrones. Describiremos sus distintas partes:

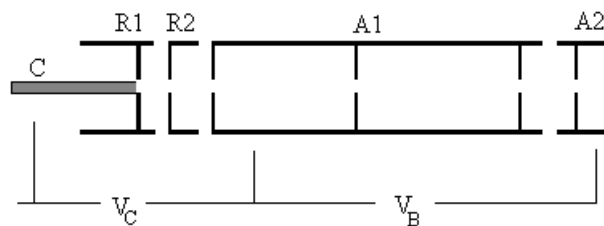


El cañón electrónico

Los electrones son emitidos por un cátodo, que tiene forma de un cilindro cerrado por un extremo mediante una plaquita. Esta placa está recubierta por óxidos de bario y estroncio que emiten un haz de electrones de alta densidad. El cátodo se calienta mediante un elemento calefactor en forma de hélice que está contenido en el cilindro.

A continuación, y muy próximo al cátodo viene la rejilla de control (R1) que tiene un orificio más pequeño que la superficie emisora. Una segunda rejilla de control (R2) acelera los electrones que han pasado a través de la primera rejilla.

El siguiente elemento dentro del tubo, es el denominado ánodo de enfoque. Que tiene forma cilíndrica con varios orificios. Finalmente, tenemos el ánodo acelerador.



El ánodo acelerador A2 está fijado a un potencial de varios miles de voltios respecto al cátodo. El primer ánodo de enfoque A1 funciona a un potencial V_C que es aproximadamente la cuarta parte de A2, $V_C + V_B$. La segunda rejilla R2 está conectada internamente a A2. Variando los potenciales V_B y V_C se puede cambiar la energía del haz de electrones.

La rejilla de control R1 es siempre negativa respecto al potencial del cátodo C. La densidad del haz de electrones y por tanto, la intensidad de la imagen sobre la pantalla puede variarse cambiando esta diferencia de potencial, que recibe el nombre de tensión de polarización. Normalmente, la rejilla de control R1 funciona a un potencial de 20 voltios negativos respecto del cátodo.

La pantalla

La pantalla del tubo de rayos catódicos está recubierta internamente con una sustancia fosforosa que destella visiblemente cuando incide sobre ella un haz de electrones.

Se denomina luminiscencia a una propiedad radiactiva de los sólidos. La sustancia brilla cuando se ilumina con luz de longitud de onda apropiada o se excita por algún otro medio como el choque con un haz de electrones.

Cuando el haz de electrones choca contra el material de la pantalla, otros electrones son expulsados del fósforo. Estos electrones libres se denominan electrones secundarios y son recogidos por un recubrimiento de grafito en polvo que se aplica a la superficie interna del tubo. El grafito es conductor de la electricidad y lleva los electrones al terminal positivo de la fuente de alimentación.

El tubo de rayos catódicos tiene dos pares de placas deflectoras que desvían el haz en dos direcciones mutuamente perpendiculares. Las placas no son completamente paralelas sino que se ensanchan para lograr grandes ángulos de desviación evitando que el haz de electrones choque contra los bordes de las placas.

Fundamentos físicos

El movimiento del electrón se realiza en tres etapas:

- En el cañón acelerador
- Entre las placas deflectoras
- Cuando se dirige hacia la pantalla

Movimiento en el cañón acelerador

La velocidad de los electrones cuando llegan a las placas deflectoras después de haber sido acelerados por el cañón de electrones es.

$$\frac{1}{2} m v_0^2 = q V$$

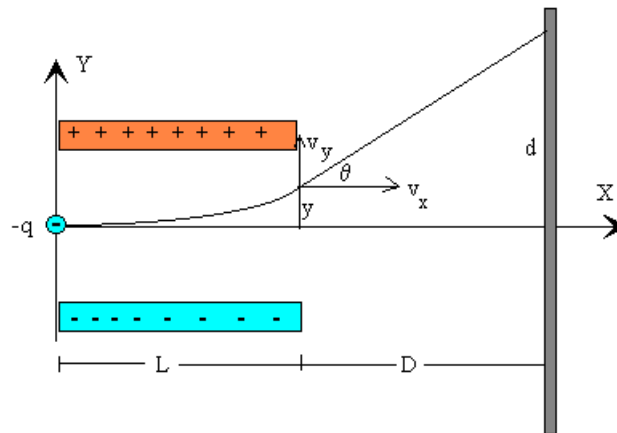
Movimiento entre las placas del condensador

Las ecuaciones del movimiento entre las placas deflectoras serán las del movimiento curvilíneo bajo aceleración constante.

$$\begin{aligned} a_x &= 0 & v_x &= v_0 & x &= v_0 t \\ a_y &= \frac{qE}{m} & v_y &= a_y t & y &= \frac{1}{2} a_y t^2 \end{aligned}$$

Si L es la longitud del condensador, la desviación vertical y de la partícula al salir de sus placas será

$$y = \frac{1}{2} \frac{qE}{m} \frac{L^2}{v_0^2}$$



Movimiento fuera de las placas

Después de que el haz de electrones abandone la región deflectora, sigue un movimiento rectilíneo uniforme, una línea recta tangente a la trayectoria en el punto $x = L$ en el que dicho haz abandonó la mencionada región.

La desviación total del haz en la pantalla situada a una distancia D del condensador es

$$d = y + \frac{v_y}{v_x} D = \frac{qE}{m} \frac{L}{v_0^2} \left(\frac{L}{2} + D \right)$$

El ángulo de desviación aumenta con la longitud L de las placas, con la diferencia de potencial V_d (o el campo E) entre las mismas. Aumenta también, si se disminuye el potencial acelerador V , o la velocidad v_0 de los electrones, permitiéndoles estar más tiempo dentro del campo deflectora.

Fuente:

* Osciloscopio tutorial, <http://www.cs.tcd.ie/courses/baict/bac/jf/>

* Física con ordenador, Angel Franco García; Dpto. Física Aplicada I, Universidad del País Vasco, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industria, <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/default.htm>