



U.B.A. FACULTAD DE INGENIERÍA

Departamento de Electrónica

LABORATORIO 66-02

Informática

TRABAJO PRÁCTICO N° 2

OSCILOSCOPIOS

**Curso 2020 - 2do Cuatrimestre
Turno : 001**

GRUPO N°1	
APELLIDO, Nombres	N° Padrón
GONZÁLEZ, Matías Ignacio	104913
GANDOLFO MARIET, Joaquín	102592
PÉREZ LEIRAS, Agustín Tomás	100972

Fecha de realización:	
Fecha de aprobación:	
Calificación:	
Firma de aprobación:	

Observaciones:

ÍNDICE

Objetivos	2
Parte A) Mediciones	2
1- Inicialización	2
2- Modo de disparo normal y automático	3
3- Medición sobre un circuito externo	17
3.1- Desarrollo teórico preliminar	17
3.2- Realización de las mediciones	18
3.3- Análisis	21
Parte B) Conclusiones	22
Parte C) Bibliografía	23
Parte D) Anexos	24
Anexo 1: Consideraciones Preliminares	24
1- Diagrama de bloques	24
2- Controles del osciloscopio	27
3- Errores	29
4- Efecto de carga	30
5- Incertidumbre	32
6- Ancho de banda	33
7- Rango dinámico	33
8- Circuito R-C	34
Anexo 2: Mediciones Complementarias	36

Objetivos

Los objetivos del presente trabajo son que el estudiante se familiarice con las propiedades, aplicaciones y utilización del osciloscopio como instrumento de visualización y medición de formas de onda. Se pretende además que el estudiante tenga destreza en la realización de mediciones elementales. Así también se desea que el estudiante logre comparar el modelo teórico planteado en cada etapa del trabajo con las mediciones obtenidas y saque conclusiones.

Parte A) Mediciones

1- Inicialización

Ubique un punto luminoso en el centro de la pantalla y explique su utilidad. Comente el procedimiento utilizado, indicando los controles involucrados.

La utilidad de ubicar un punto luminoso en la pantalla es corroborar que este se ubique en el centro de la misma. Ya que el funcionamiento del osciloscopio se basa en un tubo de rayos catódicos, con un haz de electrones que es desviado oportunamente por las placas de deflexión horizontales y verticales, cualquier diferencia de potencial no deseada entre estas placas perjudica cualquier medición que se haga posteriormente.

En otras palabras, se calibra el origen del osciloscopio.

Calibrando el origen en eje X:

- Conectar una señal cualquiera al CH1

- Acoplar CH2 en GND

- Seleccionar modo XY con CH2 como la entrada X

Se visualizará en pantalla una línea vertical, ajustando el control de posición del CH2 se puede determinar el origen del eje X.

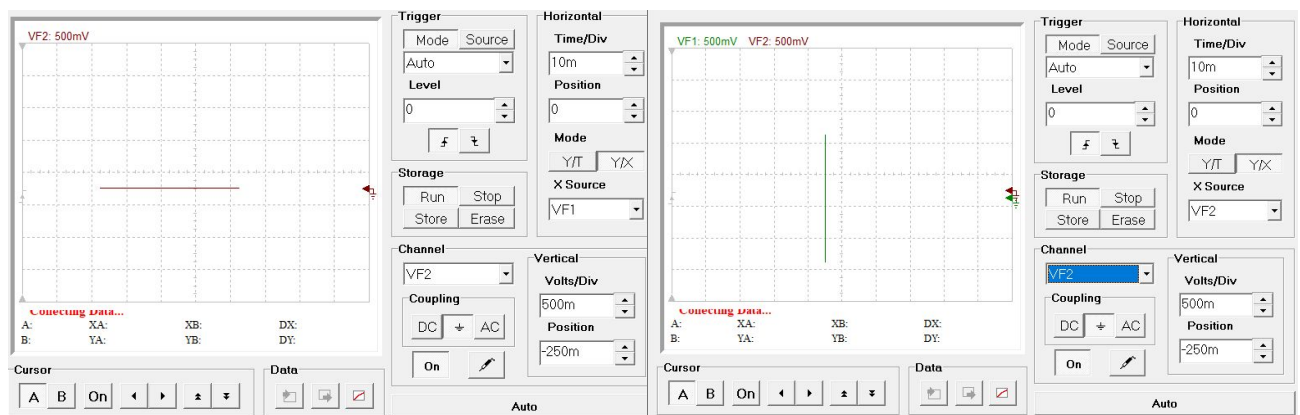
Calibrando el origen en eje Y:

- Conectar una señal cualquiera al CH1

- Acoplar CH2 en GND

- Seleccionar modo XY con CH1 como la entrada X

Se visualizará en pantalla una línea horizontal, ajustando el control de posición del CH2 se puede determinar el origen del eje Y.



2- Modo de disparo normal y automático

Con el fin de mostrar el funcionamiento del sistema de disparo del osciloscopio, se pide generar una señal de amplitud pico-a-pico de 2 V, con una frecuencia de 1 kHz que tenga además una tensión continua de 2 V (offset) provista por el generador de funciones (tal como muestra la Figura 1). Sincronice dicha señal en el osciloscopio y grafique para la configuración inicial de la Tabla 1.

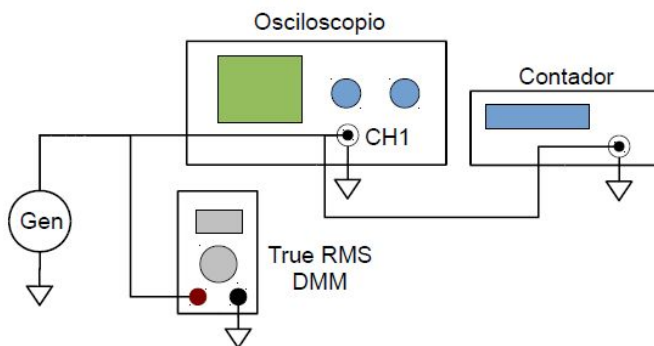


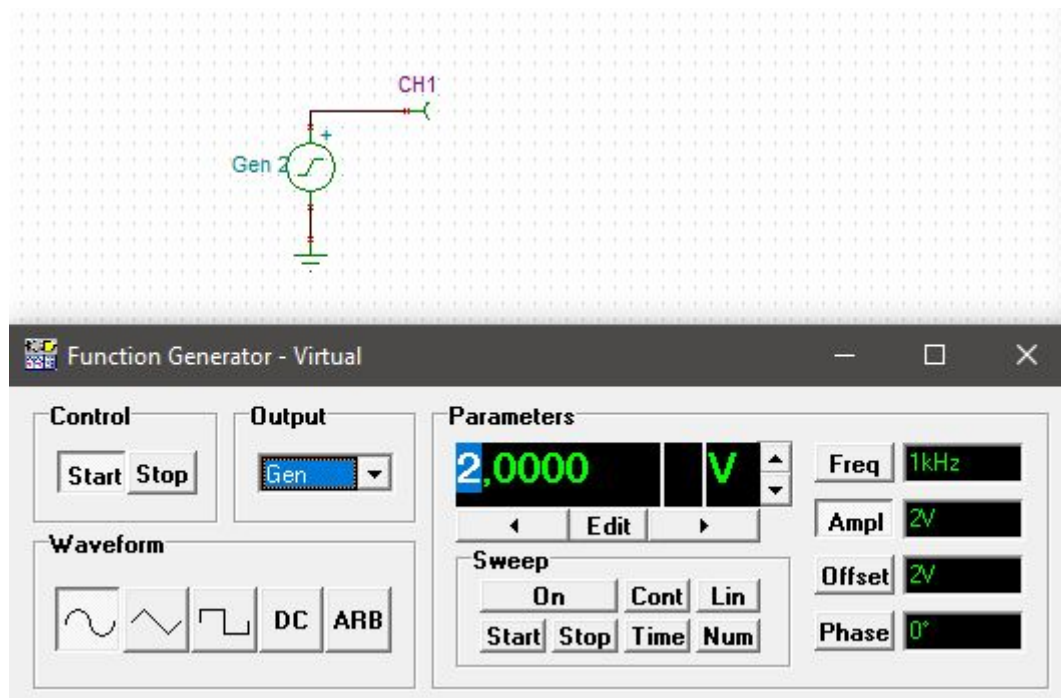
Figura 1 - Banco de trabajo para la medición de tensión y frecuencia.

Control	Configuración
Trigger LEVEL	0 V
Trigger SLOPE	+ (Positivo)
Trigger MODE	Auto
VOLT / DIV	0,5 V
TIME / DIV	0,2 ms
POSITION (Vertical)	0 V al centro

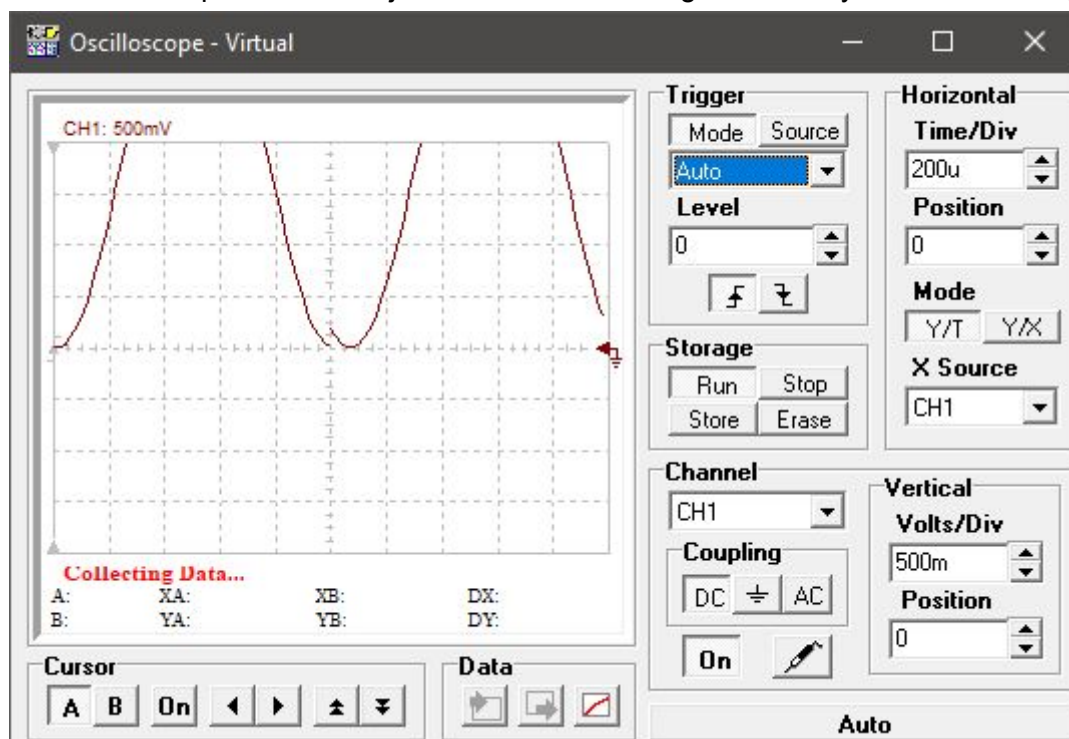
Tabla 1 - Configuración del osciloscopio.

- ¿Qué sucede en el trayecto si se incrementa lentamente el Trigger LEVEL hasta 3 V?
- Probar todas las combinaciones posibles entre el acoplamiento de entrada (AC/DC), el acoplamiento del Trigger (AC/DC) y el modo del Trigger (Normal/Auto). Explicar lo observado en cada caso.
- Si en el punto b) además se varía (lentamente) el control POSITION vertical, ¿Se pierde el sincronismo? Explique brevemente.

Se simula en TINA el banco de medición, con un generador de funciones que entrega una onda senoidal según las características indicadas y un output de tensión denominado oportunamente CH1 ya que esta será la entrada al canal 1 del osciloscopio virtual.



En el osciloscopio virtual se ajustan los controles según la tabla y se observa lo siguiente:

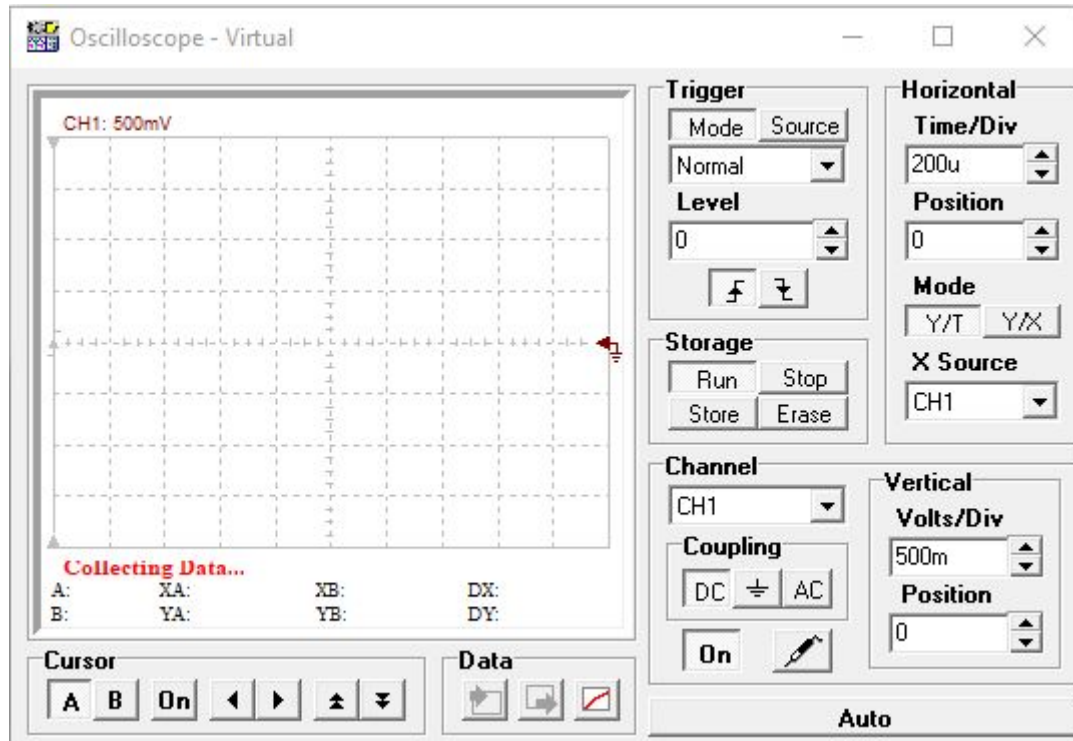


La onda observada en la pantalla no es estática, está en continuo movimiento. Esto se debe a que en este simulador, el modo AUTO siempre dispara una señal de barrido cualquiera independientemente de si se alcanza el nivel de disparo. En la realidad, la onda debería observarse estática ya que la señal alcanza el nivel seleccionado por LEVEL. En cambio, si se selecciona el modo NORMAL, la onda solo se dibuja si se alcanza el LEVEL seleccionado, en concordancia con el funcionamiento de un osciloscopio análogo real.

a)

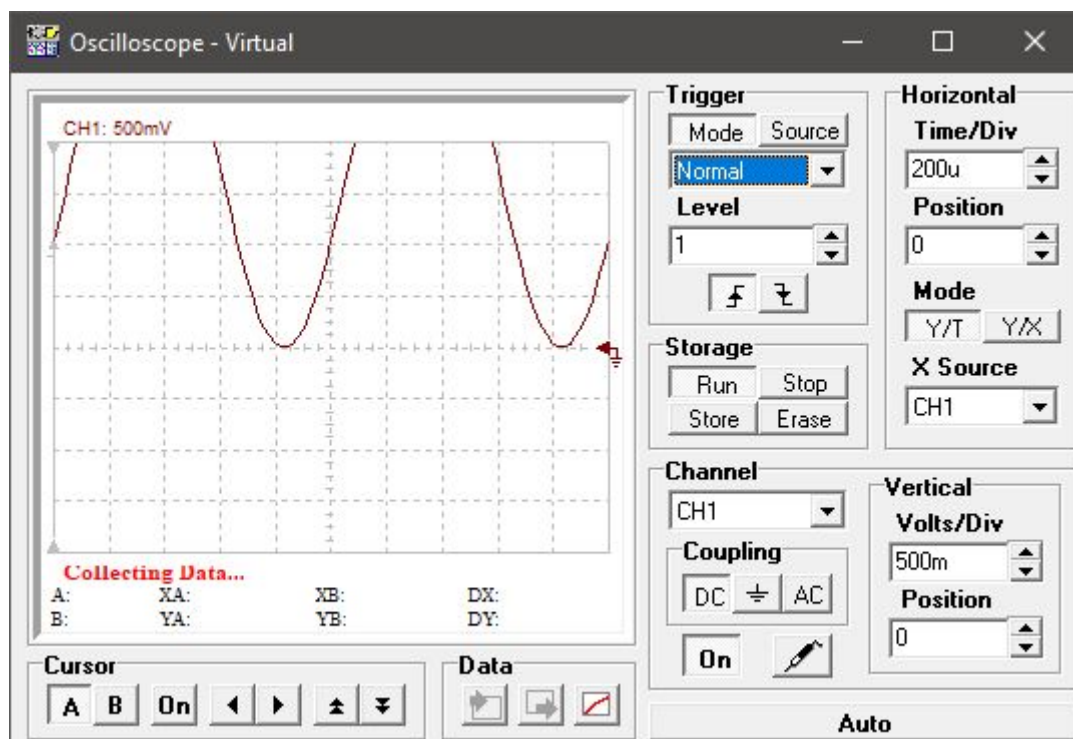
NORMAL - LEVEL: 0

La onda no se dibuja ya que el LEVEL se halla precisamente en el límite de los valores de amplitud que toma la onda.



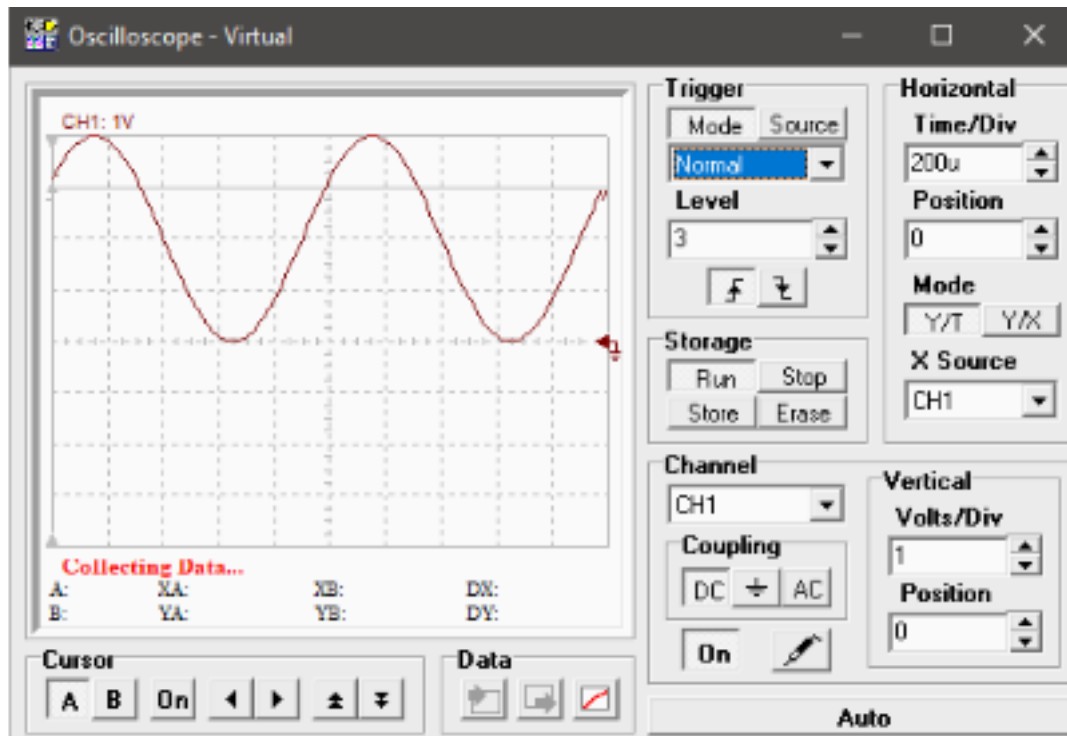
NORMAL - LEVEL: 1V

Se dispara el barrido apropiadamente, sincronizando la onda que queda estática en pantalla. Se puede ver que el barrido se dispara cuando la onda alcanza el valor 1V en flanco ascendente



NORMAL - LEVEL: 3V

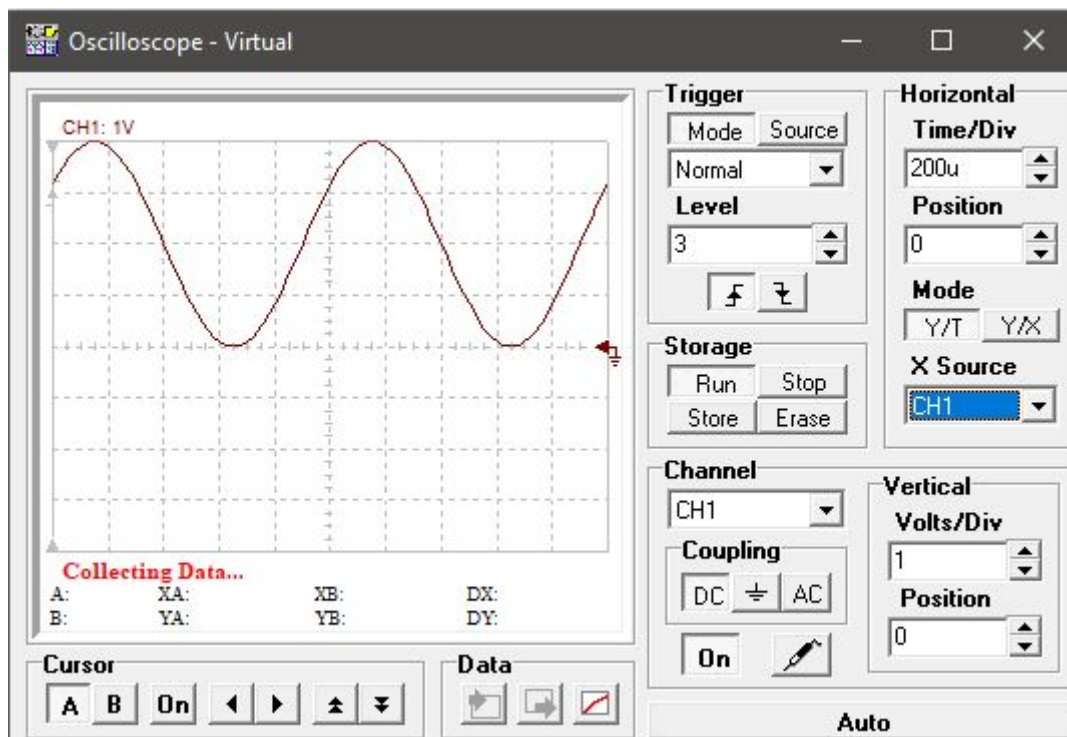
Ajustando la escala vertical a 1V/Div para poder observar la onda entera en pantalla, se ve como el barrido se dispara cuando la onda alcanza el valor 3V.



b)

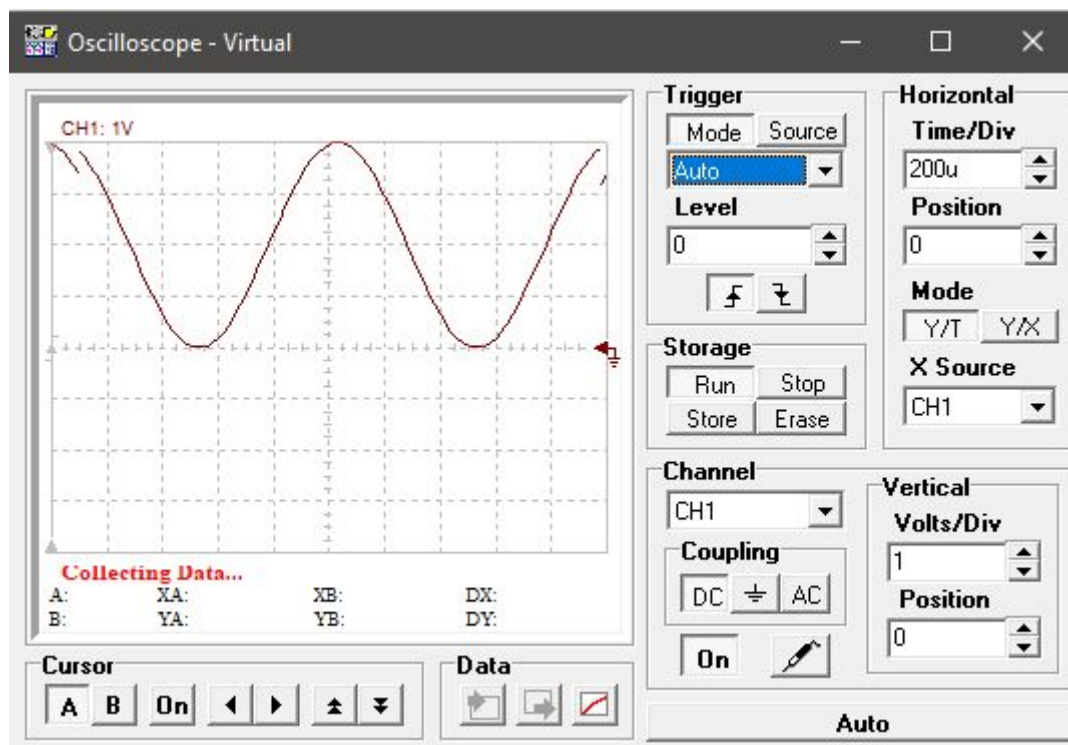
Acoplamiento de entrada DC

Modo de disparo NORMAL



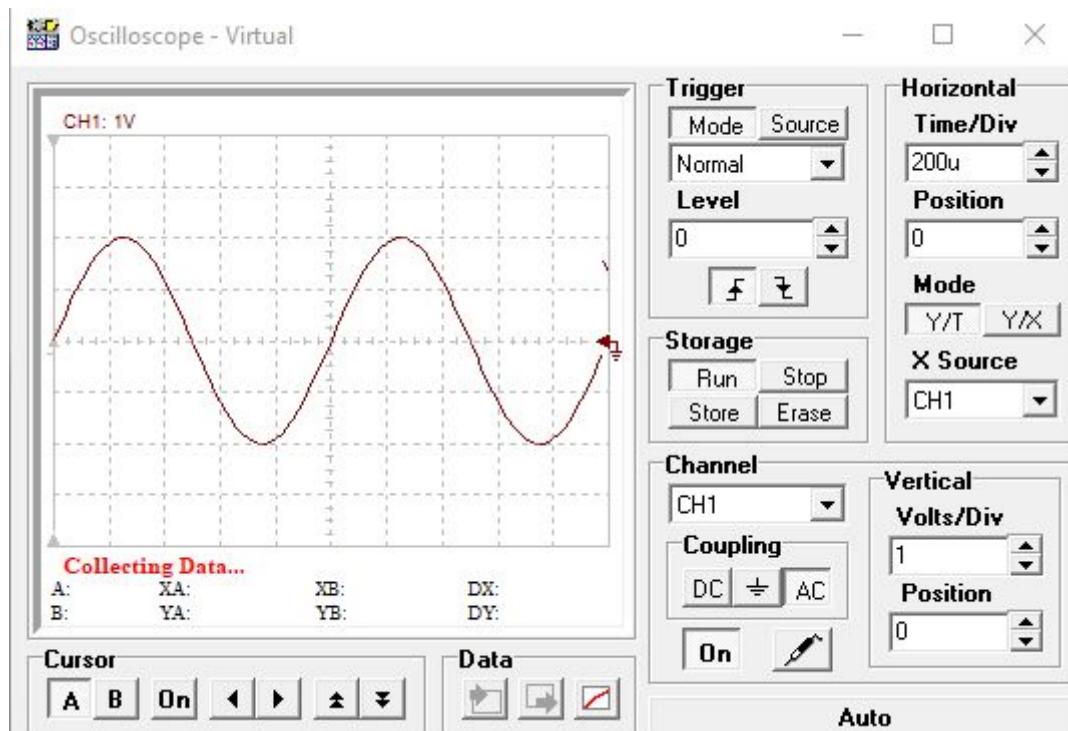
Acoplamiento de entrada DC

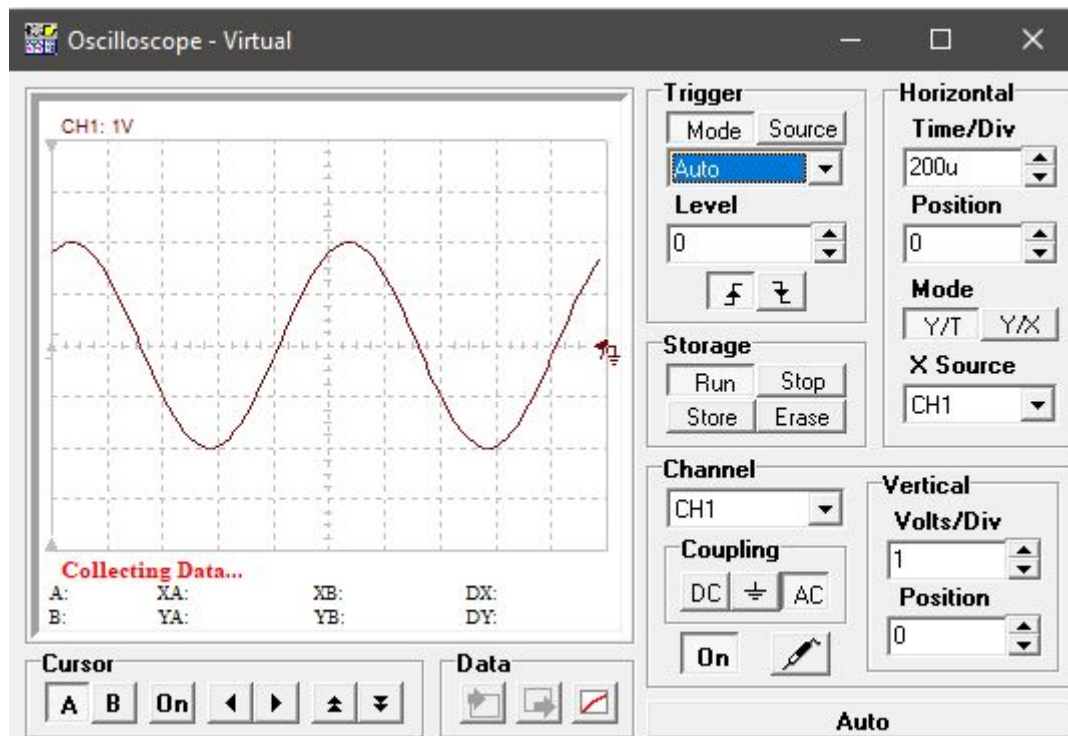
Modo de disparo AUTO



Acoplamiento de entrada AC

Modo de disparo NORMAL



**Acoplamiento de entrada AC
Modo de disparo AUTO**

Siempre que se selecciona el modo AUTO, como se explicó anteriormente, la onda no se sincroniza con el sistema horizontal por lo que no se observa estática en la pantalla. Sin importar el LEVEL seleccionado.

En acoplamiento AC, se filtra la componente continua de la onda, que en este caso es 2V. Se ve que la onda ahora es una senoide que va de -2V a +2V.

El simulador no ofrece la opción de cambiar el acoplamiento del disparo, siempre es en modo DC. El modo AC sirve para que se tenga en cuenta sólo la componente alterna de la onda a efectos del disparo.

c) El control POSITION agrega un offset a la señal vertical, pero antes de esto, se bifurca la señal al canal horizontal, por lo que esto no tiene efecto en el barrido. Es decir, no se pierde el sincronismo.

Modo X-Y y figuras de Lissajous

Se desea mostrar en la pantalla del osciloscopio la relación de fase que hay entre dos señales, mediante el funcionamiento del modo X-Y. Usando el circuito de la Figura 2, un filtro pasa bajos (provisto por el docente).

Conecte el generador al Canal 1 del osciloscopio y a la entrada del circuito (puntos 1-2). Conecte la salida del circuito al otro canal de osciloscopio, luego seleccione el modo vertical en X-Y. Varíe la frecuencia del generador, de manera de obtener desfases aproximados de 0° , 45° y 90° (ver Figura 3), Indique en una tabla los valores obtenidos. Realice un análisis teórico que permita verificar los resultados obtenidos.

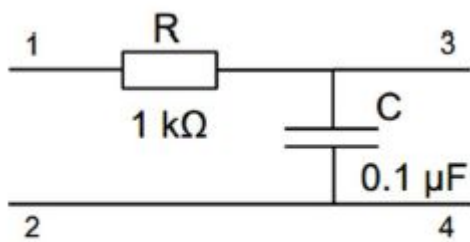


Figura 2 - Filtro pasa bajos a medir.



Figura 3 - Figuras de Lissajous correspondientes a los distintos desfases mencionados.

Se realizará primero el análisis teórico para poder tener valores de referencia al momento de simular.

$$V_{1-2}(t) = V_g(t) = A \cdot \sin(\omega t)$$

$$V_{3-4}(t) = V_C(t) = V_g(t) \cdot \frac{Z_C}{Z_C + Z_R}$$

$$V_C(t) = V_g(t) \cdot \frac{\frac{1}{j\omega C}}{\frac{1}{j\omega C} + R} = V_g(t) \cdot \frac{1}{1 + j\omega RC}$$

El desfase φ es la fase de V_g/V_C

$$\frac{V_g(t)}{V_C(t)} = 1 + j\omega RC$$

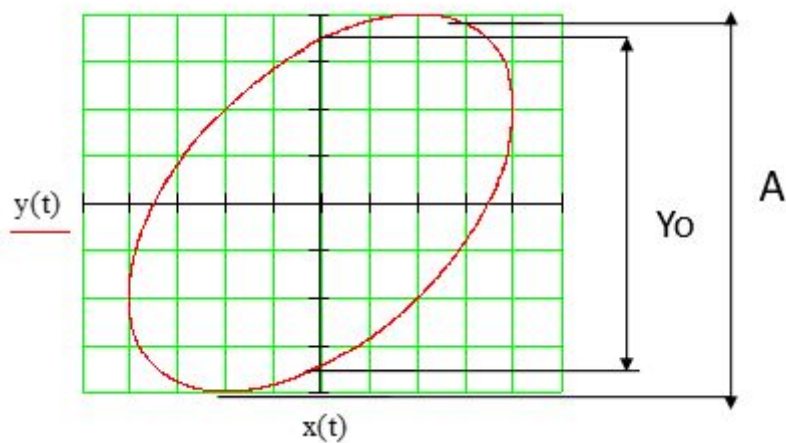
$$\tan(\varphi) = \omega RC$$

En este caso, $RC = 100 \mu s$

$$\tan(\varphi) = 100 \mu s \cdot 2\pi \cdot f = 628,32 \mu s \cdot f$$

φ	f teórico
0°	0 Hz
45°	1,592 kHz
90°	$\rightarrow \infty$

Para el desarrollo práctico, hay que conocer la siguiente relación de las figuras de Lissajous:



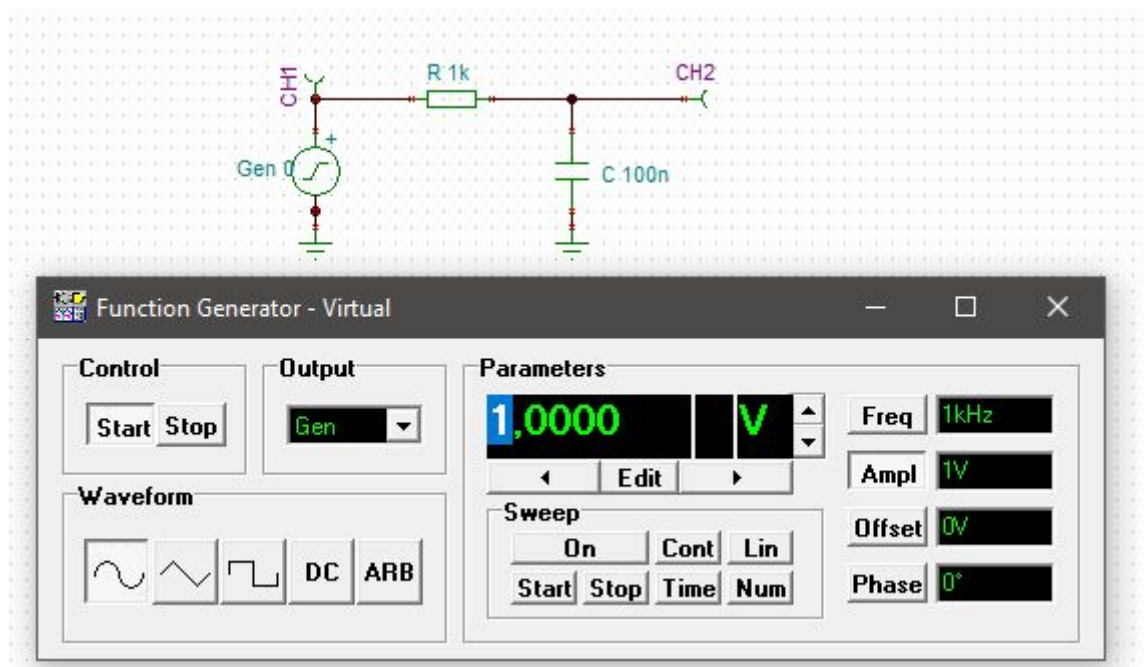
$$\varphi = \arcsen\left(\frac{Y_0}{A}\right)$$

Por lo tanto cuando la elipse degenera en una recta, $Y_0 = 0$ y por lo tanto $\varphi = 0^\circ$.

Cuando la elipse se convierte en una circunferencia, $Y_0 = A$ y por lo tanto $\varphi = 90^\circ$.

Y para el caso en que $Y_0/A = 1/\sqrt{2}$, $\varphi = 45^\circ$.

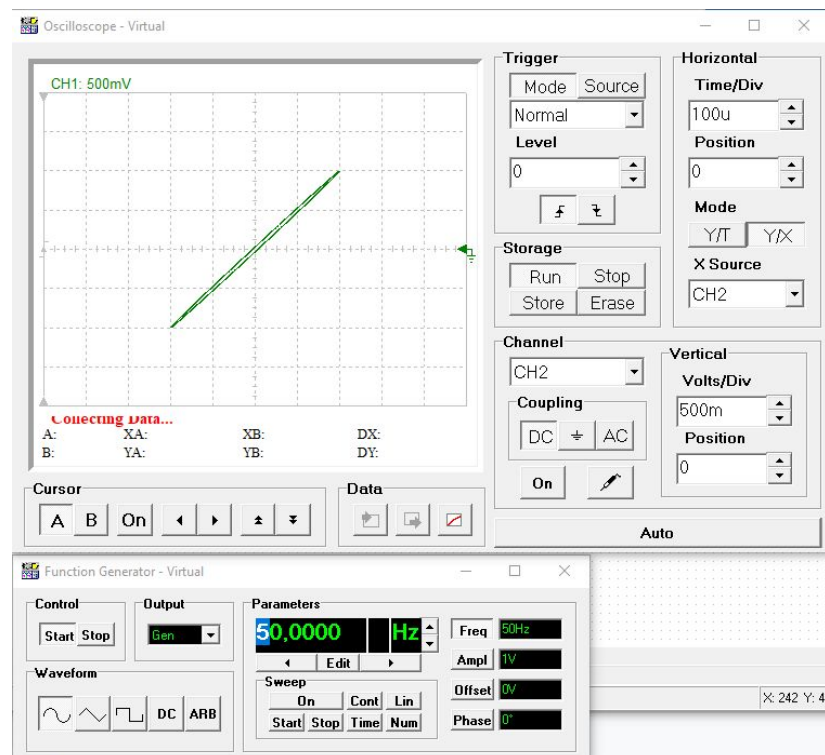
El banco de medición y el generador de funciones en el simulador figuran a continuación:

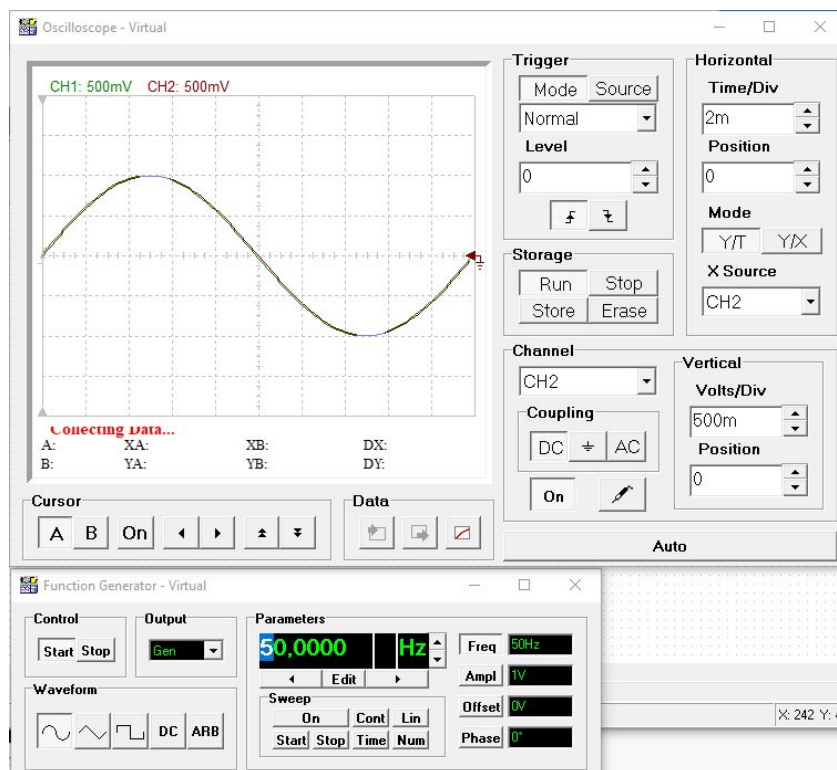


Desfase 0°

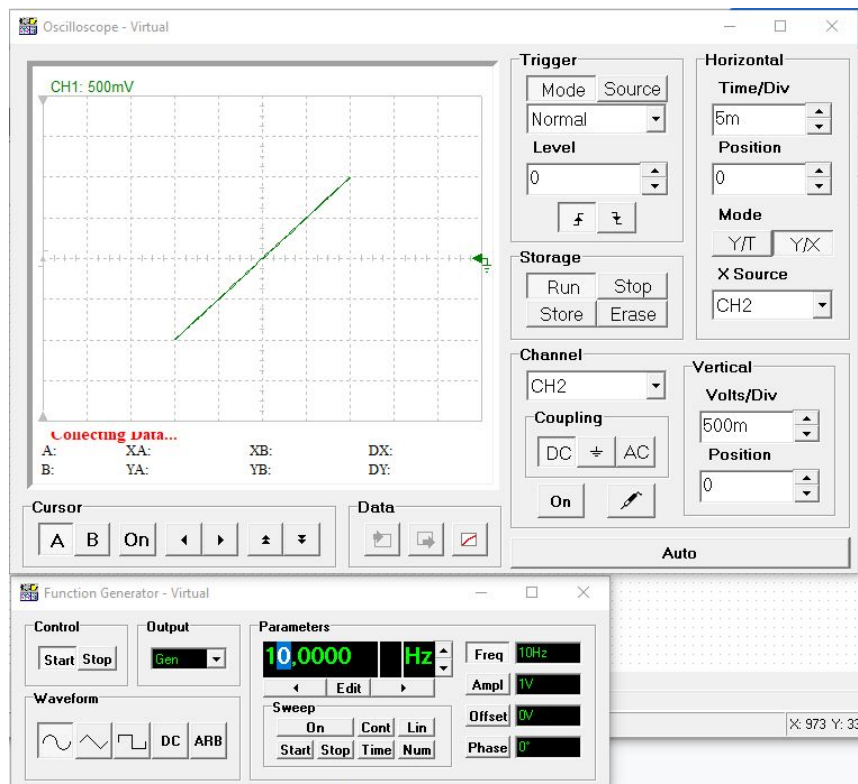
A continuación se irá disminuyendo la frecuencia hasta dejar de apreciar la forma elíptica en la pantalla.

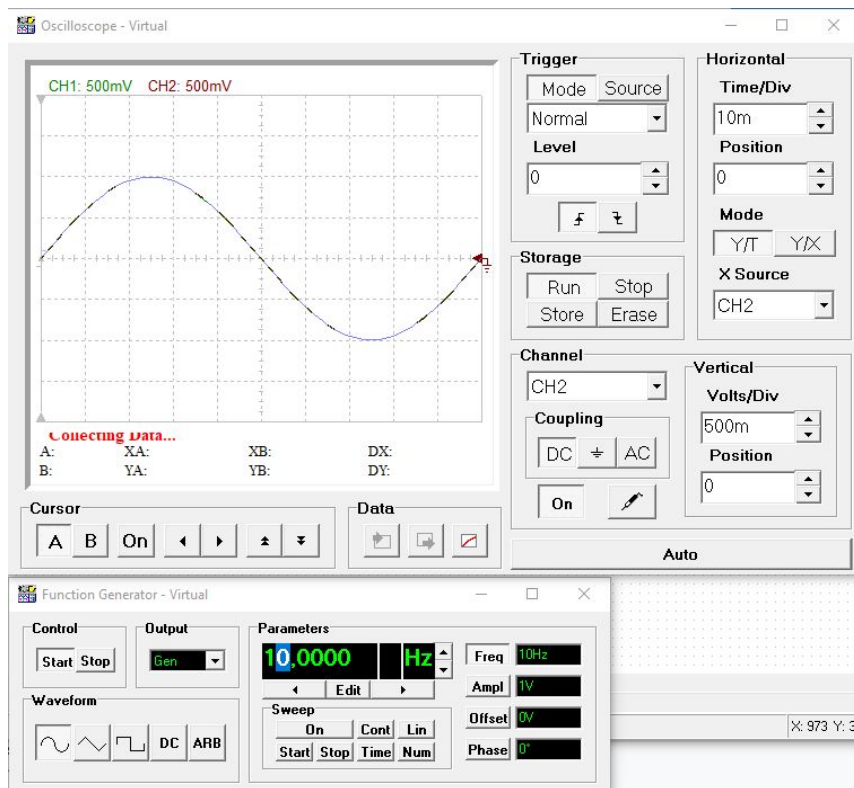
50 Hz:





10 Hz:





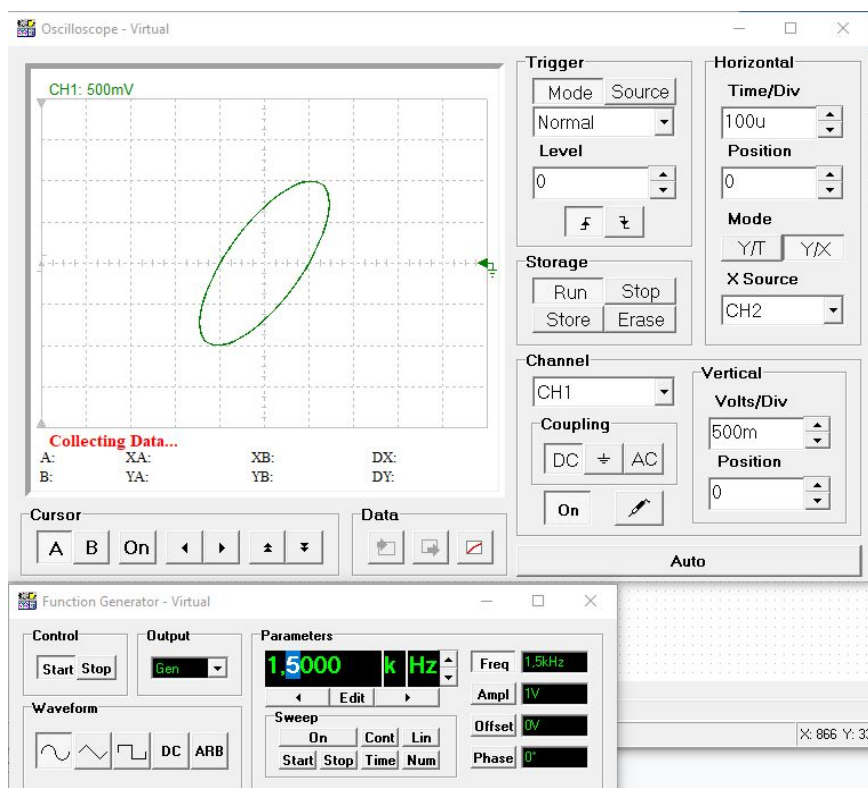
Con 10 Hz de frecuencia, ya se considera imperceptible la forma elíptica en la pantalla. Prácticamente se observa una recta. Ni mencionar el modo Y/T, donde es aún más evidente, a simple vista, que las señales están en fase.

Por lo tanto, se concluye que con una frecuencia de **10 Hz** es imposible detectar un desfase entre las ondas con estas mediciones.

Desfase 45°

Ahora se aproxima la frecuencia a la frecuencia de corte calculada, para la cual el desfase correspondiente es de 45°, y se observa la pantalla.

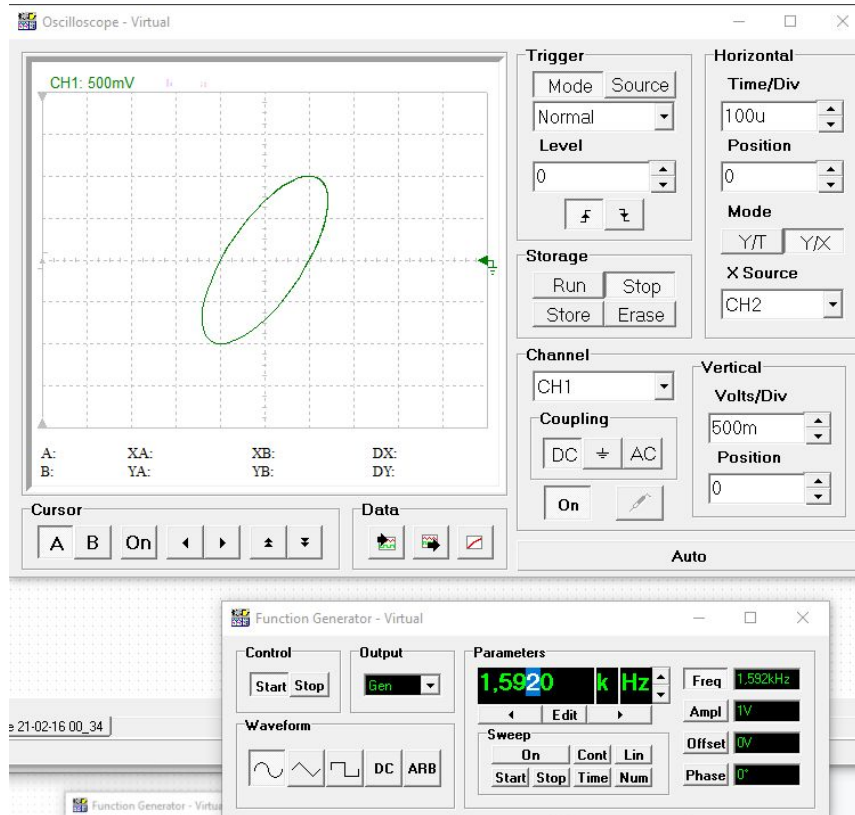
1,5 kHz:



Se observa $Y_0 = 2 * 2$ divisiones = 4 divisiones
y $A = 2 * 5,5$ subdivisiones = 2,75 divisiones

Por lo tanto, $\phi = \arcsin(2,75/4) = 43,43^\circ$

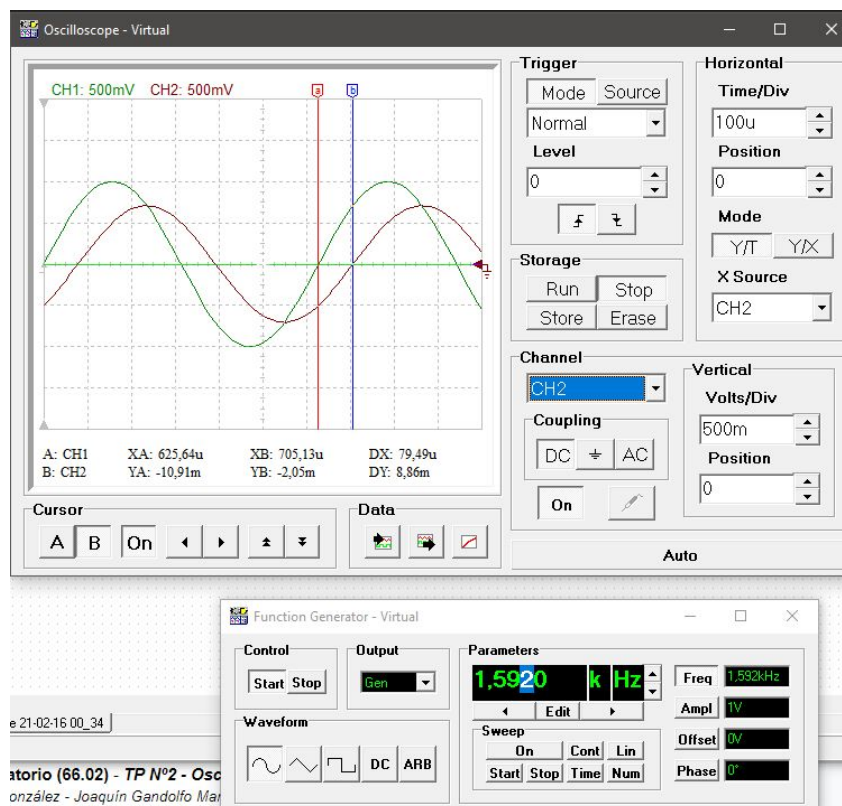
1,592 kHz:



Esta vez, se observa que $A = 2 \cdot 5,70$ subdivisiones = 2,85 divisiones

Por lo tanto, $\varphi = \arcsen(2,85/4) = 45,44^\circ$

Es decir, la frecuencia habría superado a la de corte. Pero la cantidad de subdivisiones contadas sufre de un enorme error de apreciación, aunque el conteo se realizó en una imagen con mucho más zoom



Observando, para esta misma frecuencia, el modo Y/T:

Se observa gracias a los cursores que la onda CH2 está atrasada $79,49 \mu s$ respecto a la onda CH1. Y como el período es $2\pi \cdot 100 \mu s$, se puede calcular el desfase como:

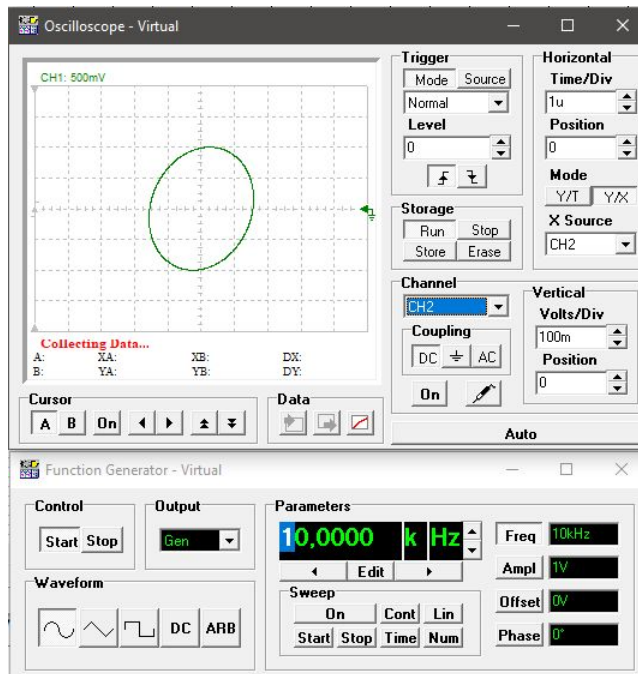
$$\varphi = \frac{79,49 \mu s}{2\pi \cdot 100 \mu s} \cdot 360^\circ = 45,54^\circ$$

Se atribuye la diferencia a errores de medición ya que los cursores no pueden moverse de forma continua.

Desfase 90°:

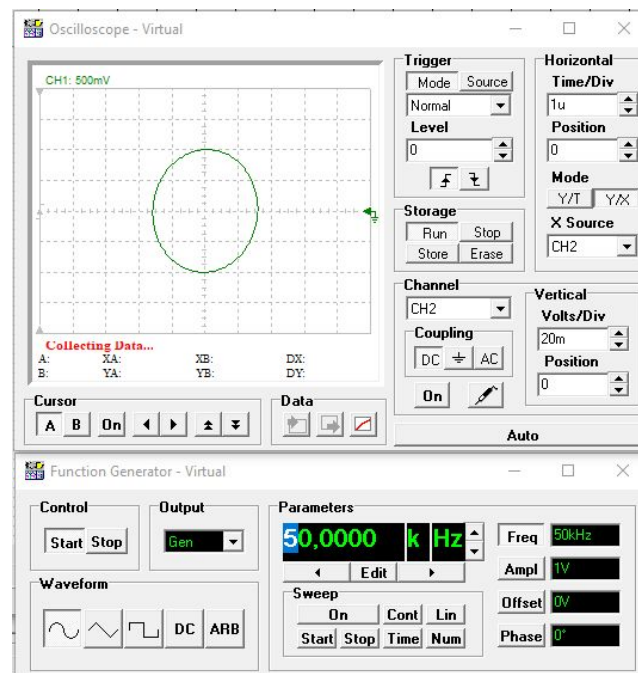
Esta vez se incrementará la frecuencia hasta poder considerar a partir de las mediciones que el desfase entre las ondas es de 90°.

10 kHz:



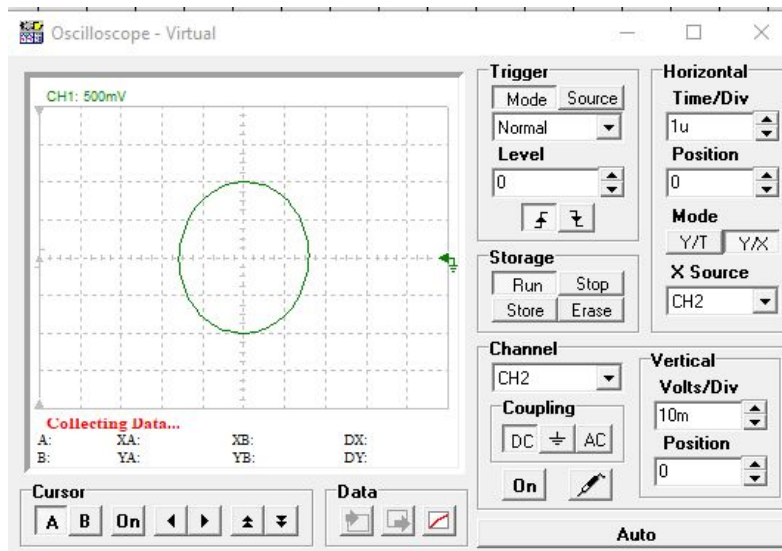
Con una frecuencia de 10 kHz, aún se puede ver que la figura en pantalla es una elipse.

50 kHz:

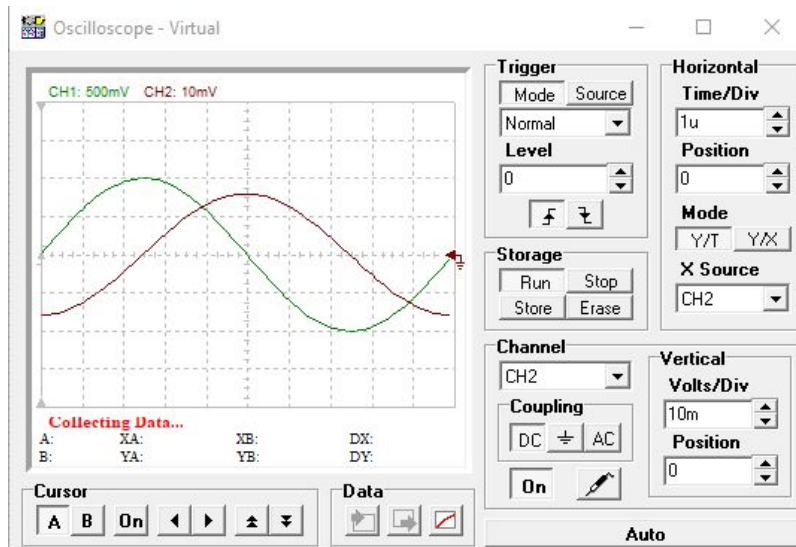
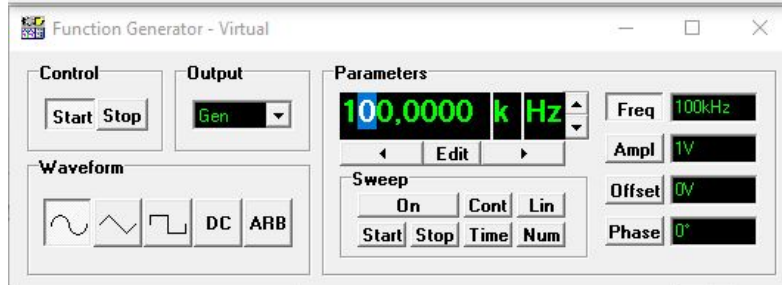


Con una frecuencia de 50 kHz, la figura ya se asemeja mucho a una circunferencia, pero aún puede verse que se trata de una elipse.

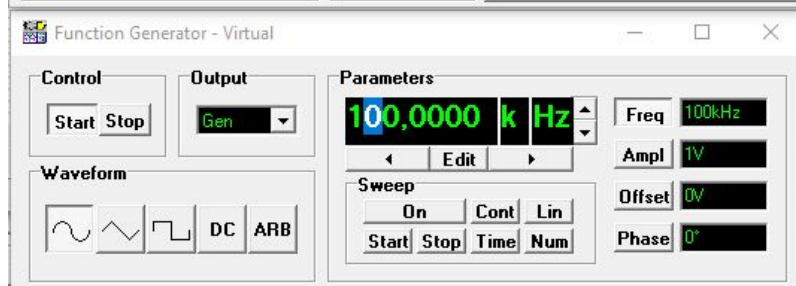
100 kHz:



Finalmente, para la frecuencia **100 kHz**, se considera que lo observado en pantalla es una circunferencia, correspondiente al desfase de **90°**.



Observando, para esta frecuencia, el modo Y/T, se puede ver como la onda CH2 cruza al eje X exactamente dos divisiones y media después que la onda CH1, la cual tiene 10 divisiones de período. Esto corresponde a un desfase $\varphi = 360^\circ / 4 = 90^\circ$



3- Medición sobre un circuito externo

Con el circuito R-C provisto por el docente implemente el banco de medición que se muestra en la Figura 4.

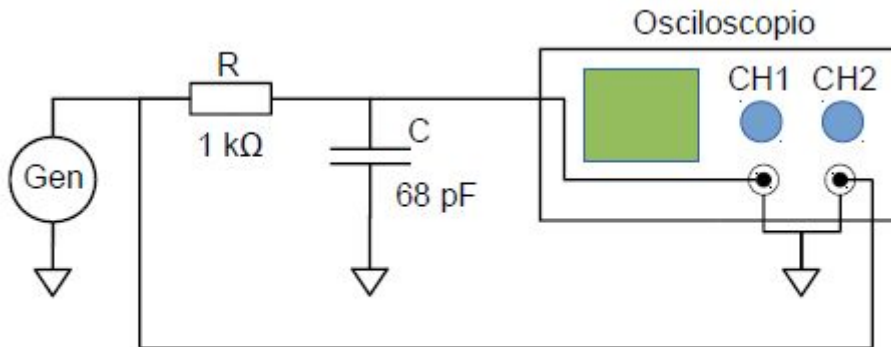


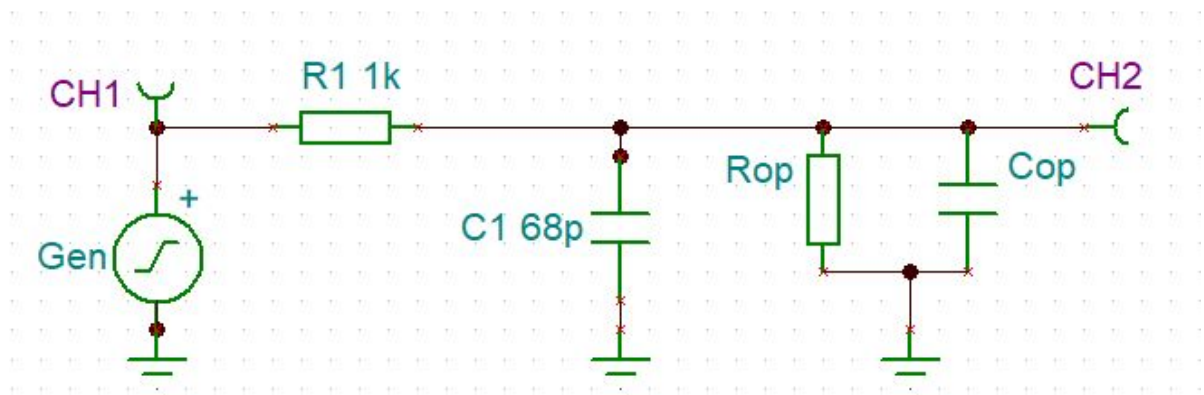
Figura 4 - Banco de medición para el circuito R-C.

3.1- Desarrollo teórico preliminar

Grafique el circuito equivalente. Calcule cuál sería el valor teórico de frecuencia de corte y tiempo de crecimiento para los siguientes casos:

- caso ideal en el que no hay efecto de carga de la punta,
- caso considerando el efecto de carga de la punta 1:1 (x1),
- caso considerando el efecto de carga de la punta 10:1 (x10).

El circuito equivalente es el siguiente:



Donde R_{op} y C_{op} dependen del caso estudiado.

Se sabe para un circuito RC: $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$ y $t_r = \frac{2,2}{2\pi f_c}$

Donde R será el paralelo entre R_{op} y R_1 , y C será el paralelo entre C_{op} y C_1

a)

En este caso, $R_{op} = \infty$ y $C_{op} = 0$

Por lo tanto, $R = R_{op} // R_1 = R_1 = 1k\Omega$ y $C = C_{op} // C_1 = C_1 = 68pF$

b)

En este caso, $R_{op} = 1M\Omega$ y $C_{op} = 200pF$

Por lo tanto, $R = R_{op} // R_1 \approx R_1$ y $C = C_{op} // C_1 = C_1 + C_{op} = 268pF$

c)

En este caso, $R_{op} = 10M\Omega$ y $C_{op} = 20pF$

Por lo tanto, $R = R_{op} // R_1 \approx R_1$ y $C = C_{op} // C_1 = C_1 + C_{op} = 88pF$

d)

Si se considera un caso extra donde no hay capacitor, se hace un análisis más completo

$C = 0$

Caso	Frecuencia de corte	Tiempo de crecimiento
a (Punta ideal)	2,31 MHz	149,6 ns
b (Punta X1)	593,9 kHz	589,6 ns
c (Punta X10)	1,81 MHz	193,6 ns
d (Sin capacitor)	$\rightarrow \infty$	0

3.2- Realización de las mediciones

a) Mida el tiempo de crecimiento de la tensión sobre el capacitor (C) en los siguientes casos, expresando la medición correctamente con su correspondiente incerteza.

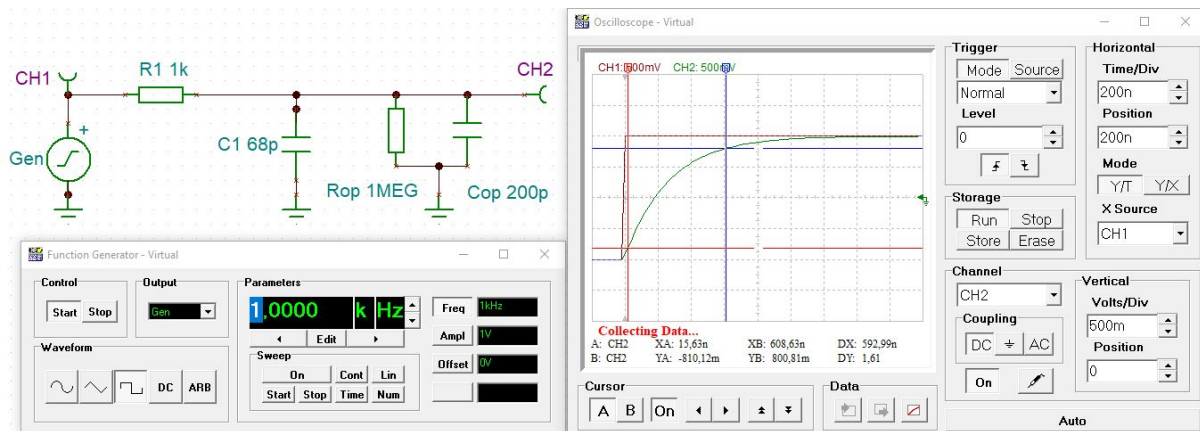
- Con la punta x1
- Con la punta x10

¿Se observan diferencias entre ambas mediciones? De ser así, explique su origen apoyándose en el marco teórico.

Como el simulador no ofrece calibrar las escalas con la opción VAR, se eligieron las escalas que permitieran visualizar el flanco ascendente completo en pantalla con el mayor detalle posible. Luego, usando los cursores, se posicionan en las alturas correspondientes al 10 y al 90% del valor pico-a-pico de la señal (-800 y 800 mV respectivamente) y se observa su diferencia en el eje horizontal DX. Esa diferencia será el tiempo de crecimiento.

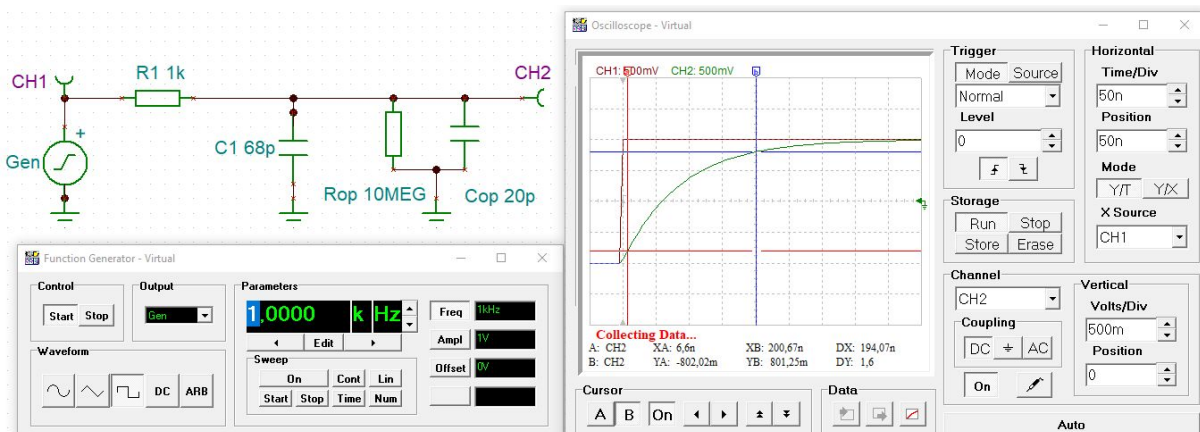
Se puede observar también la señal inalterada como sale del generador en el CH1, viendo que su flanco ascendente es prácticamente vertical comparado al CH2 (en realidad, tiene un tiempo de crecimiento de 1 ns, determinado por el generador de funciones, que es apenas apreciable en la escala utilizada)

Punta X1:



Se obtiene $t_r = 593 \text{ ns}$

Punta X10:



Se obtiene $t_r = 194 \text{ ns}$

Si se tratara de un osciloscopio real, se tendría que incluir en estos mensurandos una incertidumbre correspondiente a la alinealidad (3%), a la inexactitud (3%), y a la apreciación ($0,1 / \text{\#Divisiones leídas}$). Podría considerarse un error de apreciación aún en un simulador pero ya que se están usando los cursores, este también se descarta.

Se obtuvieron tiempos de crecimiento muy distintos, esto se debe a que el circuito equivalente del conjunto punta-osciloscopio posee valores muy distintos para el caso de la punta X1 con respecto a la punta X10, como se vio anteriormente en el cálculo teórico de estos valores. El conjunto punta X1 - osciloscopio tiene una capacitancia equivalente varias veces mayor que el conjunto punta X10 - osciloscopio y esto trae consigo un tiempo de crecimiento varias veces menor.

Los valores obtenidos son muy cercanos a los calculados teóricamente, se atribuye la diferencia al hecho de que los cursores no pueden posicionarse en posiciones arbitrarias,

sino que tienen pequeños steps por lo que en algún caso, por ejemplo, si se lo quería posicionar en $Y = 800 \text{ mV}$, la opción más cercana era 803 mV

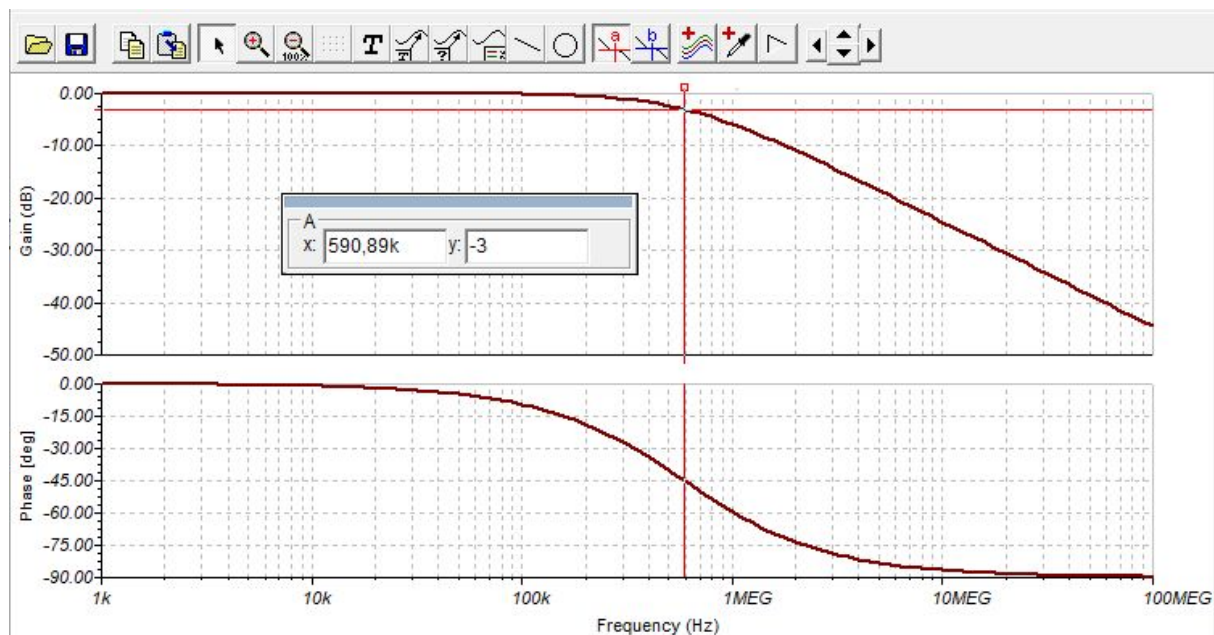
b) Para el mismo circuito y con el mismo banco de medición. Mida la respuesta en frecuencia y establezca el ancho de banda en los siguientes casos.

- Con la punta x1
- Con la punta x10

Trace ambas curvas de respuesta en frecuencia en un gráfico semilogarítmico (amplitud lineal-frecuencia logarítmica) colocando el eje X la frecuencia y en el eje Y la amplitud obtenida respecto de la amplitud al 100%. Determine el valor del tiempo de crecimiento (t_c) para cada punta a partir del ancho de banda.

El simulador permite directamente trazar la curva de respuesta en frecuencia de un sistema, con esto se obtiene directamente la frecuencia de corte observando el valor de frecuencia correspondiente a una caída de 3 dB.

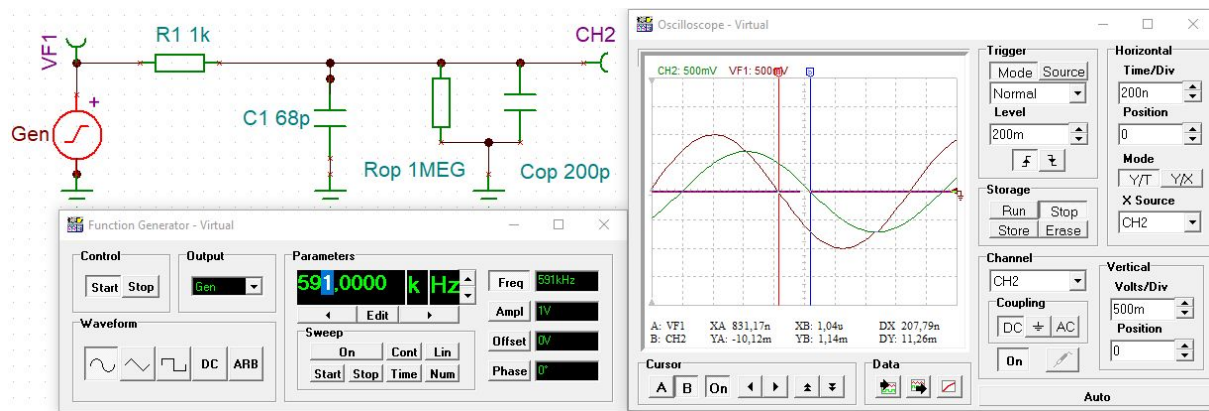
Punta X1:



Se obtiene $f_c = 591 \text{ kHz}$

Del cual se obtiene $t_r = \frac{0,35}{591 \text{ kHz}} = 592,2 \text{ ns}$

Para corroborar este resultado de frecuencia con el osciloscopio, se muestra la siguiente figura:

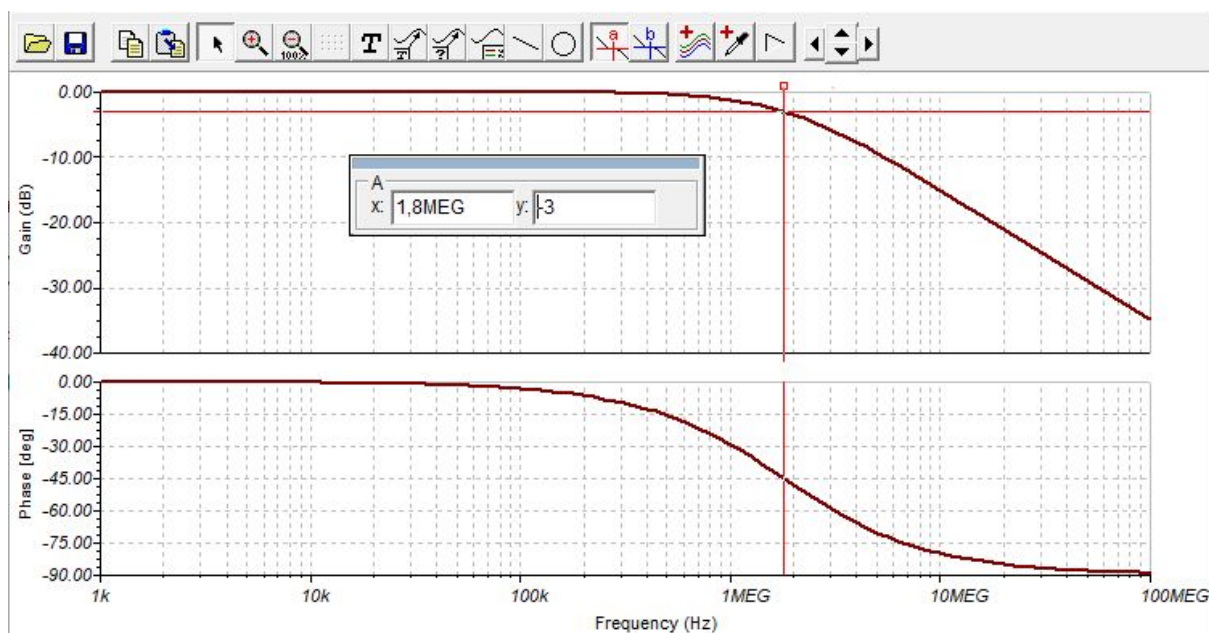


Se observa que para la frecuencia calculada, el desfase entre las ondas es de

$$\varphi = 207,79 \text{ ns} \cdot 591 \text{ kHz} \cdot 360^\circ = 44,21^\circ$$

Se puede considerar que este es el desfase correspondiente a la frecuencia de corte, atribuyendo la diferencia con 45° a la imprecisión de los cursores y el redondeo en la frecuencia seteada.

Punta X10:



Se obtiene $f_c = 1,8 \text{ MHz}$

$$\text{Del cual se obtiene } t_r = \frac{0,35}{1,8 \text{ MHz}} = 194,4 \text{ ns}$$

3.3- Análisis

a) ¿Hay coincidencia entre los t_c obtenidos por distintos métodos en el punto anterior?

b) ¿Qué sucede si modifica el valor de la capacitancia? ¿Y si cambia el valor de la resistencia? Compare con los valores teóricos.

c) Compare los resultados de las mediciones con las predicciones teóricas. ¿Hay coincidencias?

a) y c)

Sí, los valores son sumamente comparables, difieren muy poco, como se puede ver en la siguiente tabla: (todos los valores expresados en ηs)

Punta	t_r teórico	Medición directa de t_r	Medición de t_r a partir del ancho de banda
X1	589,6	593	592,2
X10	193,6	194	194,4

b)

Si disminuye el valor de la resistencia o de la capacitancia del circuito RC, disminuirá la constante de tiempo de todo el conjunto circuito-punta-osciloscopio. Esto ocasionará una disminución en el tiempo de crecimiento y un aumento en la frecuencia de corte.

Por otro lado, si aumenta el valor de la resistencia o de la capacitancia del circuito RC, se obtiene el efecto inverso: aumenta el tiempo de crecimiento y disminuye la frecuencia de corte.

Conclusiones acerca del tiempo de crecimiento: Siempre que haya un capacitor, este introducirá en el sistema un tiempo de crecimiento, por el tiempo que éste tarda en responder. El caso ideal es cargar lo menos posible al circuito, para que el valor de C sea el mínimo posible: el inherente al circuito. Pero en la realidad, al medir un circuito, siempre es cargado de alguna manera. El osciloscopio es un instrumento que carga tanto resistiva como capacitivamente al circuito bajo medición, por lo que esto puede aumentar el tiempo de crecimiento. Analizando los resultados teóricos, se observa que la mejor opción en la realidad es utilizar la punta X10, que carga 10 veces menos al circuito con respecto a la punta X1. Aunque hay que tener en cuenta la desventaja de usar la punta X10: la amplitud de la señal cae a un décimo de su valor.

Parte B) Conclusiones

El osciloscopio es un instrumento sumamente útil, el hecho de que permita visualizar señales eléctricas permite realizar diversas mediciones acerca de estas señales. Se puede medir la amplitud de una señal, su período, su frecuencia y se puede observar su forma. También permite comparar señales entre sí para poder determinar si existe un desfase entre ellas, y medirlo. Sus distintos modos de acoplamiento para tanto el canal vertical como el horizontal como el sistema de barrido permiten fijarse en lo más importante de una onda, como por ejemplo el uso de acoplamiento en AC para el filtrado de ruido. Su

base de tiempo demorada permite analizar parte de una señal con mayor detalle, y tomar medidas con mayor precisión.

Esto presenta incontables ventajas con respecto a otros instrumentos más simples y económicos como el multímetro. Pero estas ventajas no vienen sin un costo, puesto que para utilizar el osciloscopio, primero hay que tener muy en claro su funcionamiento y sus limitaciones. Si no se tiene presente el efecto de todos los controles seleccionados, lo observado en pantalla podría estar reflejando algo completamente distinto a lo que queremos medir. Los distintos modos de acoplamiento y las escalas son los dos aspectos más básicos pero importantes al momento de interpretar lo que se visualiza en la pantalla, haciendo mención también al TRIGGER, ya que no entender correctamente su funcionamiento puede llevar a que no se sepa siquiera como visualizar a la señal en pantalla. Pero hay cuestiones más complejas que es muy importante tener en cuenta al momento de medir, ya que si no se tienen en cuenta podríamos estar cometiendo errores considerables. Estas cuestiones incluyen el ancho de banda del instrumento, el efecto de carga que tiene sobre un circuito y las incertidumbres inherentes al instrumento.

No se puede hablar de osciloscopios sin hablar de puntas de prueba de osciloscopio. Estas influyen enormemente en el ancho de banda efectivo del instrumento, y en el efecto de carga que produce sobre el circuito a medir. Cada punta tiene un efecto distinto que conlleva ventajas y desventajas, por lo que se debe analizar bien cuál conviene utilizar antes de medir. No hay que olvidarse tampoco de compensar la punta en el caso de que sea atenuada.

Por último, es importante conocer bien al instrumento ya que no conocerlo con detalle puede llevar a exigirlo más allá de sus límites, causando daños permanentes sobre él. Hay que tener el manual de usuario a mano y respetar las tensiones máximas de todos sus terminales

Parte C) Bibliografía

Fundamentos de Osciloscopios - Agilent Technologies

El XYZ de los Osciloscopios - Tektronix

Apunte "Puntas, Rise Time, y Mediciones" por el profesor Darío Rosa

Diapositivas de clase

Manual del usuario del OS-5060A de EZ Digital

Manual del usuario del Osciloscopio GOOD-WILL mod. 653G

Parte D) Anexos

Anexo 1: Consideraciones Preliminares

1- Diagrama de bloques

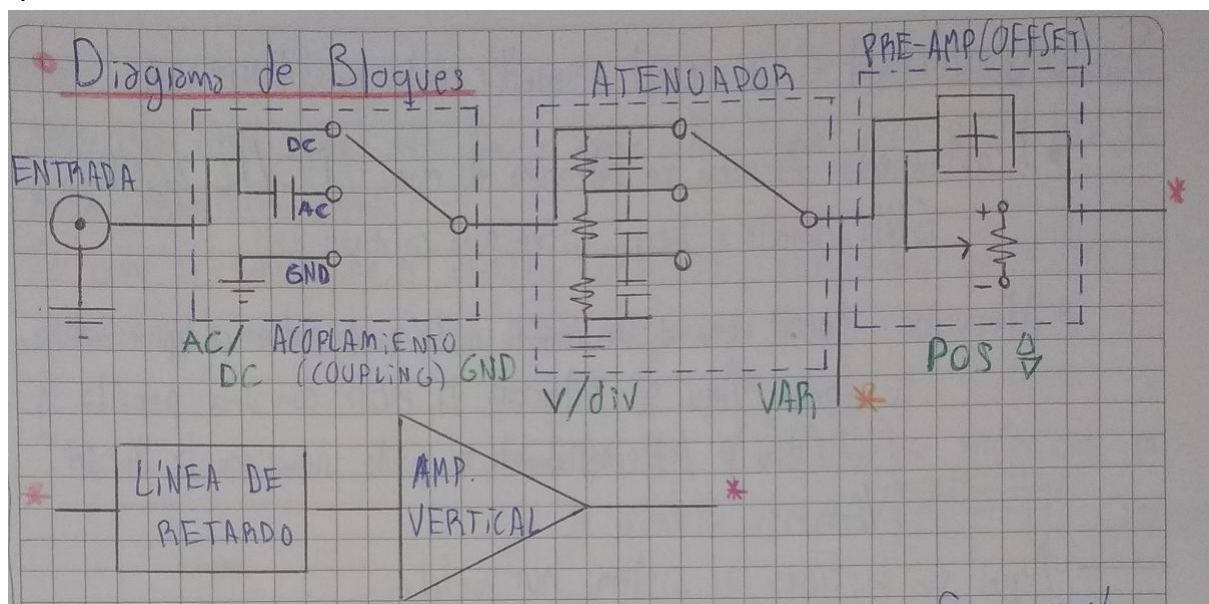
a) Realice un diagrama en bloques simplificado del sistema vertical del osciloscopio indicando los controles principales. Explique brevemente el camino y cómo se va modificando la señal hasta que llega a la pantalla.

b) Ídem para el sistema horizontal.

c) Dibuje los diagramas de tiempo de las señales principales: diente de sierra y señal de disparo.

Se explica el diagrama de bloques sin tener en consideración los distintos canales (CH1, CH2) del osciloscopio. Los controles asociados a la interacción entre estos canales se detallan en el siguiente punto del anexo.

a) Canal vertical:



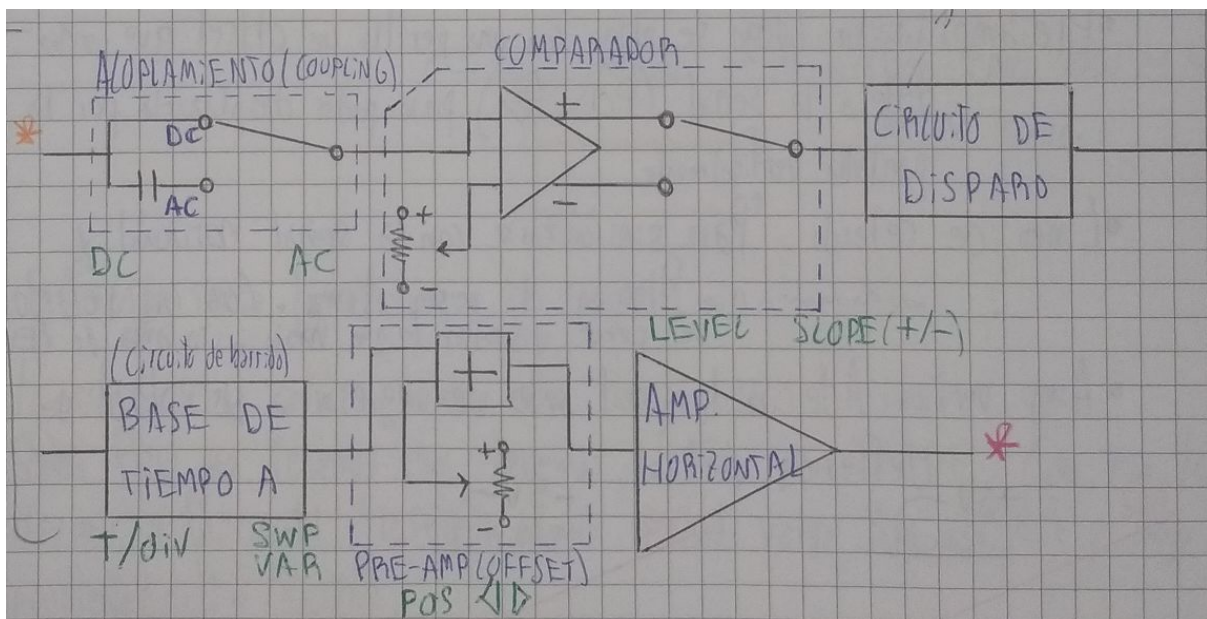
- La señal a ser analizada en el osciloscopio ingresa al canal vertical, y pasa por el bloque de Acoplamiento o Coupling. El modo de acoplamiento se puede elegir gracias a sus controles asociados: AC para acoplamiento en alterna, DC para acoplamiento en continua, GND para conectar a tierra (esta última opción sirve para calibrar el instrumento).
- Luego, como al instrumento no le puede entrar cualquier voltaje (tiene un rango de funcionamiento lógicamente), se atenúa la señal entrante. Existen dos controles asociados a este bloque que permiten variar la escala con la que se aprecia la señal en pantalla. La perilla V/DIV permite seleccionar entre varias cantidades de Voltios/división. También existe el modo VAR, que permite escalar la presentación

de la señal a una cantidad exacta de V/div. Con este modo activo, las escalas indicadas en pantalla por V/div pierden validez.

(En este punto se bifurca al canal horizontal)

- A continuación la señal ahora atenuada pasa por el bloque pre-amplificador, el cual agrega un offset a la señal. De este modo y con el control de posición POS, se puede mover la señal verticalmente a lo largo de la pantalla
- El bloque de la línea de retardo sirve para que la señal vertical se sincronice de manera adecuada con la señal horizontal, haciendo que lleguen al mismo tiempo a las placas de deflexión.
- Por último, el bloque de amplificación vertical se encarga de adecuar la señal antes de que la misma ingrese a las placas de deflexión vertical.

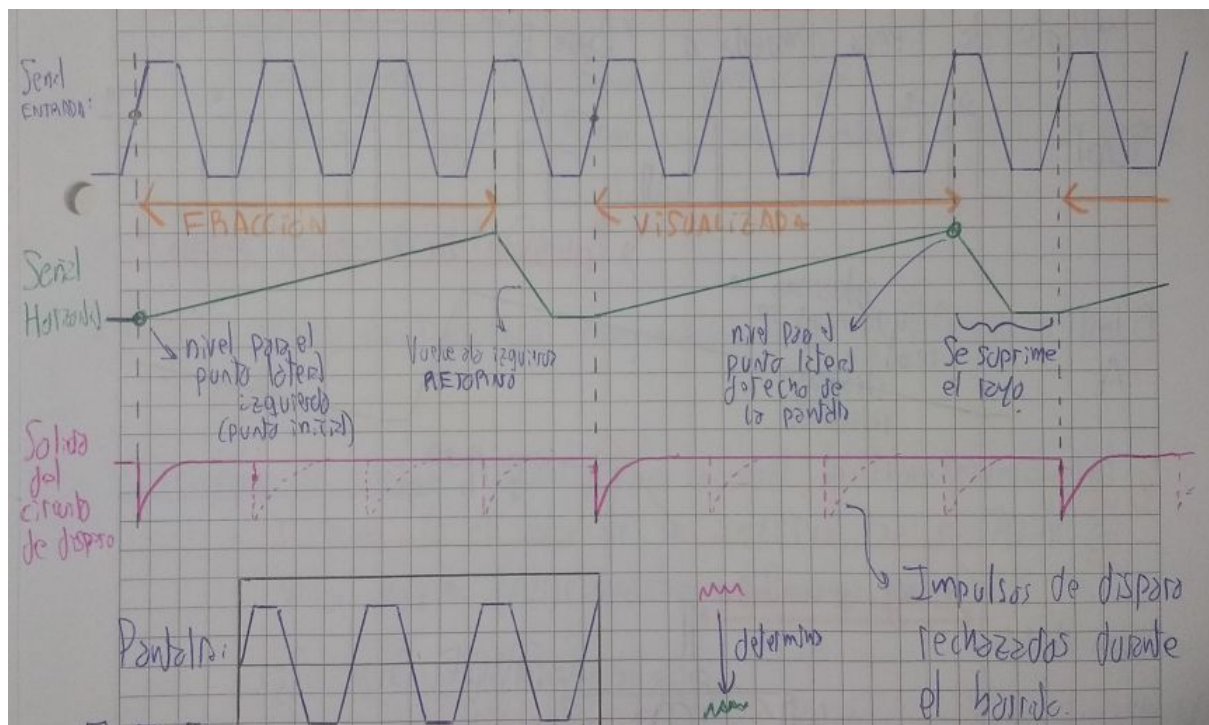
b) Canal horizontal



- La señal atenuada por el sistema vertical ingresa al primer bloque del canal horizontal, el de acoplamiento. Existe el acoplamiento en DC y AC, este puede seleccionarse mediante el control correspondiente del osciloscopio. Según el osciloscopio, puede haber opciones de acoplamiento adicionales, como de rechazo de altas frecuencias, de bajas frecuencias, o de ruido.
- La señal acoplada ingresa ahora al comparador. En este bloque se selecciona cuándo se realiza el disparo con los controles LEVEL y SLOPE.
- El circuito de disparo envía un impulso de acuerdo al LEVEL y SLOPE seleccionados en el bloque anterior, enviándolo cuando la señal alcanza un cierto nivel con una cierta pendiente (negativa o positiva). Este impulso es recibido por el circuito de barrido.

- El circuito de barrido, o base de tiempo A, produce una señal de tipo diente de sierra, de modo que el haz de electrones es deflectado horizontalmente por las placas a velocidad constante (dada por la pendiente del diente de sierra). Ésta pendiente define la escala horizontal de la pantalla, y puede variarse usando el control T/DIV, que varía la magnitud de tiempo por división observada en pantalla. Al igual que en el canal vertical, se puede seleccionar una opción para tener un ajuste exacto con el control SWP VAR (swipe variable).
- Análogamente al canal vertical, se puede sumar un offset a la señal en el bloque de pre-amplificación mediante el control POS < >, pudiendo así desplazar horizontalmente a la señal en la pantalla.
- Por último, la señal diente de sierra pasa por un bloque amplificador que adecua la señal para las placas de deflexión horizontales.

c)



Como se explicó brevemente en los incisos anteriores, el circuito de disparo envía un impulso (señal rosa) cuando se alcanza el nivel y la pendiente especificados. Se ve en la imagen que varios impulsos son rechazados, esto es gracias al control HOLDOFF, que sirve para cierto tipo de ondas, se explicará en detalle en el siguiente punto del anexo.

Luego el circuito de barrido produce la señal horizontal diente de sierra (señal verde) que define la fracción visualizada de la onda, ya que mientras el haz de electrones regresa al extremo izquierdo de la pantalla, se suprime el rayo para que la onda se dibuje de manera acorde.

2- Controles del osciloscopio

Con ayuda del manual del usuario y/o material de lectura recomendada describa el funcionamiento de los controles principales del osciloscopio:

a) Haz: INTEN, FOCUS, ILLUM, TRACE ROTATION.

b) Canal vertical: Vertical Mode, Chop, CH2 Inv, Position, Volt/div, AC-DC-GND, VAR.

c) Canal horizontal: A Time/div, SWP VAR, SWP UNCAL, Position, B Time/div, X10 MAG, X-Y.

d) Disparo: Trigger source, Coupling, Slope, Level, Level lock, Normal-Auto-Single, Holdoff.

e) Horizontal Display (A; A int. B; B; Trig. B), DELAY TIME, TRIG. ALT.

a) Haz

- **INTEN:** Con este control de pantalla se puede variar el brillo del trazo, aumentando la intensidad del haz de electrones.
- **FOCUS:** Con este control se puede variar el grosor del trazo, para obtener una mejor resolución.
- **ILLUM:** Con este control se puede controlar la iluminación de la retícula.
- **TRACE ROTATION:** Permite alinear el trazo horizontal en paralelo a las líneas de la grátícula

b) Canal Vertical

- **Vertical Mode:** las opciones más comunes para este control son las siguientes:
 - **CH1:** Se visualiza sólo la señal del canal 1
 - **CH2:** Se visualiza sólo la señal del canal 2
 - **DUAL:** Se visualizan ambas señales
 - **ADD:** Se visualiza la suma algebraica de ambas señales
- **CHOP:** Si bien el osciloscopio suele hacer esto automáticamente, este control permite seleccionar cómo se trazan las señales cuando se está en el modo DUAL:
 - **Modo Alternado:** Se traza la señal del CH1 entera en un barrido, luego la del CH2 en el siguiente barrido, y así sucesivamente, de forma alternada. Por la persistencia de la retina del ojo, se podrán visualizar ambas señales correctamente siempre y cuando sus frecuencias sean lo suficientemente altas. Por lo tanto hay que evitar utilizar este modo con señales de baja frecuencia.
 - **Modo Choppeado:** Se conmuta entre las dos señales mientras avanza el barrido.
Esto requiere que la frecuencia del conmutador sea mayor a la de las señales, por lo que no es útil con señales de alta frecuencia.
- **CH2 Inv.:** Invierte la entrada del CH2. Si se conecta la misma señal a ambos canales y se usa esta opción con el modo ADD se debería observar cero en la pantalla.
- **Position:** Añade un offset a la señal permitiendo desplazar la misma verticalmente en la pantalla.

- Volt/div: Modifica la escala vertical atenuando o amplificando la señal de manera acorde. La escala va de 1mV/div a 5V/div en 12 pasos en secuencia 1-2-5
- AC/DC/GND: Modo de acoplamiento para la señal
 - AC: Acoplamiento en alterna, toma la componente alterna de la señal, quitándole el offset.
 - DC: Acoplamiento en continua, toma la componente continua de la señal.
 - GND: Conecta el canal vertical a tierra, sirve para calibración.
- VAR: Modo alternativo a la calibración V/DIV, permite ajustar la escala a magnitudes más exactas que no podrían conseguirse con la perilla V/DIV.

c) Canal Horizontal

- A time/div: Permite modificar la escala horizontal, en este caso de la base de tiempo principal o Base A.
- SWP VAR: Modo alternativo a la calibración Time/DIV, permite ajustar la escala a magnitudes más exactas que no podrían conseguirse con la perilla Time/DIV.
- SWP UNCAL: Deshabilita la perilla SWP VAR, dejándola calibrada
- Position: Añade un offset a la señal horizontal, permitiendo desplazar a la señal horizontalmente por la pantalla
- B time/div: Permite modificar la escala horizontal, en este caso de la base de tiempo retardada o Base B.
- X10-MAG: Expande la deflexión horizontal 10 veces, amplificando la señal horizontalmente 10 veces
- X-Y: En lugar de utilizar el sistema de barrido interno del osciloscopio para generar la señal horizontal diente de sierra, se utiliza al CH2 como señal de barrido. Esto permite visualizar las figuras de Lissajous.

d) Disparo

- Trigger Source: Permite seleccionar la fuente del disparo
 - CH1: Se usa la señal del canal 1 como fuente del disparo
 - CH2: Se usa la señal del canal 2 como fuente del disparo
 - LINE: El disparo se deriva de la línea de alimentación AC
 - EXT: Se usa la señal externa provista por el usuario como fuente del disparo.
- Coupling: Acoplamiento del disparo. Sirve para limpiar el disparo, se hace un filtro para lograr el disparo deseado sin modificar la señal original
 - DC: Acopla el disparo en continua (modo normal)
 - AC: Introduce un capacitor en serie, acoplando en alterna. Un ejemplo de uso es el caso de querer visualizar la componente continua de una señal, pero el nivel de referencia resulta muy elevado, por lo tanto se toma solo la componente alterna a efectos del disparo
 - HF-REJECT: Se agrega un filtro pasa-bajos, rechaza las altas frecuencias. Sirve para filtrar ruido

Según el osciloscopio, pueden existir más modos de acoplamiento, por ejemplo:

- HF
- LF
- LINE
- TV-V
- TV-H

- Slope: Define si el disparo se realiza en flanco ascendente o descendente
- Level: Ajusta el nivel de señal a partir del cual el sistema de barrido horizontal comienza a trazar la señal en la pantalla.
- Level-lock: El nivel de disparo se fija a un valor óptimo, y un disparo es hecho sin requerir ajuste de nivel.
- Normal-Auto-Single: Son modos del sistema de disparo de barrido que determinan si se debe o no dibujar una señal en la pantalla
 - NORM: Solo dibuja si se alcanza el nivel de disparo seleccionado
 - AUTO: Dibuja siempre, se alcance o no el nivel de disparo. Si no se alcanza el nivel de disparo en cierto tiempo, se dispara un barrido cualquiera.
Ventaja: siempre se ve algo en la pantalla. Desventaja: si una señal tiene frecuencia muy baja, puede que el nivel vaya a alcanzarse pero se dispara un barrido cualquiera no sincronizado ya que se demora mucho en alcanzar el nivel seleccionado.
 - SINGLE: Dibuja una sola vez la señal (un único barrido) si se llega al nivel de disparo.
- Hold-off: Se utiliza cuando se trabaja con señales más complejas donde el nivel de disparo podría alcanzarse nuevamente antes de la finalización de un período. Se selecciona entonces un TIEMPO DE RETARDO durante el cual no vuelve a producirse un disparo.

e)

- Horizontal Display: Selector del modo que se muestra en la pantalla
 - A: Se muestra la base de tiempo principal
 - A int. B: Muestra la base de tiempo principal y se le superpone la base de tiempo retardada de forma intensificada. La posición de la sección intensificada depende del control DELAY TIME.
 - B: Se muestra solo la base de tiempo retardada.
 - Trig. B: La base de tiempo retardada reacciona a un determinado punto de disparo. Se reduce el jitter.
- DELAY TIME: Modifica el tiempo de inicio de barrido de B respecto de A, para poder observar en la base A la señal de la base B a partir de un determinado retraso temporal
- TRIG. ALT.: Elimina el desfase temporal entre 2 señales producidas por la misma fuente, para medir diferencias en amplitud centradas (no sirve para medir desfases)

3- Errores

a) Mencione tres errores groseros que se pueden cometer con el osciloscopio.

b) ¿Por qué deben evitarse?

1- En primera instancia es importante que el usuario del osciloscopio siga sus medidas de uso, para no provocar daños al instrumento. Por ejemplo, para impedir daños permanentes en el fósforo del TRC, se tiene que evitar utilizar un trazo excesivamente brillante durante tiempos demasiado largos. Otro punto importante es conocer las tensiones que resiste el instrumento para cada una de sus entradas. La tensión admisible máxima del CH1 no

necesariamente debe ser igual a la del conector EXT del trigger, ni a la tensión admisible haciendo uso de una punta.

2- En cuanto a tomar mediciones incorrectas que estropean todo el proceso de observación y toma de datos, puede destacarse que hay que estar atento a si se dejó encendido el modo VAR tanto del canal horizontal como del vertical, ya que mientras se esté usando este modo, la escala magnitud/división mostrada en pantalla no es representativa.

3- Este error respecta también a tomar mediciones incorrectas pero no sólo a nivel cuantitativo sino también cualitativo, es el caso de no prestar atención al ancho de banda del instrumento. El error sistemático introducido por trabajar en el borde del ancho de banda asciende tanto hasta un 30%. Además, si ya se está trabajando con una señal de alta frecuencia que tiene múltiples armónicos, como es el caso de una onda cuadrada, podría pasar que sólo pase su primer armónico, ya que los demás quedan muy superiores a la frecuencia de corte, y se acabaría observando en pantalla una onda senoidal, que no refleja la naturaleza de la onda real.

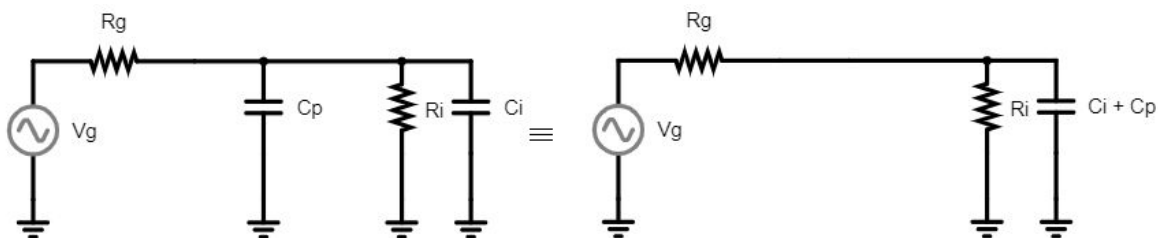
4- Efecto de carga

a) Indique las funciones principales de la punta de osciloscopio y su circuito equivalente.

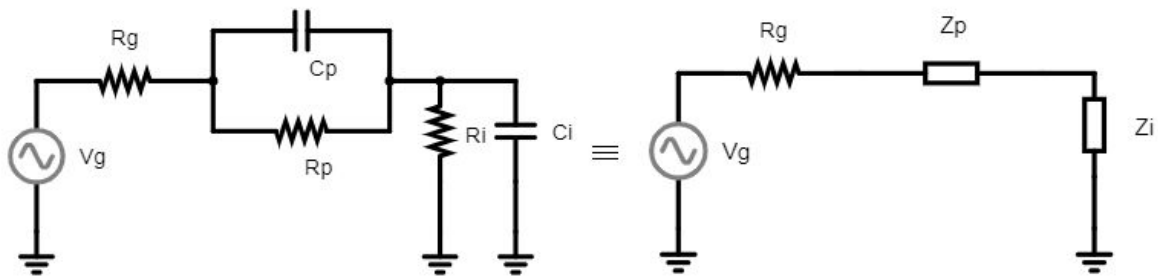
b) Compare desde el punto de vista teórico el efecto de carga que presenta el conjunto osciloscopio-punta en punta 1:1 (x1) y en punta 10:1 (x10). Analice de qué manera podría minimizarlo.

a) Las puntas de osciloscopio sirven para suavizar el viaje de la señal al instrumento, logrando que llegue menos ruido. No sólo se limita la cantidad de ruido que ingresa al instrumento, sino también la carga que el sistema punta-osciloscopio ejerce sobre el circuito, una punta ideal no cargaría el circuito bajo prueba. La punta atenuada permite aprovechar mayor parte del ancho de banda del osciloscopio, aunque sacrificando amplitud. El circuito equivalente es el que sigue:

Punta x1:



Punta x10:



Donde el conjunto V_g, R_g puede representar cualquier parte de un circuito que queramos medir.

R_p, C_p : Resistencia y capacitancia de la punta.

R_i, C_i : Resistencia y capacitancia del osciloscopio.

b) Habitualmente, la resistencia de entrada de un osciloscopio R_i es del orden de $1\text{M}\Omega$ mientras que su capacitancia de entrada C_i es del orden de los 25pF . Por lo tanto existe un efecto de carga resistivo y un efecto de carga capacitivo sobre el circuito que se esté midiendo.

Punta x1: El osciloscopio medirá una tensión

$$V_{osc} = V_g \cdot \frac{R_i}{R_i + R_g}$$

cuando se trabaje con corriente continua. Pero a medida aumente la frecuencia, disminuirá la reactancia del capacitor, haciendo que caiga una mayor parte de la tensión en este componente, y por lo tanto la tensión medida V_{osc} se alejará aún más de V_g . Habitualmente alrededor de los 6MHz la tensión medida por el osciloscopio caerá un 30% respecto de la tensión del generador. Es decir, en este caso se tendría que trabajar con frecuencias menores a 6MHz . Pero el ancho de banda de un osciloscopio común es varias veces mayor a esto, llegando a 50 o 100MHz , por lo que estaríamos desperdiciando gran parte de este ancho de banda. Para evitar esto, se puede usar una punta atenuada, siendo las puntas atenuadas x10 de las más comunes. Sin embargo, su uso conlleva una desventaja que se explicará a continuación.

Punta x10: Ahora el sistema punta-osciloscopio puede modelarse como dos componentes en serie: Z_p y Z_i . Siendo cada uno de ellos una resistencia y un capacitor en paralelo. El capacitor de la punta es variable, y se tiene que ajustar de modo que el tiempo característico de la punta coincida con el del osciloscopio en un proceso conocido como compensación. Es decir, se quiere lograr:

$$R_i C_i = R_p C_p$$

El motivo de la necesidad de compensar la punta sale de lo siguiente:

$$\frac{V_{osc}}{V_i} = \frac{Z_i}{Z_i + Z_p}$$

$$Z_i = \frac{R_i}{1+j\omega C_i R_i}$$

$$Z_p = \frac{R_p}{1+j\omega C_p R_p}$$

Con $R_i C_i = R_p C_p = \tau$:

$$Z_i = \frac{R_i}{1+j\omega\tau}$$

$$Z_p = \frac{R_p}{1+j\omega\tau}$$

$$\frac{V_{osc}}{V_i} = \frac{R_i}{R_i + R_p} = \frac{1}{10} \text{ (la punta atenúa 10 veces)}$$

Ahora, en teoría, sólo se tiene efecto de carga resistivo, por lo que se tendría una respuesta plana. Aún así, por factores externos sigue existiendo una frecuencia de corte superior, pero compensando se logra aumentar esta frecuencia considerablemente, aprovechando el ancho de banda del instrumento.

La desventaja es que la amplitud de la señal se ve disminuida 10 veces, por lo que si se quiere estudiar una señal de amplitud pequeña, se dificultará la observación de la misma.

En resumen, se sacrifica amplitud por un mayor ancho de banda.

En cuanto a efecto de carga, se puede analizar tomando la admitancia del sistema punta-osciloscopio:

$$\begin{aligned} Y &= \frac{1}{Z} = \frac{1}{Z_i + Z_p} = \frac{1+j\omega\tau}{R_i + R_p} = \frac{1}{R_i + R_p} + j\frac{\omega\tau}{R_i + R_p} \\ &= \frac{R_i}{R_i + R_p} \cdot \frac{1}{R_i} + j\omega \frac{R_i}{R_i + R_p} \cdot C_i \\ &= \frac{1}{10R_i} + j\omega \frac{C_i}{10} \end{aligned}$$

Se llega entonces a que:

$$R_{eq} = 10 \cdot R_i$$

$$C_{eq} = 0,1 \cdot C_i$$

Por lo que el efecto de carga con la punta atenuada es menor, tanto el resistivo como el capacitivo.

5- Incertidumbre

- Indique cuáles son las incertidumbres del osciloscopio en el canal vertical.
- Ídem en el canal horizontal.

En ambos canales existe la incertidumbre por exactitud y la incertidumbre por apreciación.

$\varepsilon_{apr} = \frac{0,1}{\#Divs}$ (Al haber 5 subdivisiones por cada división de la pantalla, lo mínimo que podemos apreciar razonablemente es 0,1 divisiones)

$\varepsilon_{ex} = 3\%$ (Viene dado por el fabricante, lo más usual es que sea 3%)

Cabe mencionar que en el canal horizontal, el error por exactitud aumenta al usar el modo MAG X10, este error también se detalla en el manual de usuario del instrumento.

El canal horizontal tiene también un error debido a la alinealidad, ya que el barrido ideal es una señal diente de sierra, pero ese ascenso en la tensión de la diente de sierra en la realidad no es completamente recto, su pendiente puede ir cambiando en torno a la ideal. Por este motivo el barrido puede ser más rápido en algunas regiones y más lento en otras, ocasionando que no todas las divisiones valgan lo mismo. El error asociado a la alinealidad suele ser de un 3%.

6- Ancho de banda

a) Defina el ancho de banda (BW) del osciloscopio. Explique el efecto que introduce el capacitor de desacople.

b) Indique dicho valor para el osciloscopio a utilizar.

a) El ancho de banda del osciloscopio es el rango de frecuencias comprendidas entre las frecuencias de corte. La frecuencia de corte es la frecuencia para la cual la transferencia del sistema cae el 70% del valor máximo (es el valor de potencia mitad). Esto es equivalente a una caída de 3 dB.

El capacitor de desacople, al tratarse de un capacitor que va a tierra para filtrar el ruido de una señal en CC, disminuye la ganancia de las altas frecuencias, es decir funciona como un filtro pasa-bajos. Por lo tanto, tiene un gran efecto sobre la frecuencia de corte superior del ancho de banda del instrumento.

b) Para el osciloscopio GoodWill mod. 653 G, el ancho de banda es como se indica:

DC: Menos de 5 mV/Div: frecuencia de corte superior de 50 MHz

Más de 5 mV/Div: frecuencia de corte superior de 15 MHz

AC: Frecuencia de corte inferior de 10 Hz

7- Rango dinámico

a) Defina la sensibilidad del instrumento y cuál es su valor para el osciloscopio a utilizar.

b) Defina el valor máximo de tensión del instrumento sin dañarlo, y el papel que juegan las puntas.

a) La sensibilidad del instrumento es el rango de valores que puede representar una división en la pantalla. Para el canal vertical, la escala va de 1mV/div a 5V/div en 12 pasos en

secuencia 1-2-5. Para el canal horizontal, la escala va de 0,1 $\mu\text{s}/\text{div}$ a 0,5 Seg/div en 21 pasos en secuencia 1-2-5.

b) Para el osciloscopio GOODWILL 653G

CH1 y CH2: 400V

EXT TRIG: 100V

EJE Z: 50V

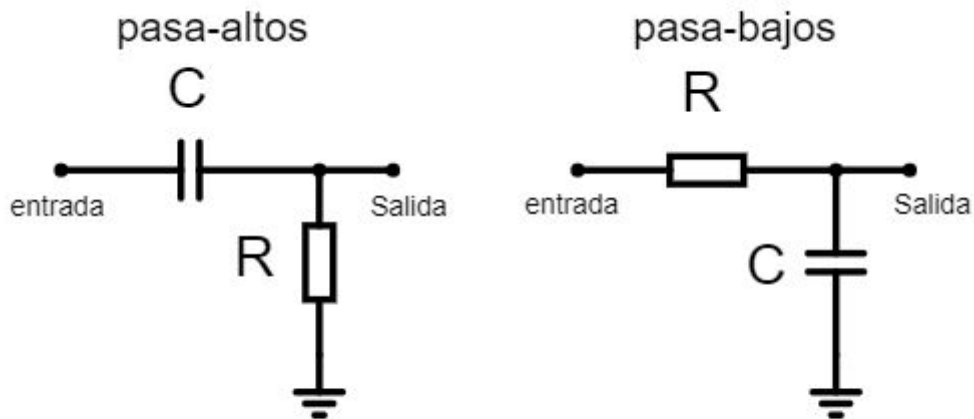
8- Circuito R-C

a) Dibuje un circuito R-C genérico pasa bajos y otro circuito R-C genérico pasa altos.

b) Calcule la constante de tiempo, frecuencia de corte y el tiempo de crecimiento.

Dibuje la curva de respuesta en frecuencia (módulo y fase).

a)



b) Tomando $R = 1\text{ k}\Omega$ y $C = 100\text{ nF}$:

Constante de tiempo:

$$\tau = RC = 100\text{ }\mu\text{s}$$

Frecuencia de corte:

$$f_c = \frac{1}{2\pi\tau} = \frac{1}{2\pi RC} = 1,59\text{ kHz}$$

Tiempo de crecimiento:

$$t_r = t_{90} - t_{10} \approx 2,2\tau$$

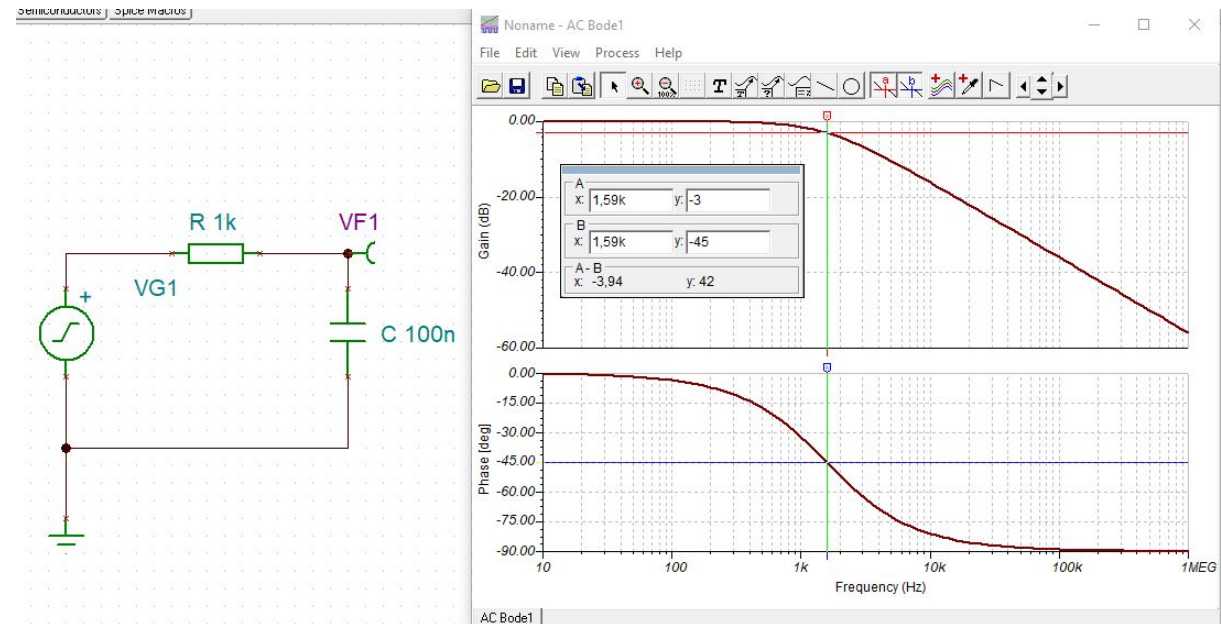
$$t_r = \frac{0,35}{f_c} = 220\text{ }\mu\text{s}$$

En los gráficos mostrados a continuación, se puede observar que cuando se alcanza la frecuencia de corte, la ganancia cae 3 dB, y la fase es de 45° .

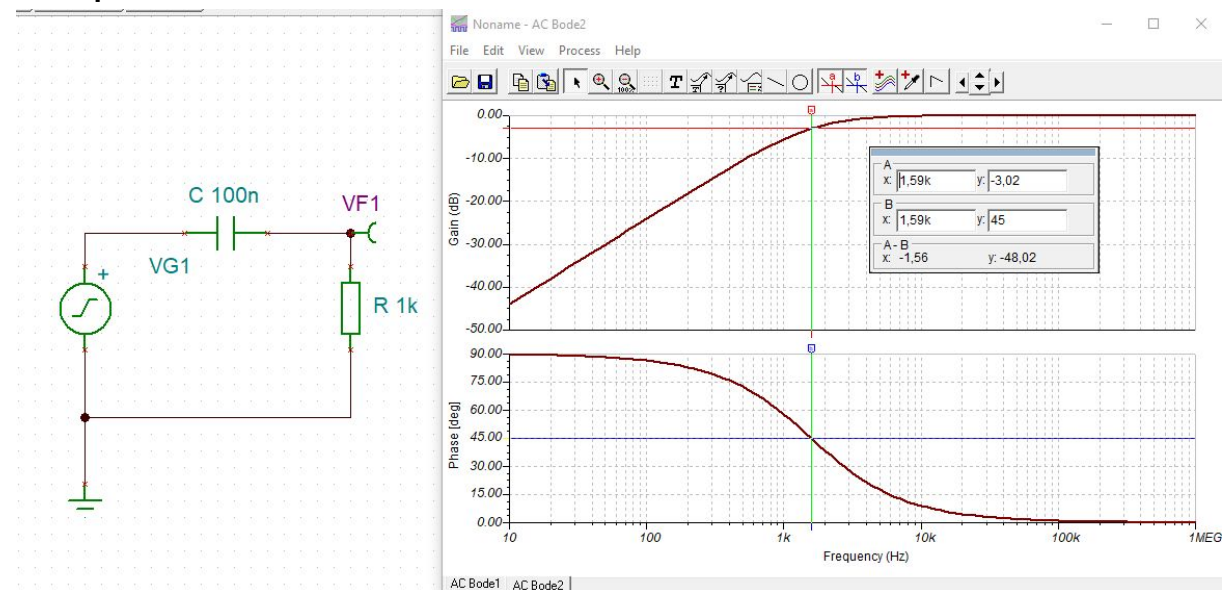
Se observa como, en el filtro pasa-bajos, prácticamente no hay pérdidas para frecuencias menores a 1 kHz.

Por otro lado, en el filtro pasa-altos, prácticamente no hay pérdidas para frecuencias mayores a unos 5 kHz.

Filtro pasa-bajos:



Filtro pasa-altos:



Anexo 2: Mediciones Complementarias

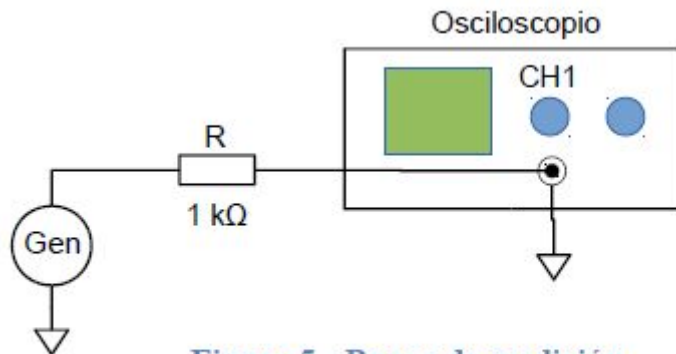


Figura 5 - Banco de medición.

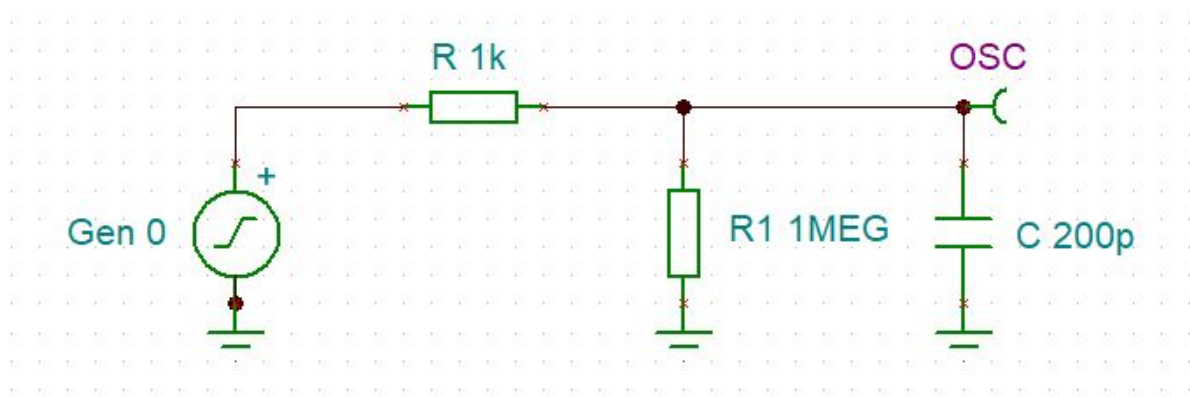
Mediante el banco de medición de la figura 5:

- Calcule de forma teórica la frecuencia de corte del circuito (f_c) con la punta x1 y x10, considerando el correspondiente efecto de carga.
- Mida la f_c en los dos casos mencionados, escriba correctamente la medición con su incertidumbre, compare con los resultados teóricos.
- Explique la influencia de la resistencia de 1 kΩ, ubicada en serie con la punta.
- ¿Qué sucederá si elimina la resistencia y la reemplaza por un cable?

a)

Punta X1:

El circuito equivalente es el siguiente:

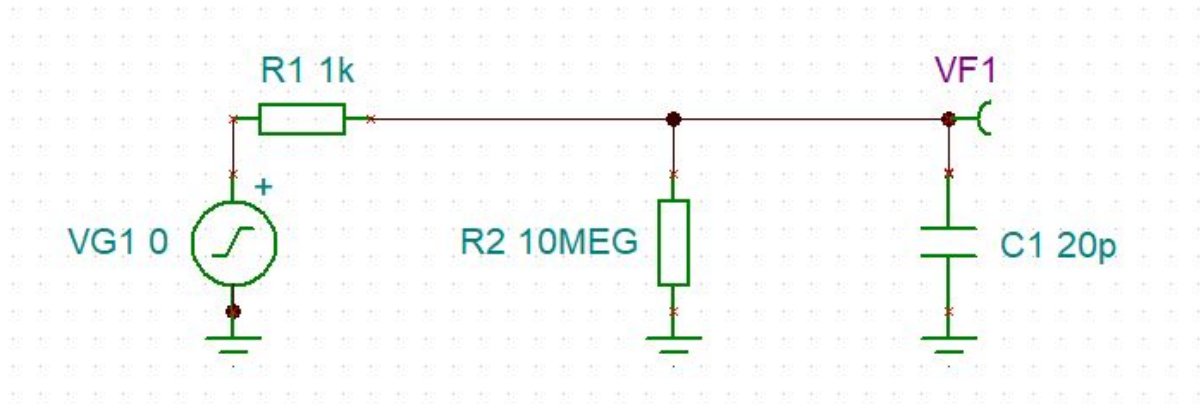


Al medir la frecuencia de corte, se tienen R y R1 en paralelo, por lo que la resistencia equivalente del sistema será de prácticamente 1k.

$$f_c = 1 / 2\pi \cdot 1k\Omega \cdot 200pF = 795,8 kHz$$

Punta X10:

El circuito equivalente es el siguiente:



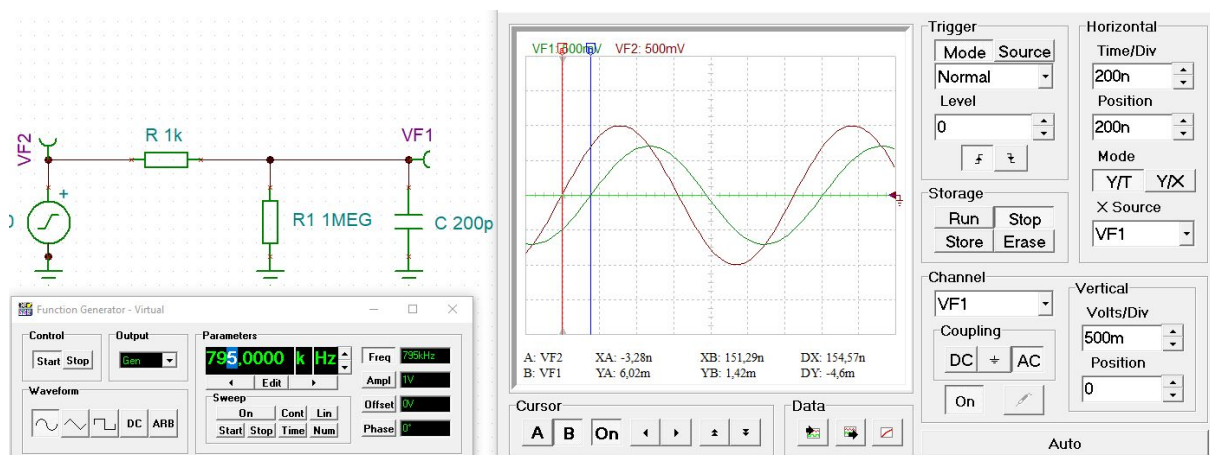
Al medir la frecuencia de corte, se tienen R y R1 en paralelo, por lo que la resistencia equivalente del sistema será de prácticamente 1k.

$$f_c = 1 / 2\pi \cdot 1k\Omega \cdot 20pF = 7,958 MHz$$

b)

Como el simulador no ofrece la opción del modo descalibrado de la base de tiempo, no se puede ubicar medio período de la onda en la pantalla para poder comparar con mayor precisión el desfase entre las ondas, por lo tanto se usarán los cursores para medir el desfase.

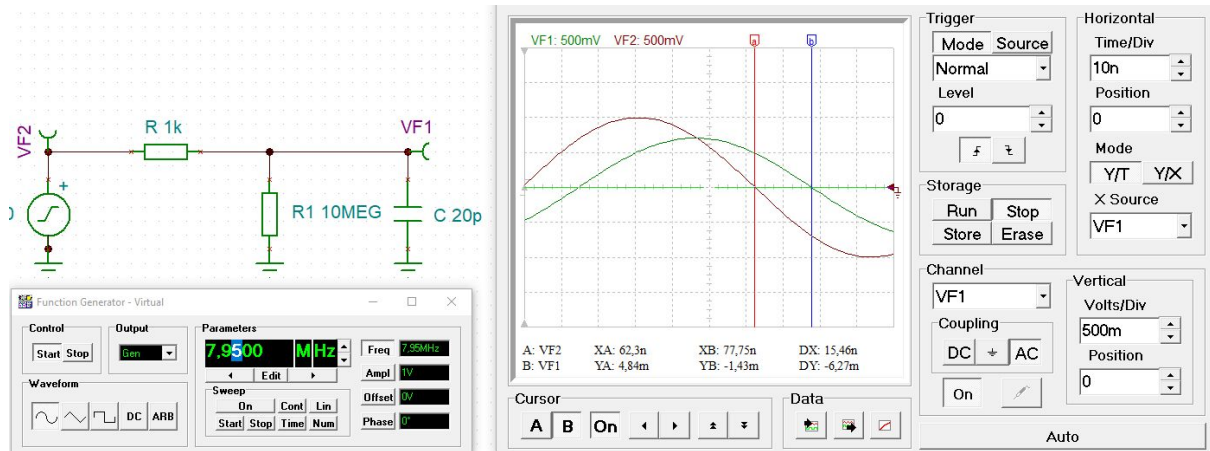
Punta X1:



El período de la onda proporcionada por el generador es $T = 1 / 0,8 MHz = 1,25 \mu s$

Los cursores indican que el desfase temporal es de 154,57ns. Por lo tanto, el desfase angular es $\varphi = \frac{154,57\text{ns}}{1,25\mu\text{s}} \cdot 360^\circ = 44,51^\circ$

Punta X10:



$$\varphi = 7,95 \text{ MHz} / 15,46 \text{ ns} \cdot 360^\circ = 44,24^\circ$$

Estas mediciones verifican los resultados teóricos.

Debido a que se está utilizando un simulador, no tiene sentido considerar el error introducido debido a la inexactitud/alinealidad de la base de tiempo. Y en cuanto a apreciación, se está haciendo uso de los cursores.

c)

Como se mencionó en el inciso a, la resistencia equivalente del sistema cae al orden del $k\Omega$ gracias a la resistencia R, que es varios órdenes menor a la resistencia equivalente del conjunto osciloscopio-punta tanto para el caso de la punta X1 como la punta X10.

d)

Si se quitase la resistencia de 1k, al calcular la frecuencia de corte tendríamos la resistencia del conjunto osciloscopio-punta en paralelo con un cable, por lo que la resistencia equivalente sería cero y la frecuencia de corte tendería a infinito, como se observa en la siguiente figura

