

# Laboratorio 2

Instrumental

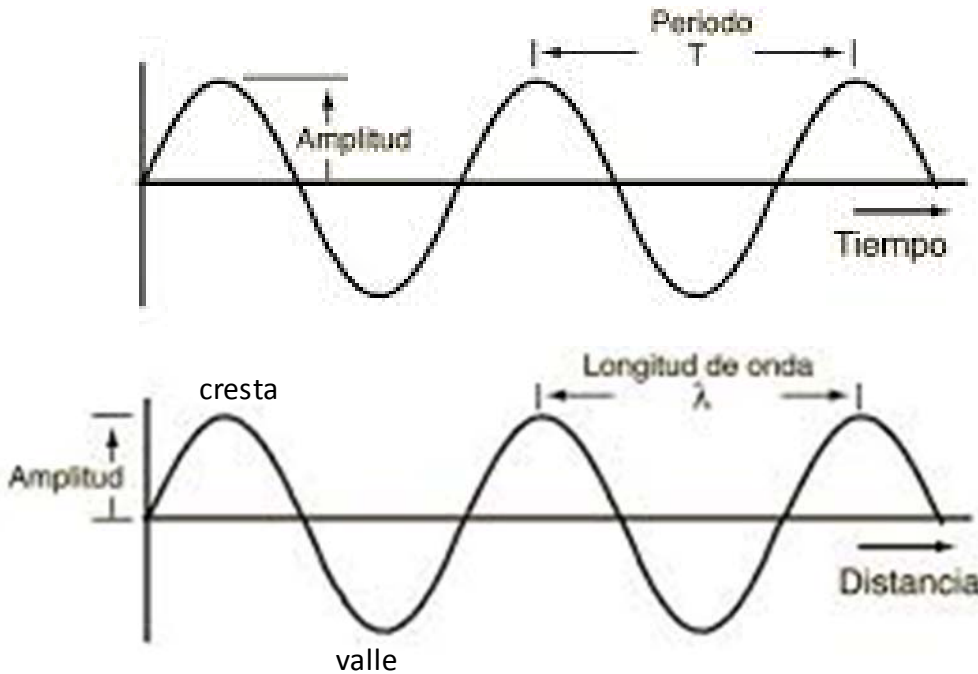
- Breve introducción sobre ondas
- ¿Cómo podemos generar ondas en el Laboratorio ?
- Generador de Funciones/Señales
- Osciloscopio
- Multímetro (Tester)
- Errores instrumentales
- ¿Hay correlación entre lo que mide el osciloscopio y el multímetro ?



Una **onda** consiste en la propagación de una perturbación de alguna propiedad del espacio (presión, densidad, campo eléctrico o magnético) implicando un transporte de energía sin transporte de materia.

El espacio perturbado puede contener materia (aire, agua, etc) o no (vacío).

Las ondas pueden representarse por un movimiento armónico simple



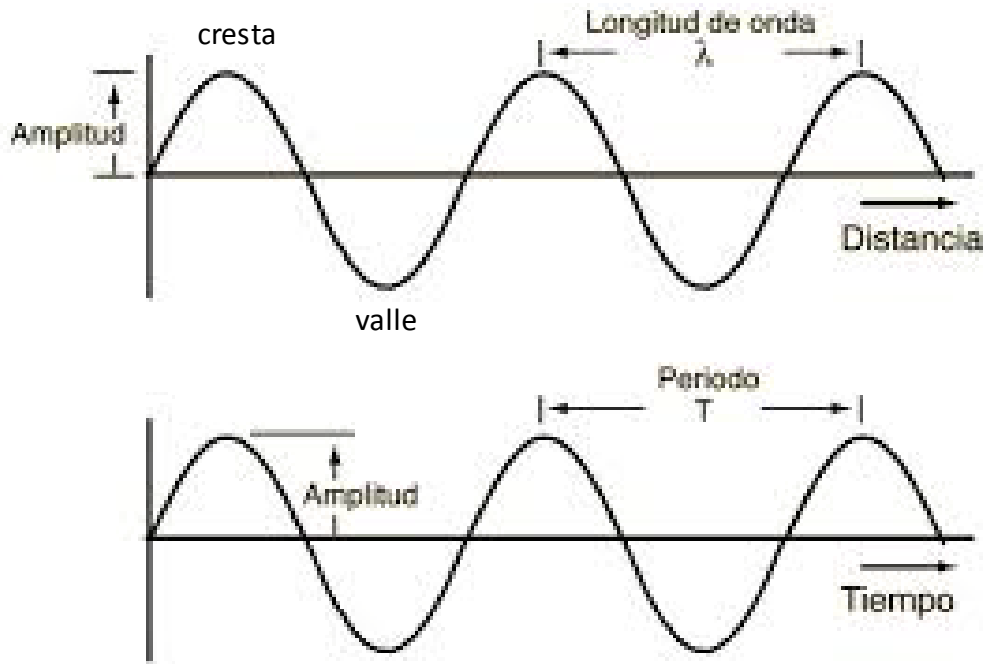
período  $\rightarrow T = \frac{1}{f} \rightarrow$  frecuencia

$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \rightarrow$  frecuencia angular

$k = \frac{2\pi}{\lambda} \rightarrow$  número de onda

$v_p = \frac{\omega}{k} = \lambda f \rightarrow$  velocidad de propagación (fase)

$v_g = \frac{\partial \omega}{\partial k} \rightarrow$  velocidad de grupo



período

$$T = \frac{1}{f} \rightarrow \text{frecuencia}$$

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \rightarrow \text{frecuencia angular}$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \rightarrow \text{número de onda}$$

$$v_p = \frac{\omega}{k} = \lambda f \rightarrow \text{velocidad de propagación (fase)}$$

Ecuación de onda

$$\nabla^2 u(\vec{r}, t) = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}(\vec{r}, t)$$

Laplaciano

$$\nabla^2 \equiv \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

$$\nabla^2 \vec{E} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0$$

**OEM**

Matemáticamente una onda básica senoidal en 1-D (onda armónica) se puede escribir

$$u(x, t) = A \sin(kx - \omega t + \phi)$$

↓  
amplitud  
máxima

↓  
fase  
constante

## Clasificación

- ✓ En función del medio que se propagan
- ✓ En función de su propagación o frente de onda
- ✓ En función de la dirección de propagación
- ✓ En función de su periodicidad

### Ondas mecánicas

- ✓ Precisan de un medio elástico (sólido, líquido o gaseoso) para propagarse.
- ✓ Las partículas del medio oscilan alrededor de un punto fijo.



No existe transporte neto de materia a través del medio

{ Ondas elásticas  
Sonido (ondas sonoras)

### Ondas electromagnéticas

- ✓ Se pueden propagar en el espacio sin necesidad de un medio (en el vacío)
- ✓ Se producen por oscilaciones del campo eléctrico ( y campo magnético).

### Ondas gravitacionales

- ✓ Perturbaciones que alteran la geometría del espacio-tiempo.

## Clasificación

- ✓ En función del medio que se propagan
- ✓ En función de su propagación o frente de onda
- ✓ En función de la dirección de propagación
- ✓ En función de su periodicidad

{  
Unidimensionales  
Bidimensionales o superficiales  
Tridimensionales

### Periódicas

La perturbación local que las origina se produce en ciclos repetitivos (por ej.: ondas senoidal)

### No periódicas

La perturbación local que las origina se produce aisladamente o si se repiten, tiene características diferentes (pulsos)

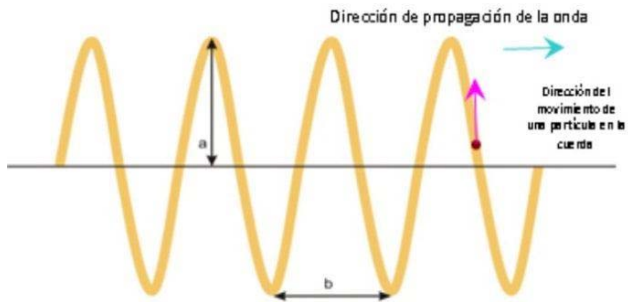
### Ondas longitudinales

Las partículas se mueven (vibran) paralelas a la dirección de propagación

### Ondas transversales

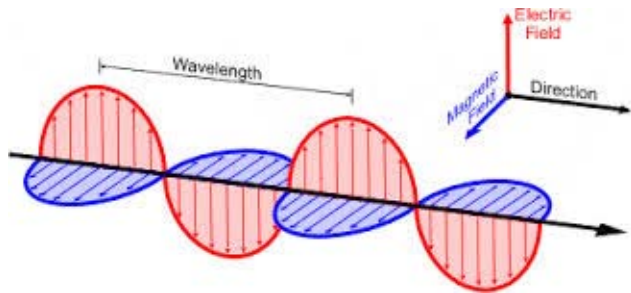
Las partículas se mueven (vibran) perpendiculares a la dirección de propagación





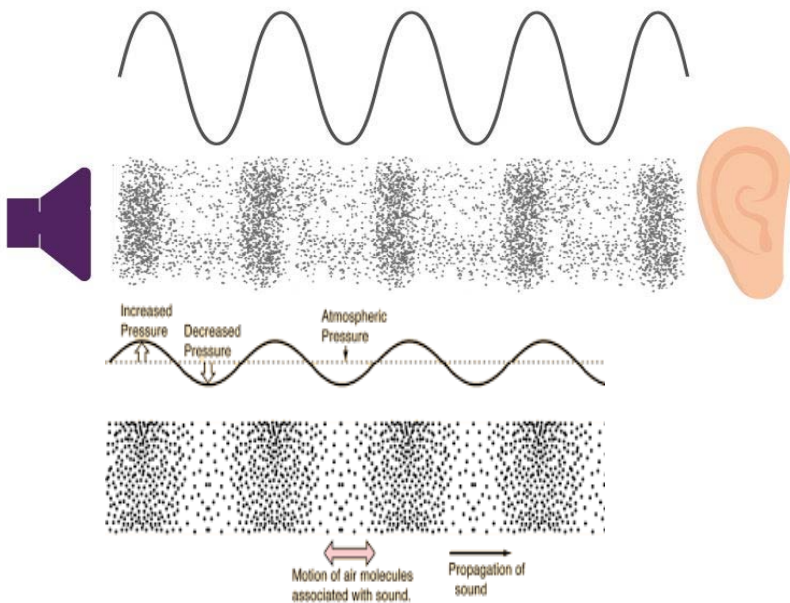
cuerda

Ondas transversales



Onda EM (luz)

Ondas longitudinales



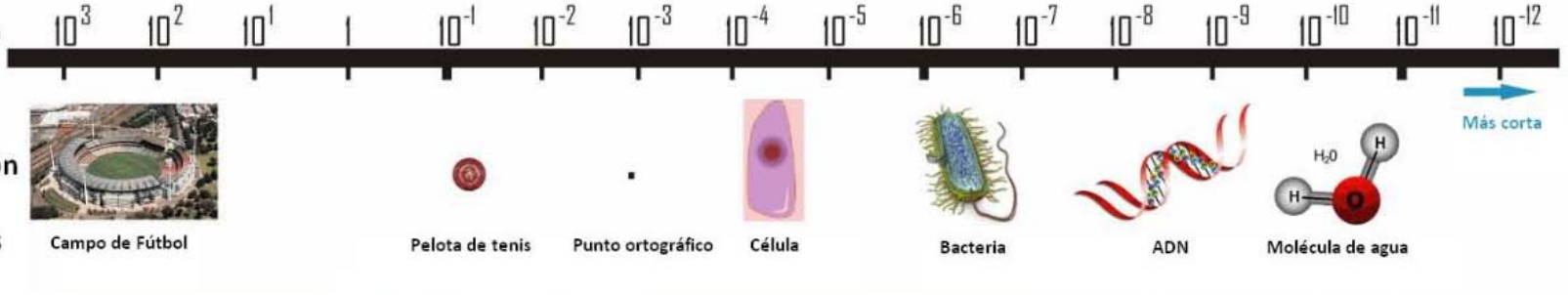


# EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Longitud de onda  
(en metros)

Más larga ←

Comparación  
de las  
Longitudes  
de Onda





## Clasificación

- ✓ En función del medio que se propagan
- ✓ En función de su propagación o frente de onda
- ✓ En función de la dirección de propagación
- ✓ En función de su periodicidad

{  
Unidimensionales  
Bidimensionales o superficiales  
Tridimensionales

### Periódicas

La perturbación local que las origina se produce en ciclos repetitivos (por ej.: ondas senoidal)

### No periódicas

La perturbación local que las origina se produce aisladamente o si se repiten, tiene características diferentes (pulsos)

### Ondas longitudinales

Las partículas se mueven (vibran) paralelas a la dirección de propagación

### Ondas transversales

Las partículas se mueven (vibran) perpendiculares a la dirección de propagación


- La onda mantendrá su forma únicamente al viajar por **un medio no dispersivo**

$$v_p = \frac{\omega}{k} = \lambda f \rightarrow \text{velocidad de propagación (fase)}$$

- **En un medio dispersivo**, las formas de las componentes de las ondas sinusoidales **no cambian, pero cada una de ellas puede viajar con una velocidad de fase diferente.**

En este caso, la forma de la onda combinada cambia al alterarse la relación de fase entre componentes.

- La dispersión ocurre porque las ondas componentes viajan a velocidades de fase diferentes.
- La velocidad de grupo es la velocidad a la cual viaja la información o la energía de la onda real.  
No existe una relación sencilla entre la velocidad de fase de las componentes y la velocidad de grupo de la onda, depende de la dispersión del medio.
- La onda puede cambiar de forma también si cede energía mecánica al medio cuando se presentan fuerzas disipativas (que dependen en general de la velocidad).

- Breve introducción sobre ondas
- ¿ Cómo podemos generar ondas en el Laboratorio ? 
- Generador de Funciones/Señales
- Osciloscopio
- Multímetro (Tester)
- Errores instrumentales
- ¿ Hay correlación entre lo que mide el osciloscopio y el multímetro ?

## Generador de Funciones

Un generador de señales (de funciones o de formas de onda) **es un equipo electrónico** que genera señales electrónicas periódicas con propiedades establecidas de amplitud frecuencia y forma de onda.

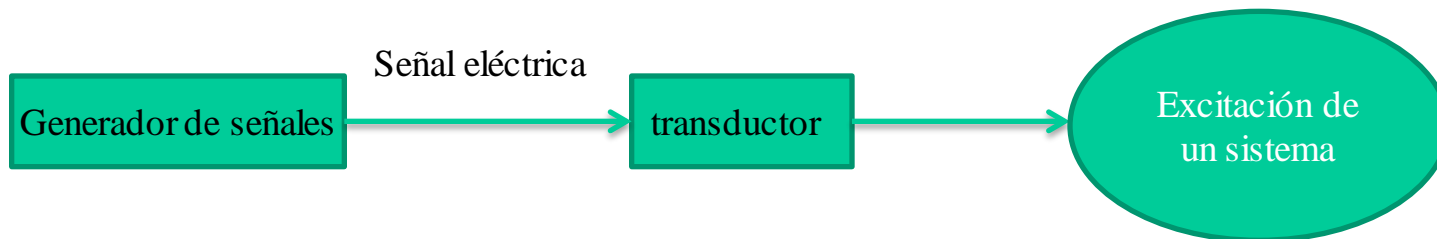
Hay diferentes tipos de generadores de señales según el propósito y aplicación.

En el pasado eran dispositivos estáticos apenas configurables, pero actualmente permiten la conexión y control desde una PC.

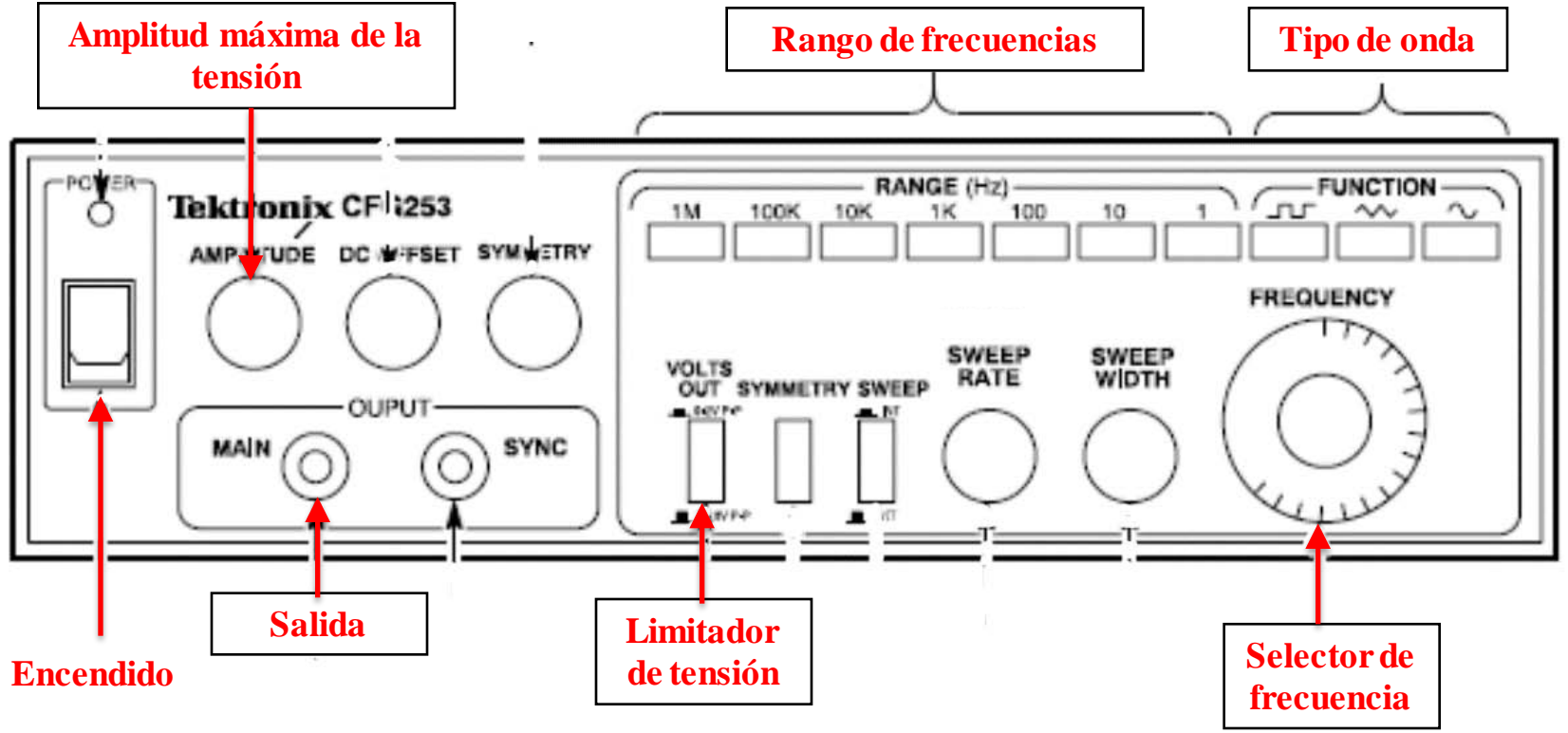
Pueden ser controlados mediante software

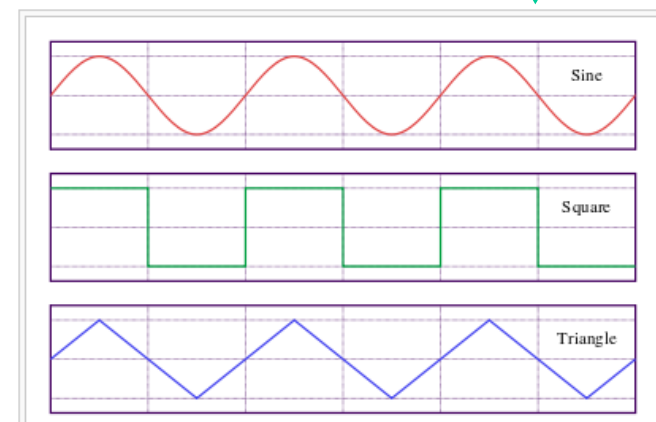
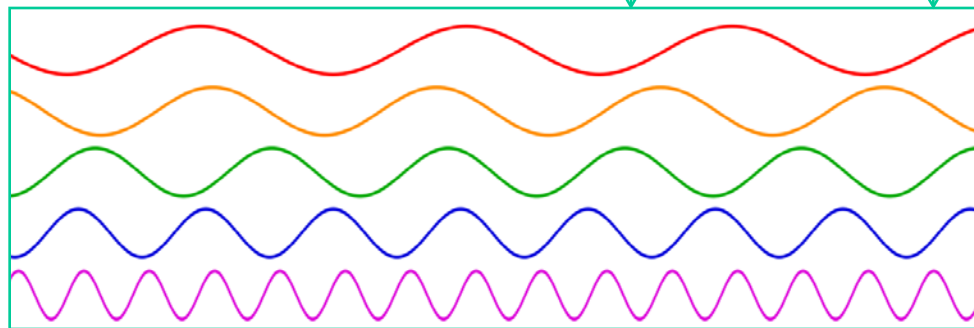
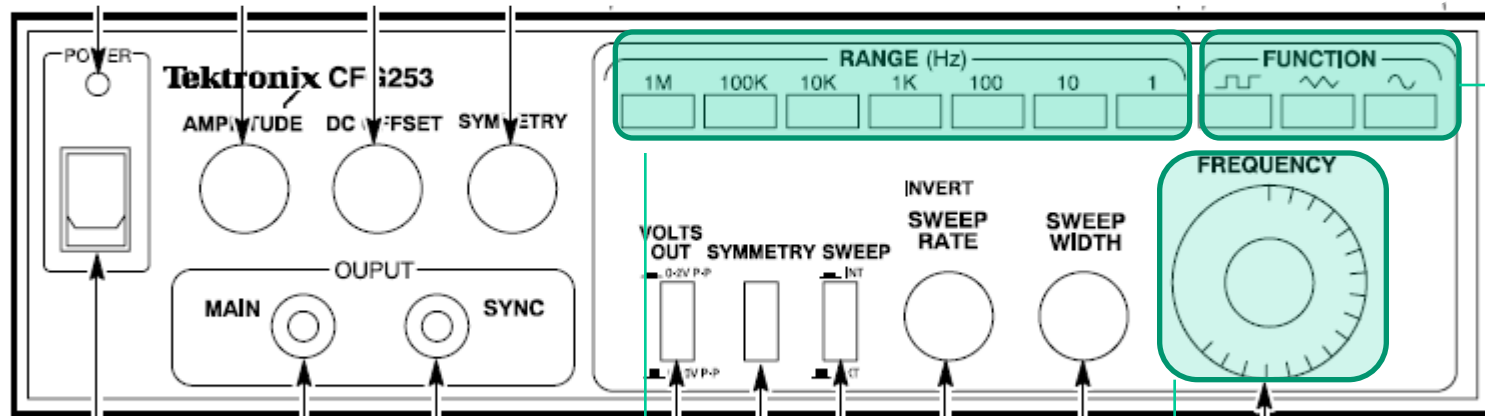
En Laboratorio 2 contamos con equipos pueden generar ondas eléctricas de tensión de forma senoidal, cuadrada, triangular de diferentes amplitudes y frecuencias.

Estas señales son utilizadas para excitar distintos dispositivos dependiendo del tipo de experiencia a realizar.

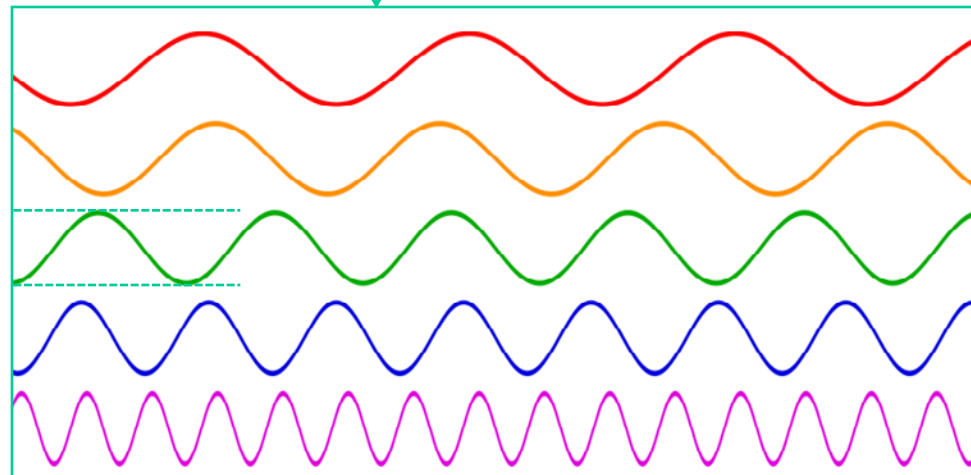
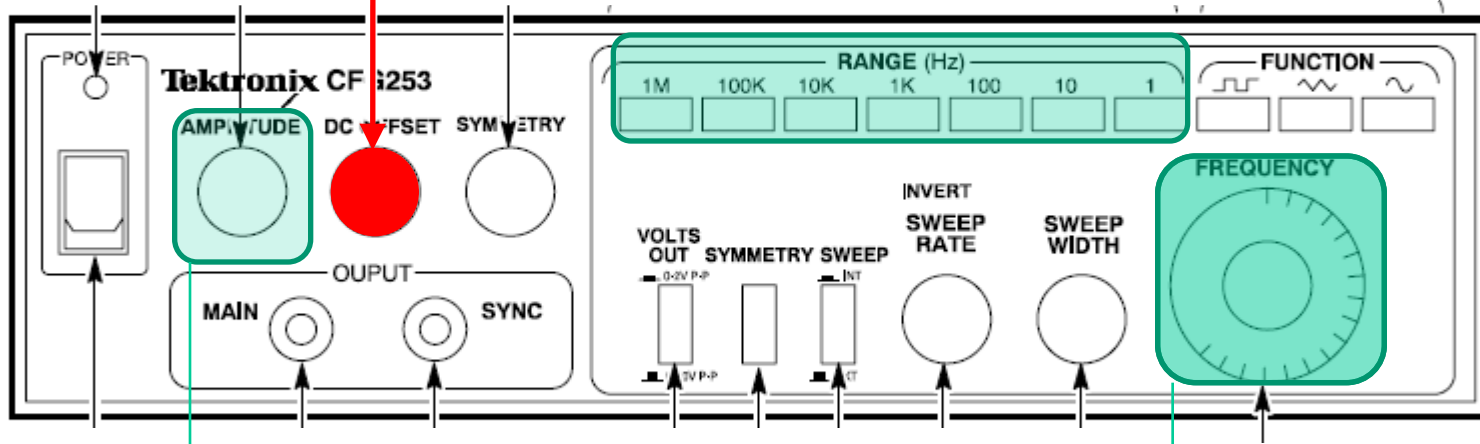


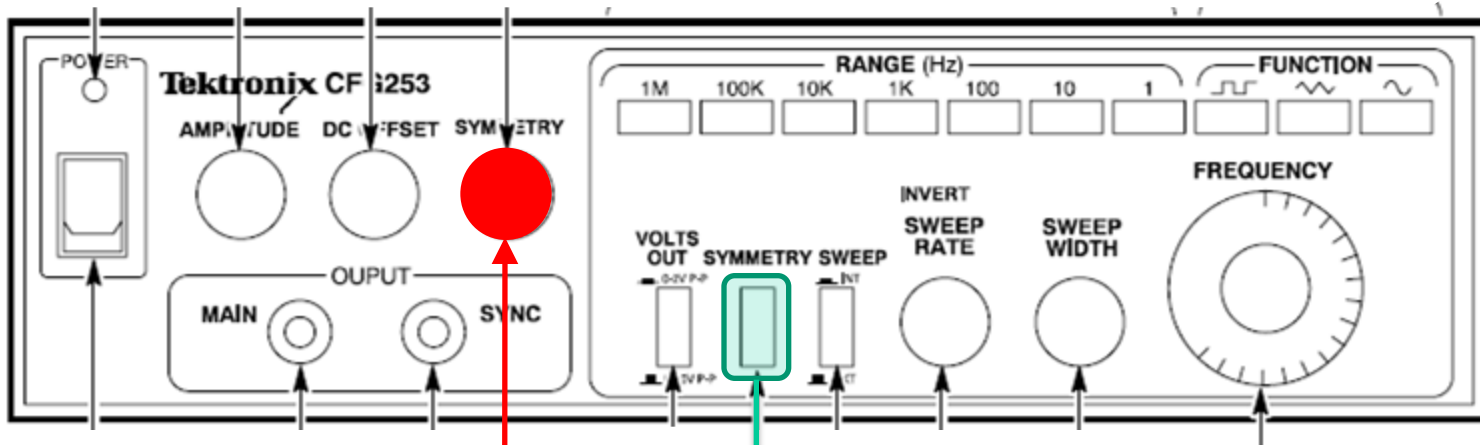
# Generador de Funciones Tektronix CFG253 (0,3 Hz a 3MHz - 0 a 20 Vpp)





Adición de tensión continua



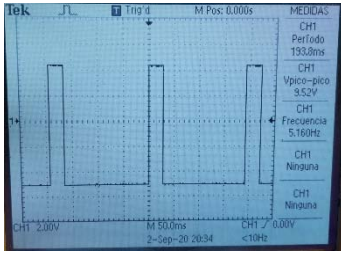
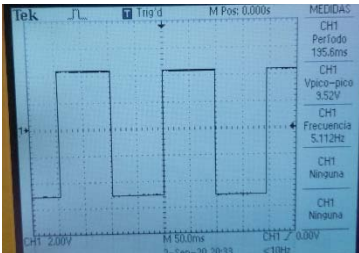
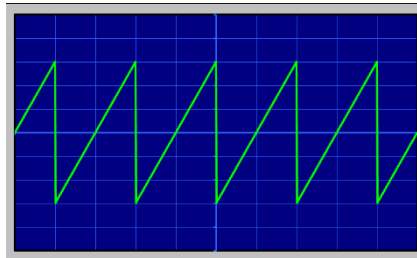
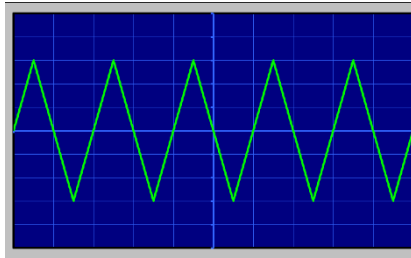


Si está activada la tecla de simetría. Se puede sesgar la onda

Se puede cambiar una onda triangular a diente de sierra

Se puede cambiar una cuadrada a una rectangular

Divide la frecuencia por 10

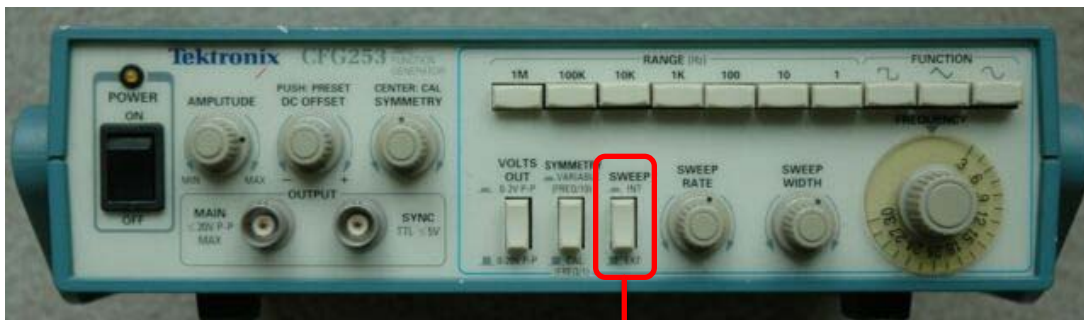
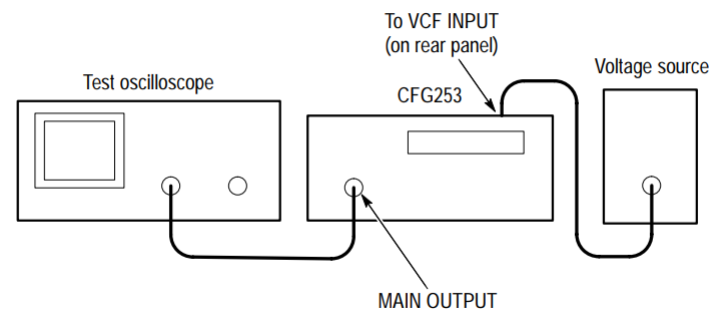






Entrada de tensión para controlar el barrido de frecuencia en forma externa

Tensión de línea



Barrido externo

**Table 2: Warranted Characteristics**

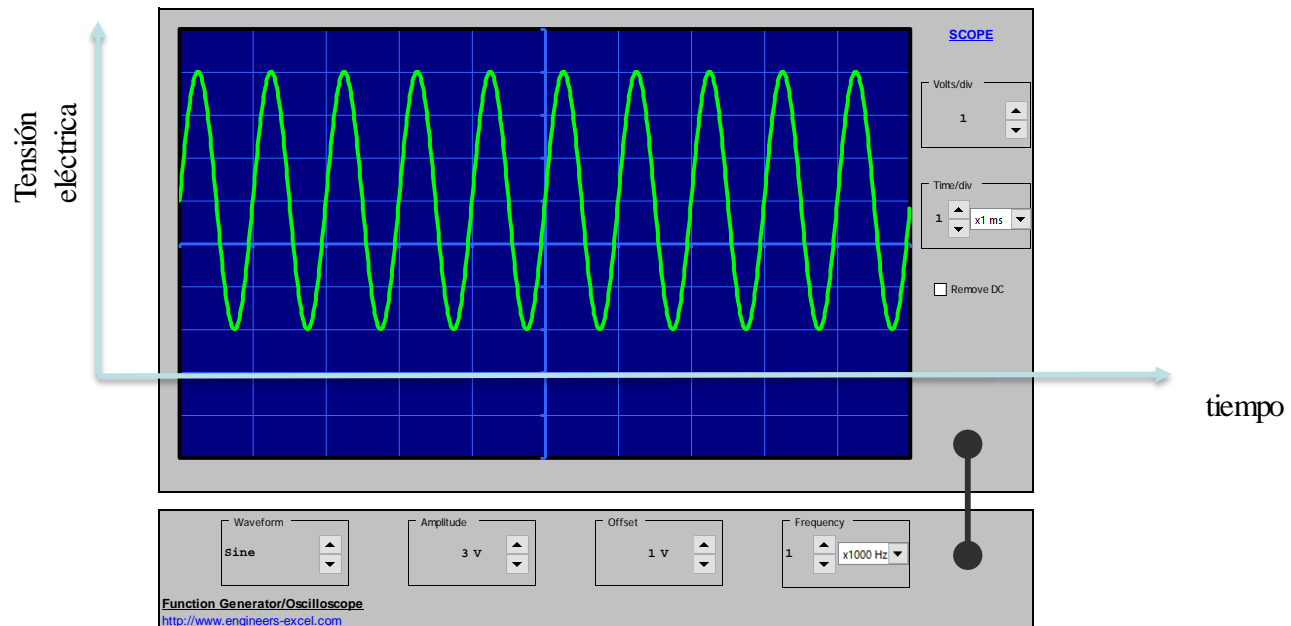
<b>Characteristic</b>	<b>Measurement</b>	
Outputs	Square wave, sine wave, sawtooth wave, TTL pulse, and sweep functions for all outputs	
Line Voltage Range	90 to 110, 108 to 132, 198 to 242, and 216 to 250 VAC at 50–60 Hz	
Frequency ranges, nonskewed waveform (Freq/1)	<b>Range Setting</b>	<b>Variable</b>
	1	0.3 to 3.0 Hz
	10	3.0 to 30 Hz
	100	30 to 300 Hz
	1 K	0.3 K to 3.0 kHz
	10 K	3 K to 30 kHz
	100 K	30 K to 300 kHz
1 M	0.3 M to 3.0 MHz	
Frequency ranges, skewed waveform (Freq/10)	<b>Range Setting</b>	<b>Variable</b>
	1	0.03 to 0.3 Hz
	10	0.3 to 3.0 Hz
	100	3.0 to 30 Hz
	1 K	30 to 300 Hz
	10 K	0.3 K to 3.0 kHz
	100 K	3.0 K to 30 kHz
1 M	30 K to 300 kHz	
Frequency multiplier	Variable 0.3 to 3.0 times the selected frequency range	
Frequency/1 dial accuracy	±5% of full scale of frequency/1	
Frequency/10 dial accuracy	±5% of full scale of frequency/10	
Sine wave distortion	<1% from 10 Hz to 100 kHz	

- Breve introducción sobre ondas
- ¿Cómo podemos generar ondas en el Laboratorio ?
- Generador de Funciones/Señales
- Osciloscopio
- Multímetro (Tester)
- Errores instrumentales
- ¿Hay correlación entre lo que mide el osciloscopio y el multímetro ?

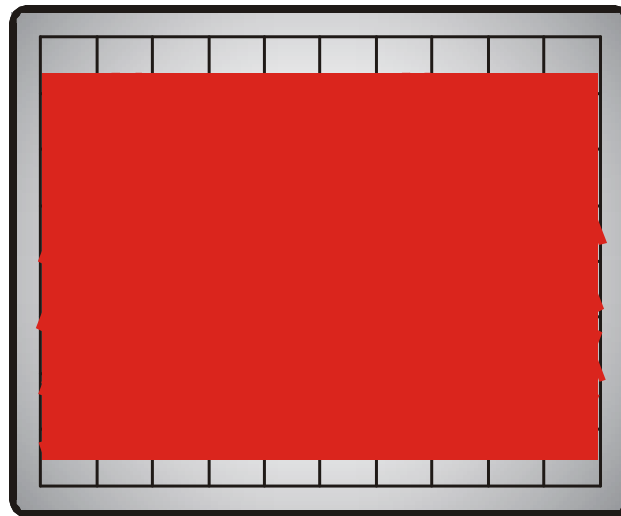
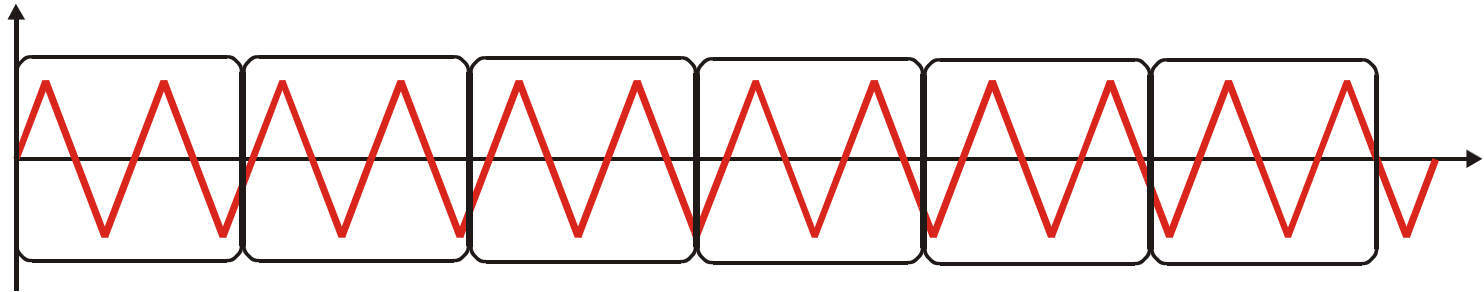


# Osciloscopio

- Un osciloscopio es un instrumento electrónico que representa gráficamente en una pantalla señales eléctricas que pueden variar en el tiempo.
- Estas señales eléctricas se visualizan en forma de coordenadas en la pantalla, en la que normalmente el eje horizontal representa tiempos y el eje vertical las tensiones (o voltajes).
- La frecuencias de las señales de tensión que permiten los osciloscopios pueden ir desde 0 Hz a varios GHz e incluso mayores dependiendo del tipo de instrumento.

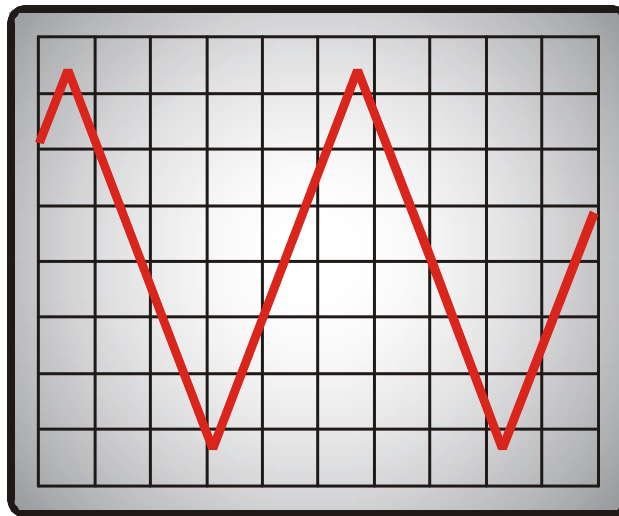
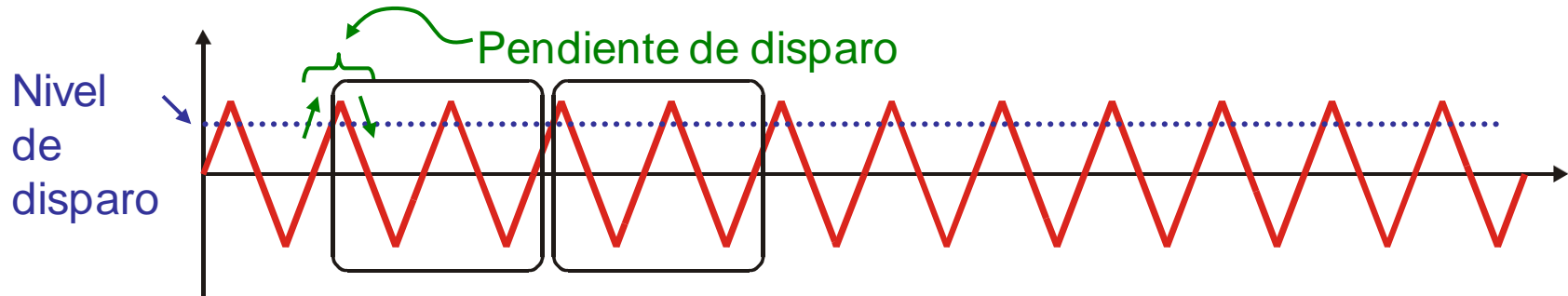


## Sincronización de la señal: el disparo (TRIGGER)



Es necesario conseguir que comience cada barrido siempre en el mismo punto

## Sincronización de la señal: el disparo (TRIGGER)

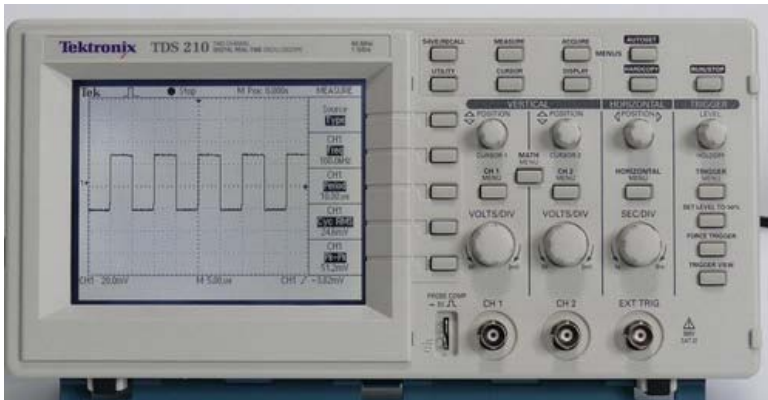


La selección de un nivel de disparo correcto es fundamental para obtener una imagen estable de la señal

# Osciloscopios en el Laboratorio

Tektronix TDS 210

Tektronix TDS 1002



Osciloscopio digital

2 canales

60 MHz

1GS/s

Procesamiento de ondas

- Operaciones matemáticas: Suma, Resta
- Fuentes:  $CH1 \pm CH2$
- Autoset

Osciloscopio digital

2 canales

60 MHz

1GS/s

Procesamiento de ondas

- Operaciones matemáticas: Suma, Resta, FFT
- Fuentes:  $CH1 \pm CH2$ , FFT por canal
- Autoset



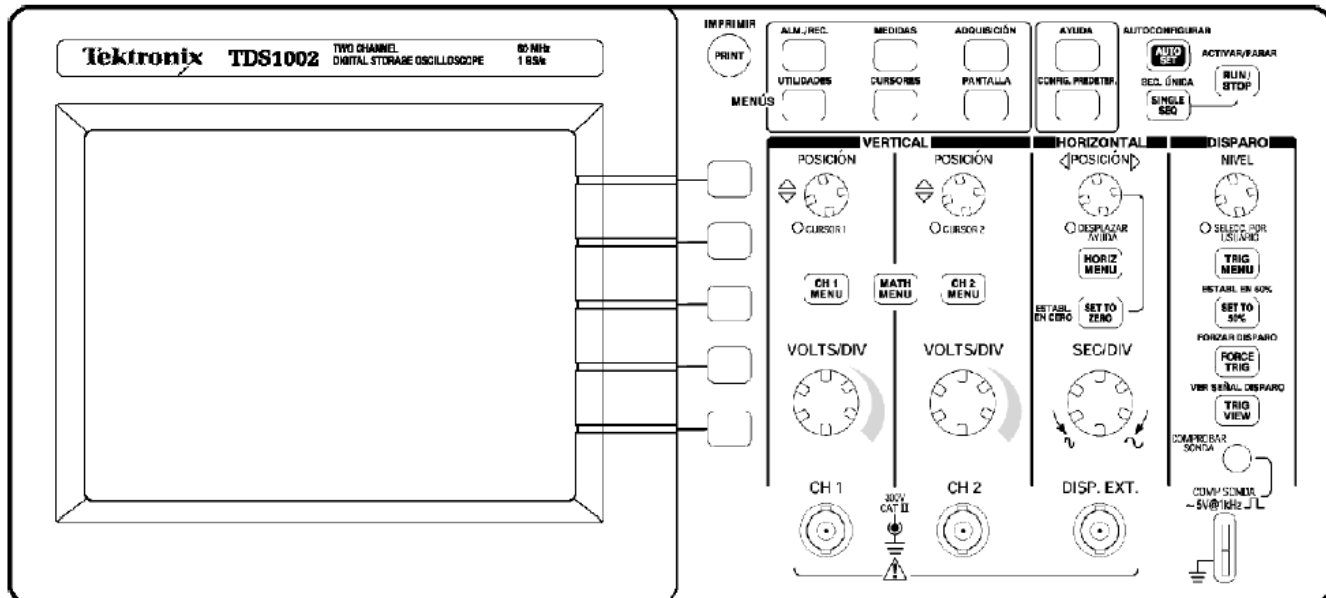
Adquisición  
Medidas  
Cursores  
Pantalla  
Autoconf.  
Memoria  
Ayuda

Controles de disparo

Controles horizontales

Controles verticales

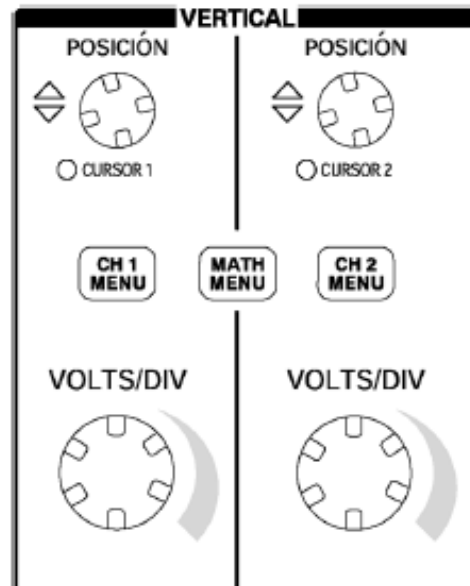
Señales de entrada



Modelos de dos canales



# Controles verticales



Todos los modelos



**POSICIÓN de CURSOR 1 y CURSOR 2 para CH1, CH2, CH3 y CH4.** Sitúa verticalmente la forma de onda. Al mostrar y utilizar cursores, se ilumina un LED que indica la función alternativa de los mandos para mover los cursores.

**MENÚ CH1, CH2, CH3 y CH4.** Muestra las selecciones de menú vertical, y activa y desactiva la presentación de la forma de onda del canal.

**VOLTS/DIV (CH 1, CH 2, CH 3 y CH 4).** Selecciona factores de escala calibrados.

**Menú MATEM.** Muestra el menú de operaciones matemáticas de forma de onda y también puede utilizarse para activar y desactivar la forma de onda matemática.

## Controles horizontales



### Modelos de dos canales

**POSICIÓN.** Ajusta la posición horizontal de todas las formas de onda matemáticas y de canal. La resolución de este control varía en función del ajuste de la base de tiempos.

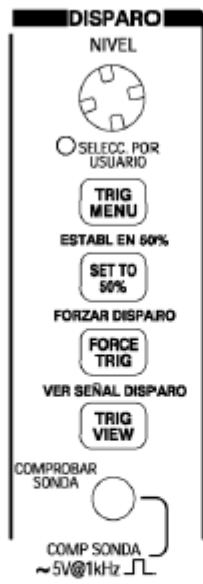
**NOTA.** Para hacer un ajuste de gran tamaño a la posición horizontal, gire el mando SEC/DIV hasta un valor más alto, cambie la posición horizontal y vuelva a girar el mando SEC/DIV hasta el valor anterior.

Al consultar temas de Ayuda, puede utilizar este mando para desplazarse por vínculos o entradas de índice.

**ESTABL. EN CERO.** Establece la posición horizontal en cero.

**SEC/DIV.** Selecciona el ajuste tiempo/división horizontal (factor de escala) de la base de tiempos principal o de ventana. Si se activa Definir Ventana, se cambia el ancho de la zona de ventana al cambiar la base de tiempos de la ventana.

# Controles de disparo



## Modelos de dos canales

**NIVEL y SELECC. POR USUARIO.** Cuando se utiliza un disparo por flanco, la principal función del mando NIVEL es establecer el nivel de amplitud que la señal debe cruzar para provocar una adquisición. También se puede utilizar este mando para ejecutar opciones alternativas de SELECC. POR USUARIO. Se ilumina el LED situado debajo del mando para indicar una función alternativa.

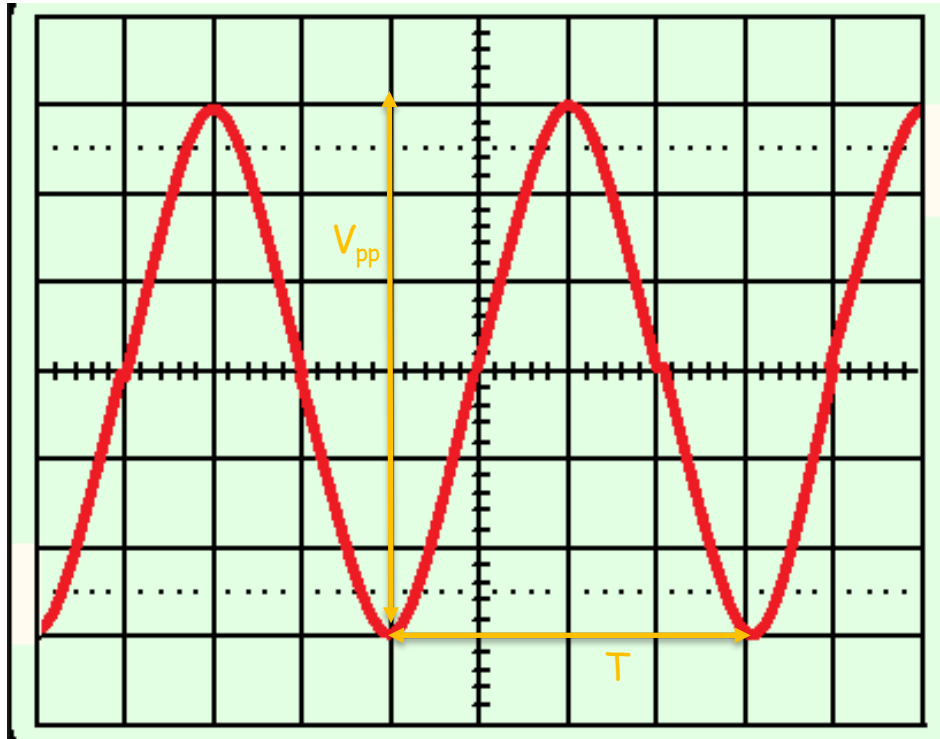
**MENÚ DISPARO.** Muestra el menú Disparo.

**ESTABL EN 50 %.** El nivel de disparo se establece en el punto medio vertical entre los picos de la señal de disparo.

**FORZAR DISPARO.** Completa una adquisición con independencia de una señal de disparo adecuada. Este botón no tiene efectos si la adquisición se ha detenido ya.

**VER SEÑAL DISPARO.** Muestra la forma de onda de disparo en lugar de la forma de onda de canal mientras se mantiene pulsado el botón VER SEÑAL DISPARO. Puede utilizar este botón para ver la forma en que los valores de disparo afectan a la señal de disparo, como un acoplamiento de disparo.

10 divisiones



8 divisiones

Cada división esta dividida en 5 intervalos

La escala vertical fija Volt/div

La escala horizontal fija s/div

# Icono del modo de adquisición



Modo muestreo



Modo detección de pico



Modo promedio

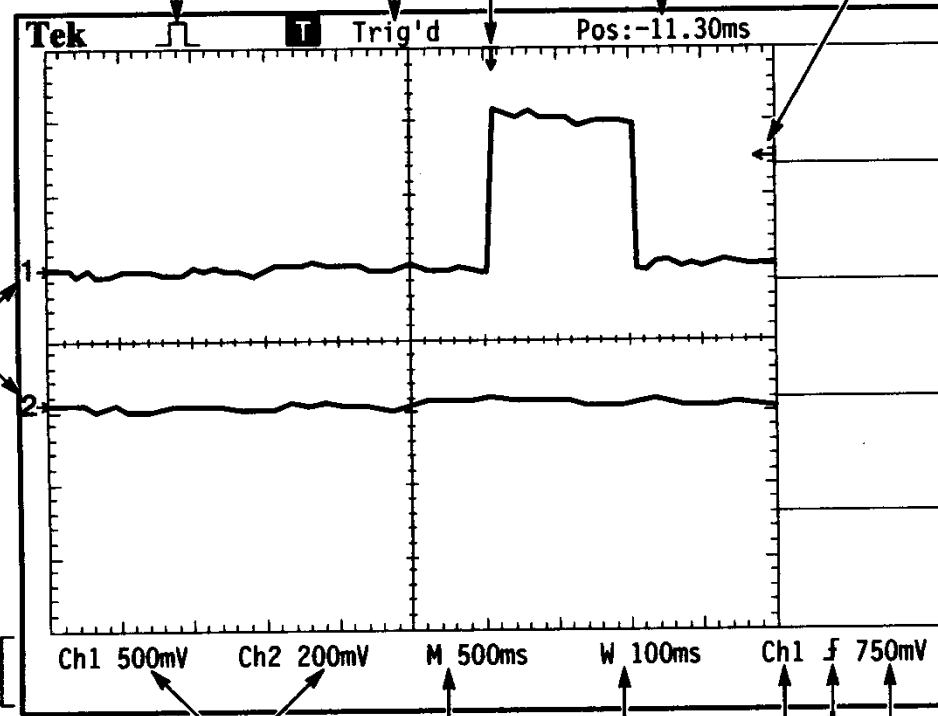
Diferencia (horizontal) entre el centro de la retícula y la posición del trigger

Marca de la posición horizontal del trigger

Status de trigger

Nivel del trigger

Nivel de referencia de los canales



Area de referencia

Lectura de factores de escala vertical del canal 1 y 2


Lectura de la base de tiempo principal

Lectura de la base de tiempo de la ventana

Fuente del trigger

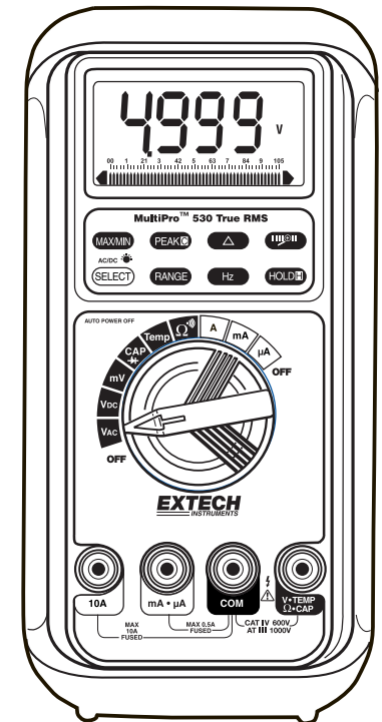
Pendiente del trigger

Lectura del nivel del trigger

- Breve introducción sobre ondas
- ¿ Cómo podemos generar ondas en el Laboratorio ?
- Generador de Funciones/Señales
- Osciloscopio
- Multímetro (Tester) 
- Errores instrumentales
- ¿ Hay correlación entre lo que mide el osciloscopio y el multímetro ?

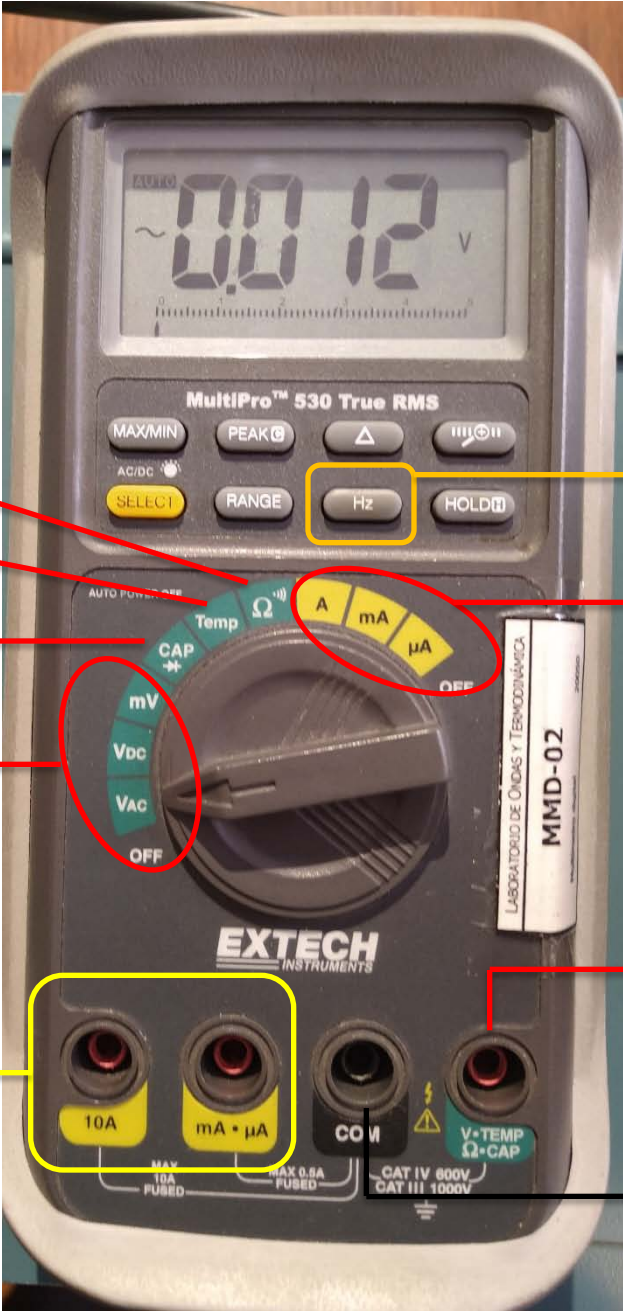
## Multímetro (tester)

- Es un instrumento eléctrico portátil para medir directamente magnitudes eléctricas activas, como corrientes y potenciales (tensiones), o pasivas, como resistencias, capacidades y otras. También algunos incluyen la medición de temperatura por medio de termo-resistores o termocuplas.
- Con el multímetro podemos medir corrientes y tensiones continuas como alternas. Existen multímetros analógicos y digitales
- A diferencia del osciloscopio, **en el multímetro no vemos la forma de la señal eléctrica**. Solamente accedemos a un valor en el *display* del mismo.



Multímetro  
Extech  
MultiPro 530 True RMS

Display



Resistencia

Temperatura

Capacidad

Tensión

Terminales para medir corriente

Conmutador para medir frecuencia

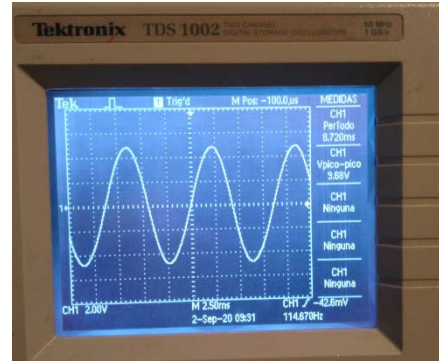
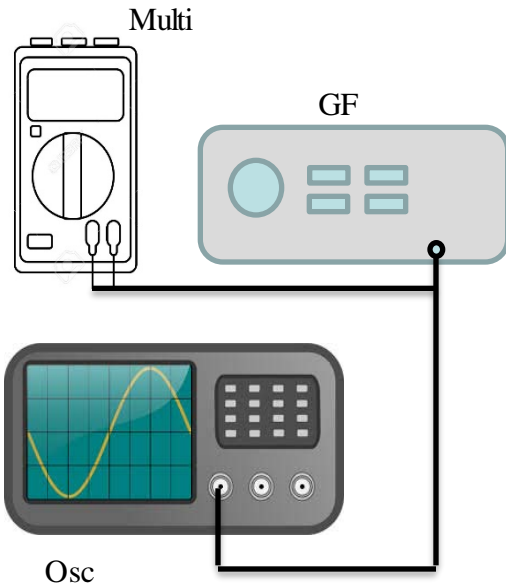
Corriente

$V_o$



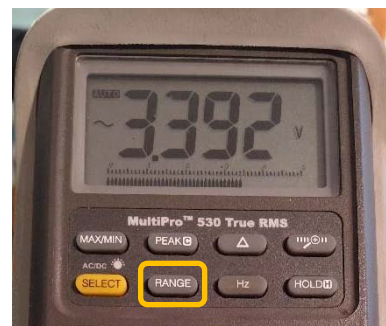


- A diferencia del osciloscopio donde se elige la escala de tensión, en este multímetro se fija automáticamente al encender el equipo



Conmuta para medir frecuencia

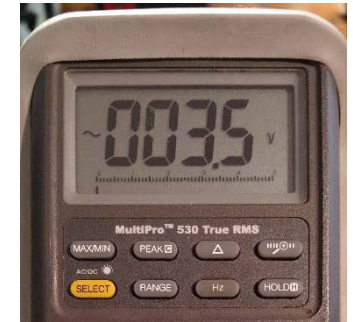
Se puede fijar con la tecla Range la escala de medición (lo que tiene implicancia en los errores de lectura)




Escala 5.000 V



Escala 50.00 V



Escala 500.0 V

- Breve introducción sobre ondas
- ¿Cómo podemos generar ondas en el Laboratorio ?
- Generador de Funciones/Señales
- Osciloscopio
- Multímetro (Tester)
- Errores instrumentales 
- ¿Hay correlación entre lo que mide el osciloscopio y el multímetro ?

# Osciloscopios Tektronix TDS 210

## Tektronix TDS 1002

¿Como estimar el error en tensión?

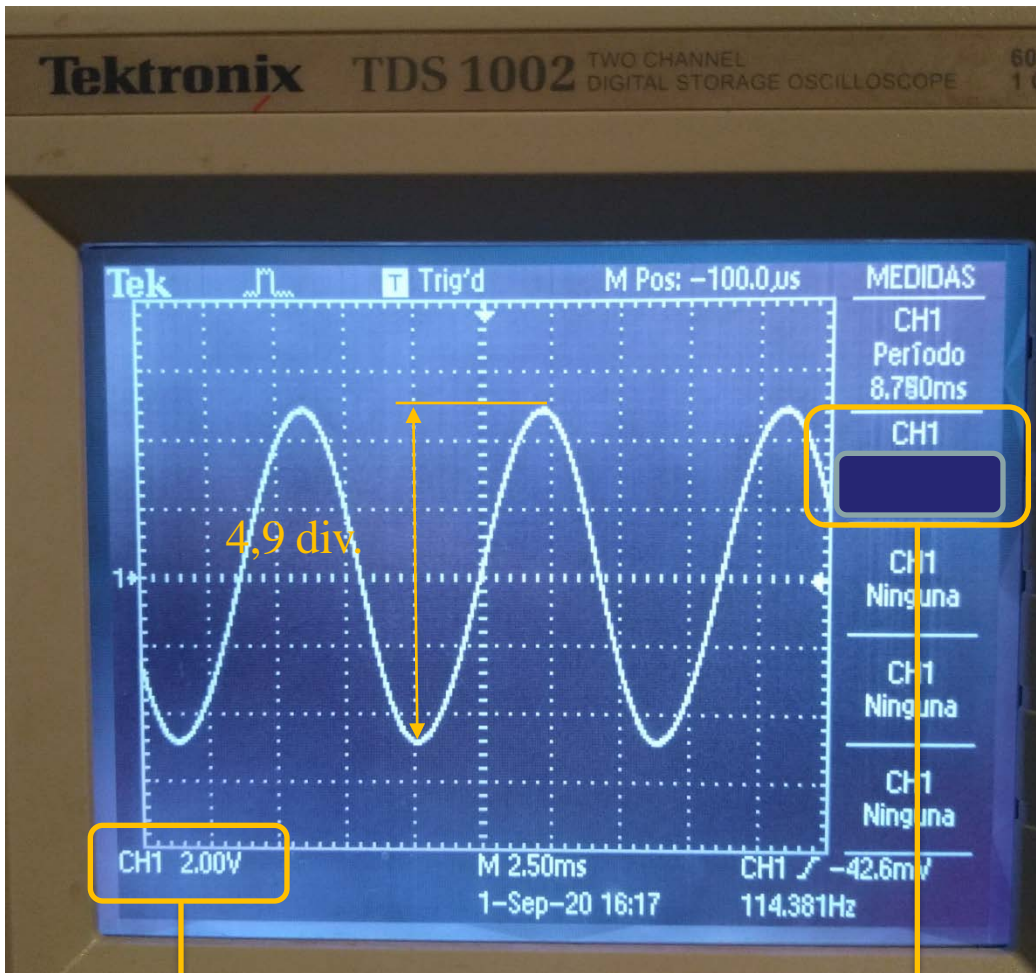
Precisión de medida de CC, modo de adquisición promediado	<i>Tipo de medida</i>	<i>Precisión</i>
	Promedio de $\geq 16$ formas de onda con posición vertical en cero	$\pm(3\% \text{ de lectura} \times + 0,1 \text{ div} + 1 \text{ mV})$ cuando se ha seleccionado 10 mV/div o más
	Promedio de $\geq 16$ formas de onda con posición vertical distinta de cero	$\pm[3\% \times (\text{lectura} + \text{posición vertical}) + 1\% \text{ de posición vertical} + 0,2 \text{ div}]$ Añada 2 mV para valores entre 2 mV/div y 200 mV/div. Añada 50 mV para valores entre $> 200 \text{ mV/div}$ y 5 V/div.
Repetibilidad de la medida de voltios, modo de adquisición promediado	Voltios de diferencia entre cualquiera de dos promedios de $\geq 16$ formas de onda adquiridas con la misma configuración y en las mismas condiciones ambientales	$\pm(3\% \text{ de lectura} + 0,05 \text{ div})$

Aplicamos este error al leer el valor de la pantalla (por ej. de la  $V_{pp}$ )

## ¿Como estimar el error en el eje temporal?

Precisión de medida del tiempo de diferencia (ancho de banda completo)	Condiciones	Precisión
	Disparo único, modo de muestreo	$\pm(1 \text{ intervalo de muestreo} + 100 \text{ ppm de lectura} \times + 0,6 \text{ ns})$
	> 16 promedios	$\pm(1 \text{ intervalo de muestreo} + 100 \text{ ppm de lectura} \times + 0,4 \text{ ns})$
	Intervalo de muestra = $s/\text{div} \div 250$	
Rango de posiciones	TDS1002, TDS1012, TDS2002, TDS2012 y TDS2014	
	De 5 ns/div a 10 ns/div	$(-4 \text{ div} \times s/\text{div}) \text{ a } 20 \text{ ms}$
	De 25 ns/div a 100 $\mu\text{s}/\text{div}$	$(-4 \text{ div} \times s/\text{div}) \text{ a } 50 \text{ ms}$
	De 250 $\mu\text{s}/\text{div}$ a 50 s/div	$(-4 \text{ div} \times s/\text{div}) \text{ a } 50 \text{ s}$
	TDS2022 y TDS2024	
	De 2,5 ns/div a 5 ns/div	$(-4 \text{ div} \times s/\text{div}) \text{ a } 20 \text{ ms}$

Aplicamos este error al leer el valor de la pantalla (por ej. Del periodo)



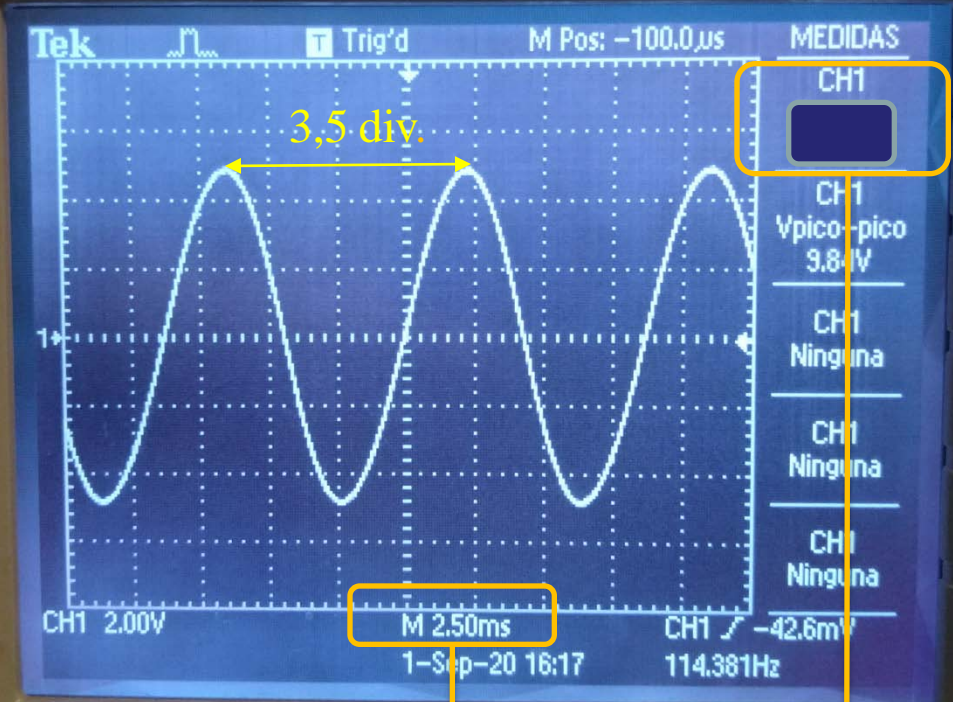
Escala (V/div)

Medición del multímetro  
interno del osciloscopio  
9,84 V  
¿error?

$(9,84 \pm 0,40) V$

- ✓ Si queremos leer la  $V_{pp}$ , contamos la cantidad de divisiones en la grilla vertical de la pantalla.
- ✓ Escala vertical = 2,00 V/div
- ✓ Lectura :  $(4,9 \text{ div} * 2,00 \text{ V/div}) = 9,80 \text{ V}$
- ✓ ¿Error ? Espesor del trazo de la curva (0,1 div aprox)
- ✓ Error =  $\pm 0,2 \text{ div} \rightarrow \pm 0,2 \text{ div} * 2,00 \text{ V/div} = \pm 0,4 \text{ V}$
- ✓  $(9,8 \pm 0,4) V$

- ✓  $\pm (3\% \text{ lectura} + 0,05 \text{ div})$
- ✓  $\pm (3\% 9,84 \text{ V} + 0,05 \text{ div})$
- ✓  $\pm (0,2952 \text{ V} + 0,05 \text{ div} * 2 \text{ V/div})$
- ✓  $\pm (0,2952 + 0,1) \text{ V} = 0,3952 \text{ V}$



Escala (ms/div)

Medición del multímetro interno del osciloscopio  
8,750 ms  
¿error?

**(8,750 ± 0,011) ms**

Calculen la frecuencia el error en la frecuencia

- ✓ Para estimar el período T, contamos la cantidad de divisiones entre crestas en la grilla horizontal de la pantalla.
- ✓ Escala horizontal = 2,5 ms/div
- ✓  $T : (3,5 \text{ div} * 2,5 \text{ ms/div}) = 8,75 \text{ ms}$
- ✓ ¿Error? Espesor del trazo de la curva (0,1 div aprox)
- ✓ Error =  $\pm 0,2 \text{ div} \rightarrow \pm 0,2 \text{ div} * 2,5 \text{ ms/div} = \pm 0,5 \text{ ms}$
- ✓  **$T = (8,75 \pm 0,50) \text{ ms}$**

- ✓  $\pm (1 \text{ intervalo de muestreo} + 100 \text{ ppm de lectura} + 0,6 \text{ ns})$
- ✓ Intervalo de muestra =  $(s/\text{div}) / 250$
- ✓  $\pm (0,01 + 8,75 \cdot 10^{-4} + 0,6 \cdot 10^{-6}) \text{ ms}$
- ✓  $\pm 0,011 \text{ ms}$

# Multímetro Extech MultiPro 530 True RMS

## AC VOLTAGE

RANGE	Accuracy
<b>50Hz/60Hz</b>	
50.00mV, 500.0mV, 5.000V, 50.00V, 500.0V, 1000V	0.5% + 3d
<b>40Hz to 500Hz</b>	
50.00mV, 500.0mV	0.8% + 3d
5.000V, 50.00V, 500.0V	1.0% + 4d
1000V	1.2% + 4d
<b>Up to 20kHz</b>	
50.00mV, 500.0mV	0.5dB*
5.000V, 50.00V, 500.0V	3dB*
1000V	Unspecified

## FREQUENCY

Accuracy: 0.01% + 2d

$$\text{dB} = 20 \log_{10} \frac{V_1}{V_2}$$

- Ejemplo : 235,7 mV a una frecuencia de 125,2 Hz
- Según el manual el error lo calculo como : 0.8 % + 3 dígitos
- Se debe calcular el 0.8% de la lectura y agregar 3 dígitos en la última columna mostrada en el multímetro.
- Si se lee 235.7 mV se hace el siguiente cálculo

$$(235.7 * 0.008) + (3*0.1) = 2.1856 \approx 2,2$$


y entonces el valor a informar es

$$(235.7 \pm 2.2) \text{ mV}$$

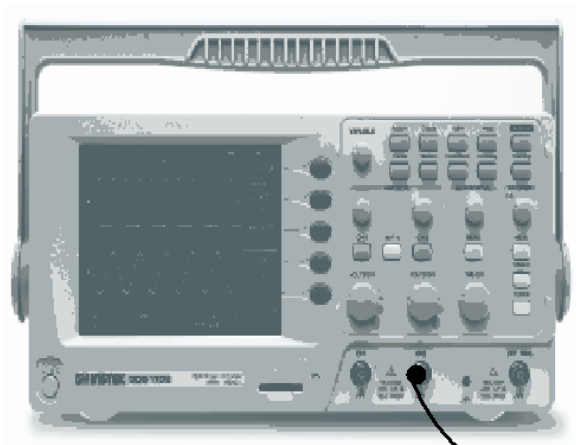
- $f = 125,2 \text{ Hz}$  . Según el manual : 0.01 % + 2d  $\longrightarrow$   $(0,0001*125,2) + (2*0,1) \approx 0,2 \text{ Hz}$

y entonces el valor a informar es

$$(125 \pm 0.2) \text{ Hz}$$

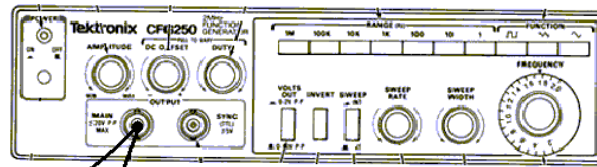
- Breve introducción sobre ondas
- ¿ Cómo podemos generar ondas en el Laboratorio ?
- Generador de Funciones/Señales
- Osciloscopio
- Multímetro (Tester)
- Errores instrumentales
- ¿ Hay correlación entre lo que mide el osciloscopio y el multímetro ? 





OSCILOSCOPIO

GENERADOR DE FUNCIONES

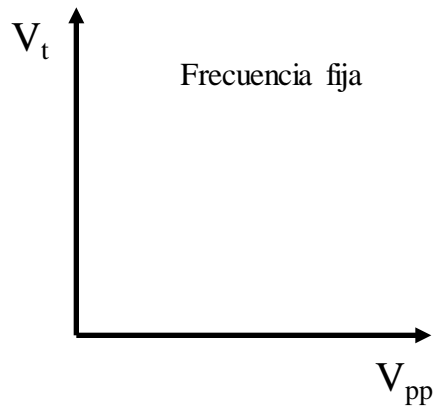


MULTIMETRO



- ✓ Medir la relación entre tensión pico a pico ( $V_{pp}$ ) del osciloscopio y la tensión  $V_t$  en el multímetro en la opción tensión alterna (entre 0.5 y 20 Volts )
- ✓ Hacerlo para frecuencias del orden 10 Hz, 100 Hz, 1 KHz, 10 kHz, 100 KHz y 1 MHz.
- ✓ ¿Cómo es la relación entre  $V_{pp}$  y  $V_t$  ?

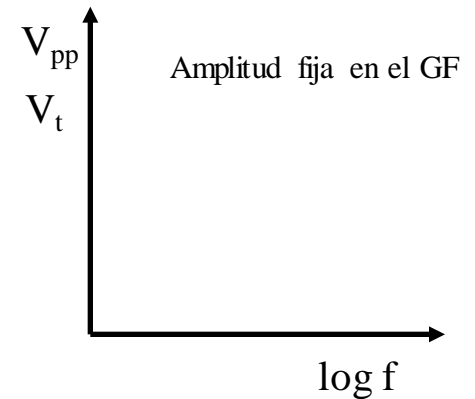
- Realizar un gráfico  $V_{pp}$  vs  $V_t$  para cada frecuencia.



Si existiese un relación lineal, ajustar la ecuación de la recta correspondiente y tabular la pendiente en función de la frecuencia.

- Graficar para una tensión fija  $V_{pp}$  (por ejemplo 10 Volts), la tensión  $V_t$  en función de la frecuencia en un gráfico semilogarítmico.

¿Qué conclusión se puede extraer ?



- No olvidar las barras de errores en los gráficos.
- ¿Qué mide el multímetro en el modo tensión alterna ?
- ¿Que sucede si la tensión tiene forma de onda cuadrada o triangular ?
- En la clase de Consultas vamos a charlar sobre lo que averiguaron !!!!