

# Circuitos RC y RLC. Conceptos y aplicaciones

## Objetivos.

### General.

Comprender los conceptos básicos del circuito RC y algunas de sus aplicaciones más comunes.

### Específicos.

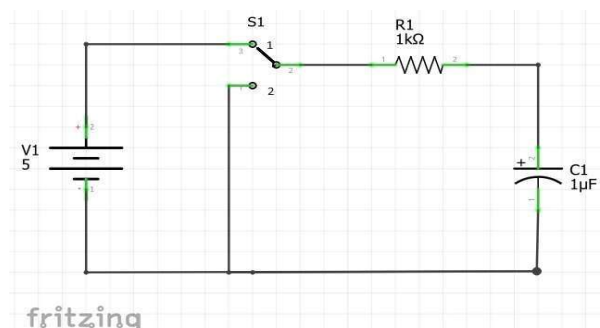
- Estudiar la respuesta temporal del proceso de carga y descarga de un condensador.
- Analizar el comportamiento de un circuito RC con la frecuencia verificando las características de un filtro paso bajo, un filtro paso alto y de un filtro pasa banda.
- Comprender las ventajas del fenómeno de resonancia.
- Medir la frecuencia de resonancia en un circuito serie RLC.

## Introducción (Parte 1).

El condensador es un dispositivo de gran utilidad en circuitos eléctricos y electrónicos. Una de sus características más importantes es que permite acumular carga y energía eléctrica. Muchas de sus interesantes aplicaciones tienen que ver con la forma en que el condensador se carga y descarga. En este laboratorio se estudiarán los procesos de carga y descarga de un condensador conectado a una resistencia. En particular, se va a estudiar la manera en que la corriente en el circuito y la carga en el condensador varían con el tiempo para ambos procesos (carga y descarga).

De otro lado es bueno anotar que en el circuito que se va a estudiar las corrientes y voltajes varían con el tiempo, a diferencia de los circuitos estudiados hasta ahora en los cuales las corrientes y voltajes permanecían constantes, es decir, en estado estacionario.

En el instante inicial el condensador se encuentra descargado, y la corriente a través de todos los elementos es nula. Cuando se cierra el interruptor ( $t = 1$ ) el circuito se completa y la corriente comienza a fluir por toda la malla. Para efectos de este laboratorio se asumirá que, en todo momento, la corriente es la misma en cualquier elemento del circuito. Ver ilustración 1.



*Ilustración 1. Circuito RC Básico (interruptor en  $t=1$ )*

En el momento inicial la carga presente en el condensador es nula, por lo que la diferencia de potencial a través suyo será igual a cero, y máxima entre los extremos de la resistencia. Este voltaje máximo,  $V_1$  será el proporcionado por la fuente de alimentación  $V_1$ . La corriente  $I_0$  será pues la deducida a partir de la ley de Ohm

$$I_0 = \frac{V_{AB}}{R} = \frac{E}{R}$$

Conforme el condensador se carga, su voltaje  $V_{bc}$  aumenta y la diferencia de potencial  $V_{ab}$  entre los terminales de la resistencia disminuye, siendo su suma en todo momento constante, e igual a  $V_1$ . Después de haber transcurrido un tiempo razonablemente largo (tiene que ver con la constante RC, más conocida como  $\tau$ ), el condensador se habrá cargado por completo, y la corriente y el voltaje  $V_{ab}$  en la resistencia disminuirán a cero. Entonces, en ese momento todo el voltaje de la fuente  $V_1$  se encuentra en el condensador ( $V_{bc} = E$ ). Si llamamos  $Q$  a la carga del condensador e  $i$  a la corriente en la malla en cierto momento  $t$ , los voltajes instantáneos  $V_{ab}$  y  $V_{bc}$  serán:

$$V_{AB} = iR \quad V_{BC} = \frac{Q}{C}$$

y aplicando la segunda ley de Kirchhoff (La suma de voltajes en una malla debe ser igual a 0) se tiene que:

$$v_1 - iR - \frac{Q}{C} = 0$$

*Segunda ley de Kirchhoff.*

Al despejar  $i$  y realizar la sustitución se tiene que, para el proceso de carga, cuando el interruptor de la Figura 1 está conectado en 1, la carga en el condensador y la corriente en el circuito varían respectivamente, de acuerdo a las siguientes expresiones:

$$Q(t) = CV_1(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad I(t) = \frac{V_1}{R} e^{-\frac{t}{RC}} = I_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

*Ecuaciones de carga Q y corriente I durante el proceso de carga del condensador (t=1).*

Donde  $V_1$  es el voltaje en la fuente,  $C$  la capacitancia del condensador y  $R$  la resistencia.

De otro lado, para el proceso de descarga, cuando el interruptor está en la posición 2 (t=2). Ver ilustración 2, las funciones para estas cantidades son:

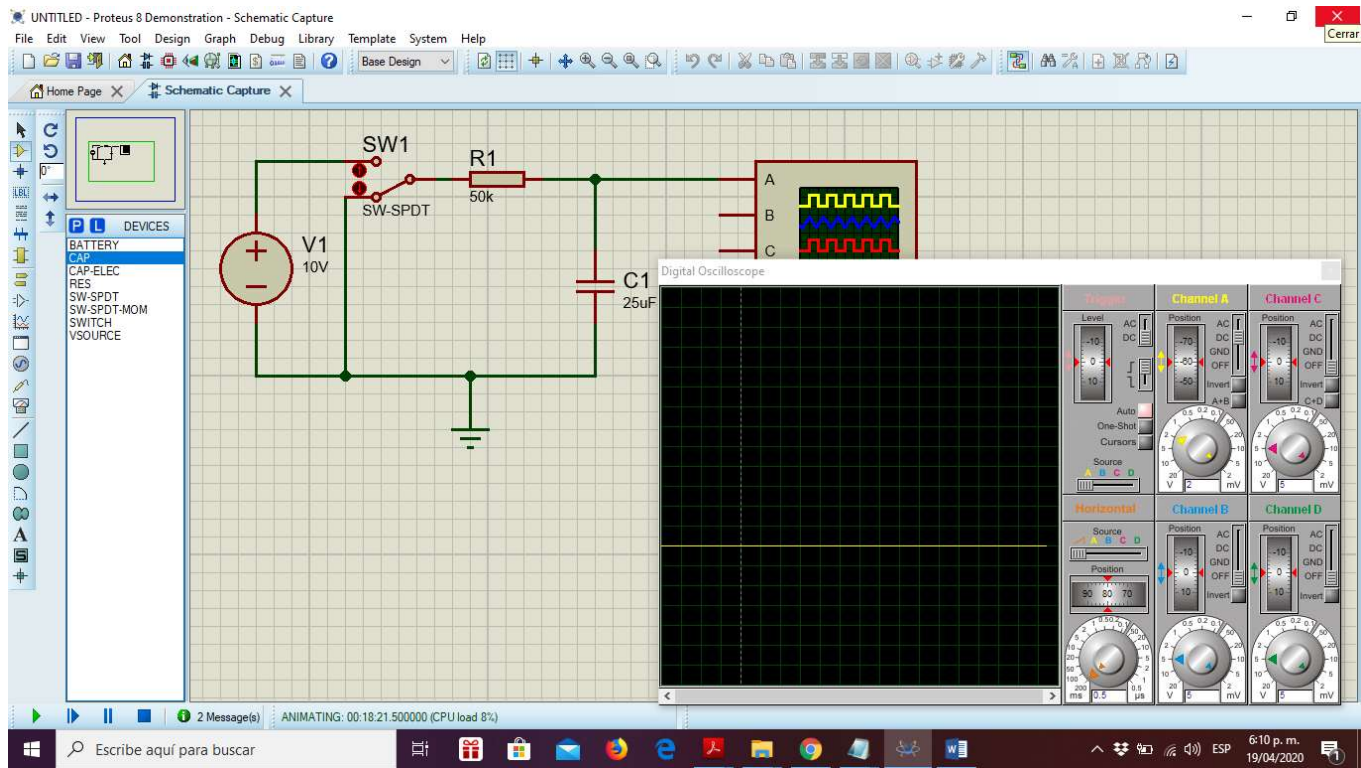


Ilustración 2. Circuito RC básico (interruptor en  $t=2$ )

$$Q(t) = CV_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{RC}} = I_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

Ecuaciones de carga  $Q$  y corriente  $I$  durante el proceso de descarga del condensador ( $t=2$ ).

donde  $V_0$  es el voltaje en el condensador en el momento de en qué se conecta el circuito para descargue.

### La constante RC

Como se habrá podido observar, tanto la carga como la corriente dependen exponencialmente del tiempo, resaltando el factor  $RC$  presente en el exponente de  $e$ . Una vez se ha alcanzado un tiempo igual a  $RC$ , la corriente y la carga habrán disminuido a  $1/e$  y  $(1-1/e)$  de su valor inicial, respectivamente. Este producto se denomina constante de tiempo, y se denota por la letra griega  $\tau$ .

Si la constante de tiempo  $\tau$  es pequeña, el condensador se cargará rápidamente, mientras que si es grande sucederá, al contrario, siendo el proceso más lento. Ya que teóricamente el condensador jamás se encontrará completamente cargado. Para efectos prácticos se considera que tras haber transcurrido un tiempo igual a  $5\tau$  ya está cargado, pues la carga final  $Q_f(1-e^{-5}) \approx 0.993Q_f$ .

## Aplicaciones de los condensadores

Los condensadores son muy versátiles y pueden ser usados en muchas aplicaciones. Como su capacidad depende de la sección entre las placas, se pueden construir condensadores variables, como los empleados en los controles de sintonización de una radio convencional. En estos aparatos, al girar el control, se varía la superficie efectiva entre placas, con lo que se ajusta la capacidad del condensador y, en consecuencia, se sintoniza una frecuencia de una emisora. Del mismo modo, el teclado de un computador actúa sobre un condensador variable, lo que permite actuar sobre la pantalla del mismo.

Una de las aplicaciones más comunes de los condensadores son los filtros. Estos circuitos son de suma importancia, porque son utilizados con frecuencia en los sistemas electrónicos; ya que tienen como función manipular y modificar el espectro de frecuencia de la señal de entrada para obtener en la salida la función que se requiera aplicar a los diferentes sistemas. Un filtro tiene como función separar componentes que se encuentran mezclados, ser capaz de rechazar los componentes indeseables y tener la capacidad de proporcionar como resultado únicamente las componentes deseadas. Existen varios tipos de filtros, los más básicos son los filtros pasivos, los cuales se construyen a partir de combinación de resistencias, condensadores e inductancias en serie y en paralelo. Y el más básico de todos ellos es el circuito RC (Figura 1).

El circuito RC es un circuito de primer orden, ya que al ser modelado se llega a una ecuación diferencial de primer orden. Y de acuerdo a su configuración se puede construir un circuito pasa bajo o un circuito pasa alto o una combinación de ambos. Existen tres tipos de filtros, los pasa bajo, los pasa altos y los pasa banda:

**Filtros Pasa bajo:** Son filtros que únicamente dejan pasar la señal que está por debajo de una determinada frecuencia, la cual se denomina frecuencia de corte  $f_c$ .

$$f_c = \frac{1}{2 * \pi * R * C}$$

Para realizar este tipo de filtrado se pueden usar condensadores, resistencias o bobinas, o todas a la vez. Los filtros pasa bajo se suelen utilizar como complemento para un equipo de audio, para acentuar más los sonidos de frecuencias bajas, y también en aparatos como radios, televisores, etc. Ver ilustración 3

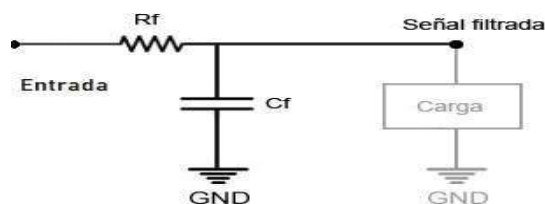
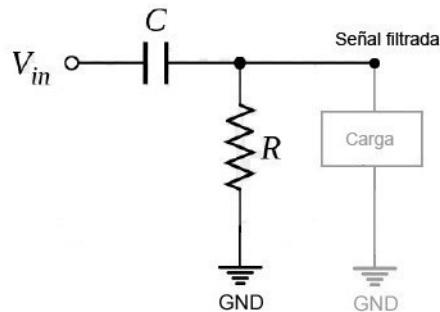


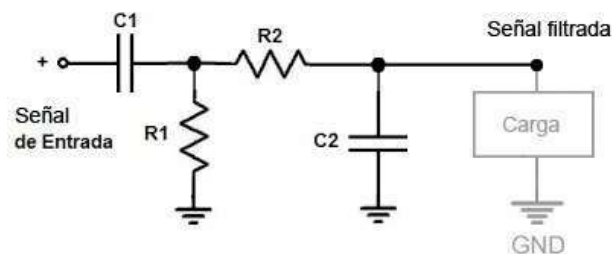
Ilustración 3. Filtro RC pasa bajo

**Filtros Pasa alto:** Es un circuito, formado por resistencia y condensadores en serie, destinado a dejar pasar señales cuya frecuencia sean mayores a la frecuencia de corte  $f_c$ . Su funcionamiento se basa en la variación de la impedancia del condensador con la frecuencia. Si la frecuencia de la señal es muy baja, el condensador no dejará pasar la corriente (se comporta como un circuito abierto), y si la frecuencia es muy alta, se comportará como un cortocircuito. Ver ilustración 4.



*Ilustración 4. Filtro RC Pasa Alto.*

**Filtros Pasa banda:** Son circuitos formados por resistencias, bobinas y/o condensadores, diseñados para dejar pasar a su salida un determinado grupo de señales cuyas frecuencias se encuentren dentro de la banda de paso del filtro, eliminando o atenuando mucho el resto de frecuencias. El filtro deja pasar la frecuencia de resonancia, que sería la frecuencia de corte y los componentes de frecuencia próximas a la frecuencia de corte. En este filtro existen dos frecuencias de corte, una inferior y otra superior. Este filtro solo atenúa las señales cuya frecuencia sea menor a la frecuencia de corte inferior o las frecuencias mayores a la frecuencia de corte superior. Por tanto, solo permiten el paso de un rango o banda de frecuencias sin atenuar. Entre las aplicaciones de estos filtros se tiene las ecualizaciones de audio, la eliminación de ruidos que parecen junto a una señal. Ver ilustración 5.



*Ilustración 5. Filtro RC Pasa Banda.*

## Materiales

- Resistencias ( $1k\Omega$ ,  $10k\Omega$ ,  $50k\Omega$   $100k\Omega$ )
- Condensadores ( $4pf$ ,  $1,5nf$ ,  $25\mu f$ ,  $33000pf$ )
- Fuente de voltaje  $10V$ .
- Osciloscopio
- Generador de señales
- Proteus

## Procedimiento.

### 1. Proceso de carga y descarga del condensador.

#### Montaje del circuito.

Implemente el circuito representado en la Ilustración 6, una forma de hacerlo es tal como se muestra en la Ilustración 6.

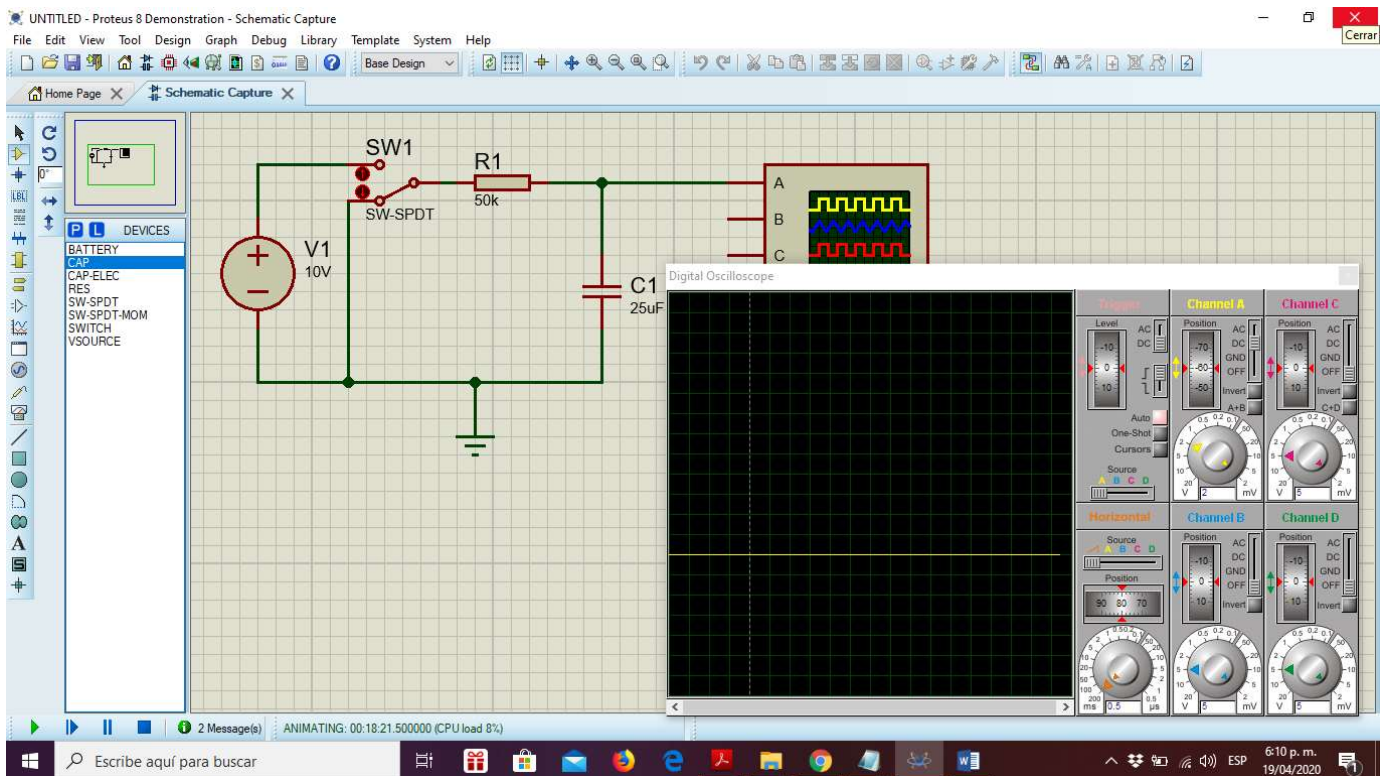


Ilustración 6. Esquemático para montar en el laboratorio.



- Proceda a ajustar la fuente de voltaje en 10V y conecte los terminales al circuito. Recuerde conectar correctamente el condensador para evitar daños (sólo en los casos del laboratorio).
- Proceda a conectar el canal A del osciloscopio entre la resistencia y el capacitor. El terminal GND no es necesario conectarlo en Proteus (en el laboratorio si es necesario conectar el terminal GND del osciloscopio a la tierra del circuito).
- Conecte la fuente de voltaje al circuito (switch en posición 1) y revise las señales que aparecen en la pantalla del osciloscopio. Ver ilustración 7 ¿Qué puede decir al respecto?
- Espere hasta que las gráficas ya dejen de variar en el tiempo y proceda a desconectar la fuente del circuito y alimentarlo con la carga del condensador. Para esto, cambiar de posición el switch como se muestra a continuación. (switch en posición 2). Ver ilustración 7

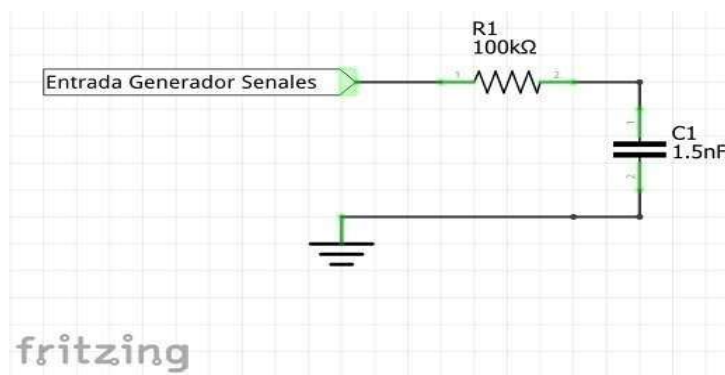


*Ilustración 7. Posiciones del switch.*

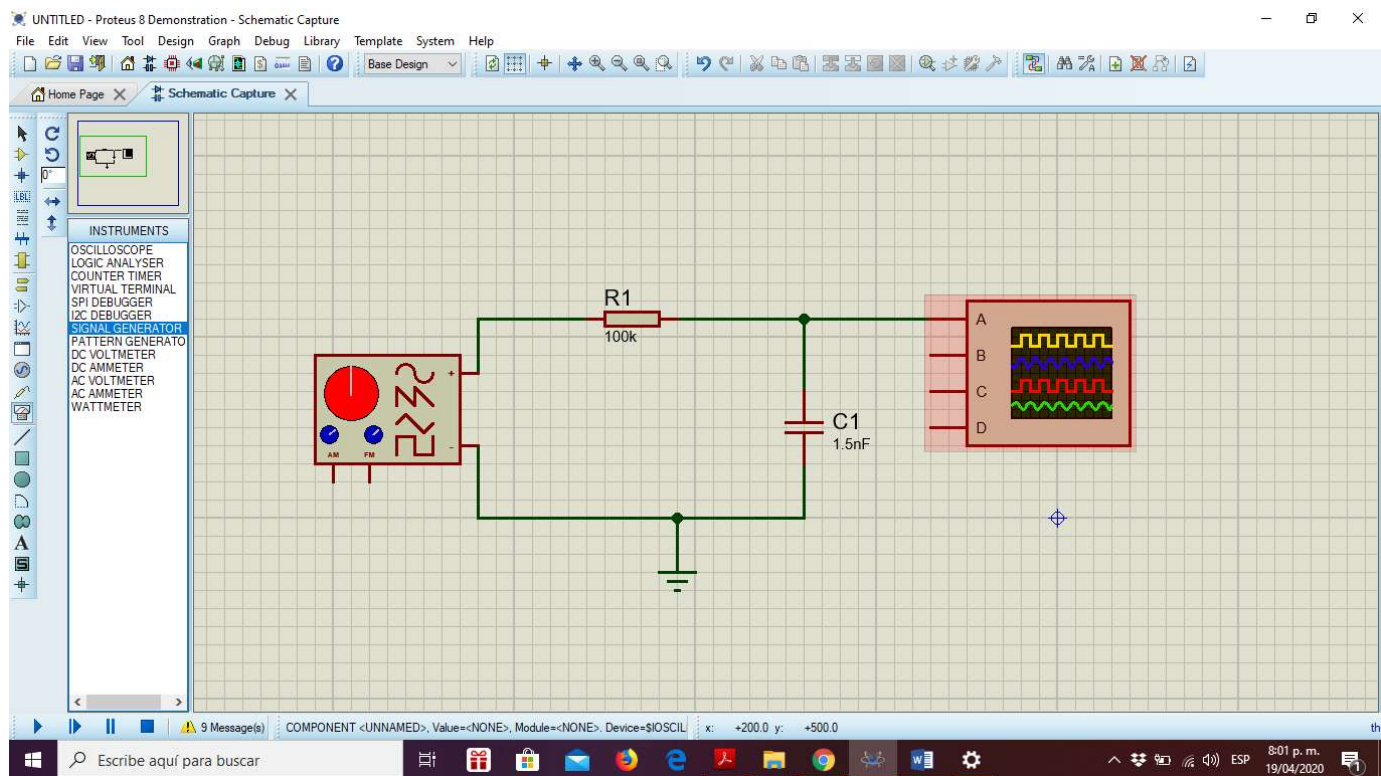
Observe las señales obtenidas en el osciloscopio. ¿Qué puede deducir de ellas? ¿Cómo se puede aumentar o disminuir el tiempo de carga y descarga del capacitor?

### Aplicación de los condensadores: Filtros.

Realice el montaje del circuito mostrado en la ilustración 9.



*Ilustración 9. Esquemático del segundo montaje*



*Ilustración 10. Esquemático del filtro pasa bajos en Proteus*

Conecte las puntas del osciloscopio entre los terminales del condensador. En el generador de señales busque una señal de 10Vpp sinusoidal con una frecuencia de 10Hz. Conecte la salida del generador a la entrada del circuito. Observe la señal en el osciloscopio.

Proceda a cambiar la frecuencia en el generador y observe lo que sucede en el osciloscopio. Ajuste las perillas del canal 1 del osciloscopio para poder tener siempre una señal clara. ¿En qué frecuencia la señal disminuye hasta tener una amplitud a 0.707 de su valor inicial? Documente sus resultados.

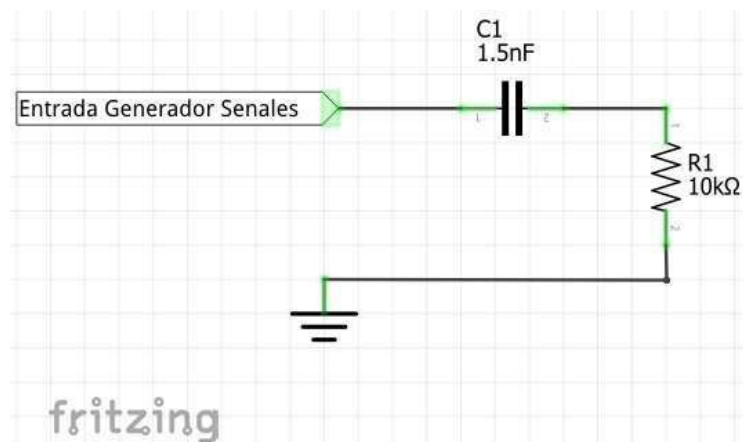
Frecuencia de corte (Laboratorio):

$$\text{Frecuencia de corte } (f_c = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C}):$$

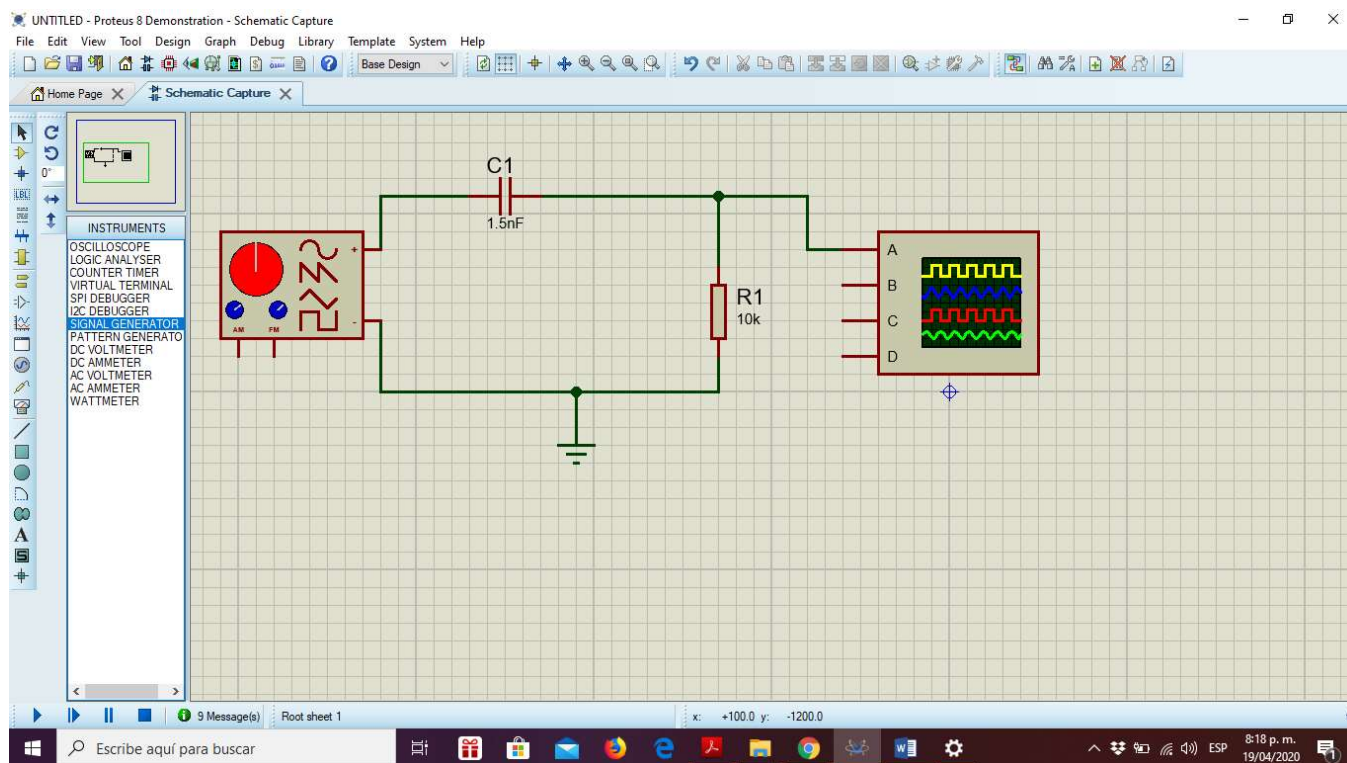


Compare los resultados obtenidos con el hallado en la ecuación. ¿Son iguales? Si no lo son ¿por qué?

Realice el montaje del circuito mostrado en la ilustración 11.



*Ilustración 11 Esquemático del tercer montaje.*



*Ilustración 12. Esquemático del filtro pasa altos en Proteus*

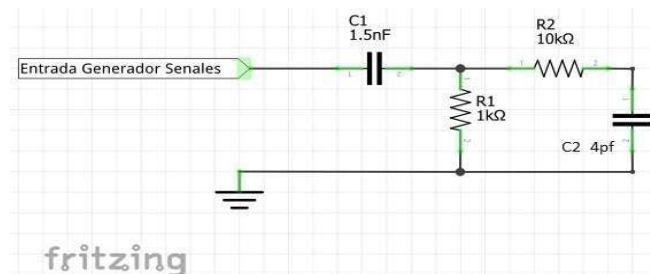
Conecte las puntas del osciloscopio entre los terminales del capacitor y la resistencia. En el generador de señales busque una señal de 10Vpp sinusoidal con una frecuencia de 10Hz. Conecte la salida del generador a la entrada del circuito. Observe la señal en el osciloscopio.

Proceda a cambiar la frecuencia en el generador y observe lo que sucede en el osciloscopio. Ajuste las perillas del canal 1 del osciloscopio para poder tener siempre una señal clara. En qué frecuencia la señal aumenta hasta tener una amplitud a 0.707 de su valor inicial. Documente sus resultados.

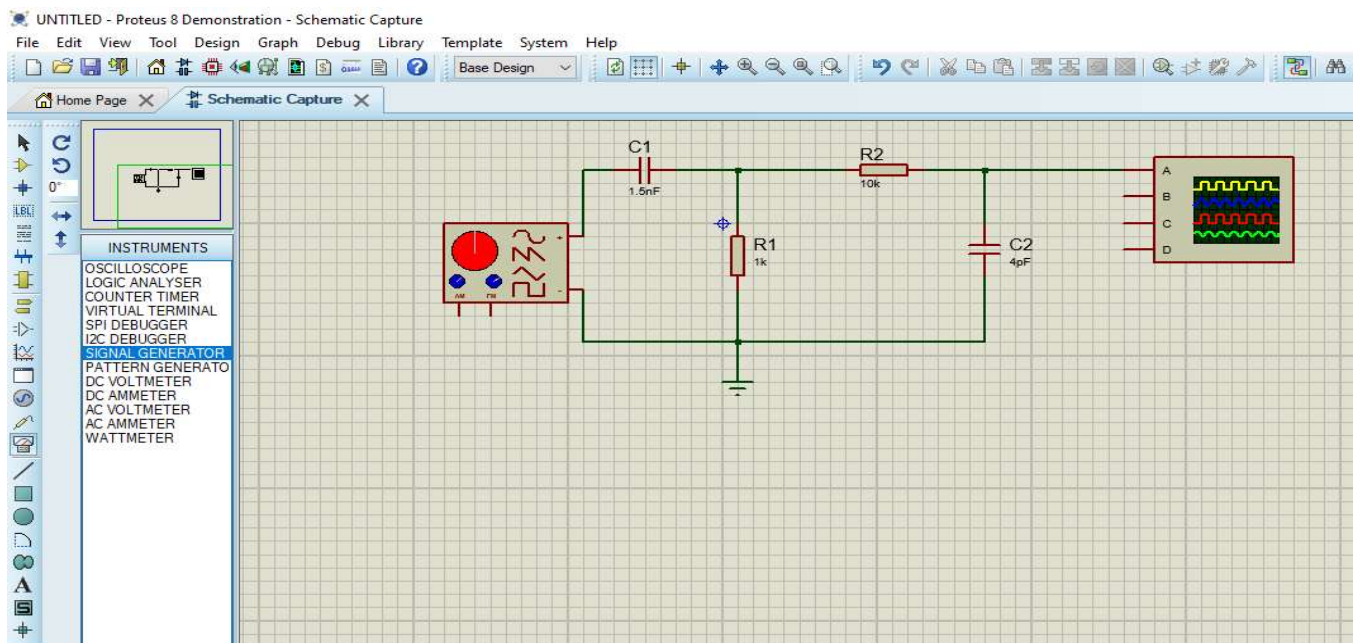
Frecuencia de corte (Laboratorio):

$$\text{Frecuencia de corte } (f_c = \frac{1}{2 * \pi * R * C}):$$

Realice el montaje del circuito mostrado en la ilustración 13.



*Ilustración 13 Esquemático del cuarto montaje.*



*Ilustración 14. Esquemático del filtro pasa banda en Proteus*

Conecte las puntas del osciloscopio entre los terminales del capacitor de 4pf y la resistencia de 10K. En el generador de señales busque una señal de 10Vpp sinusoidal con una frecuencia de 10Hz. Conecte la salida del generador a la entrada del circuito. Observe la señal en el osciloscopio.

Proceda a cambiar la frecuencia en el generador y observe lo que sucede en el osciloscopio. Ajuste las perillas del canal 1 del osciloscopio para poder tener siempre una señal clara. En qué frecuencia la señal aumenta hasta tener una amplitud a 0.707 de su valor inicial y en que otra frecuencia vuelve a disminuir a 0.707 del valor del generador. Documente sus resultados.

Frecuencia de corte 1(Laboratorio):

$$\text{Frecuencia de corte 1} (f_c = \frac{1}{2 * \pi * R * C}):$$

Frecuencia de corte 2(Laboratorio):

$$\text{Frecuencia de corte 2} (f_c = \frac{1}{2 * \pi * R * C}):$$

## Circuito resonante serie (Parte 2)

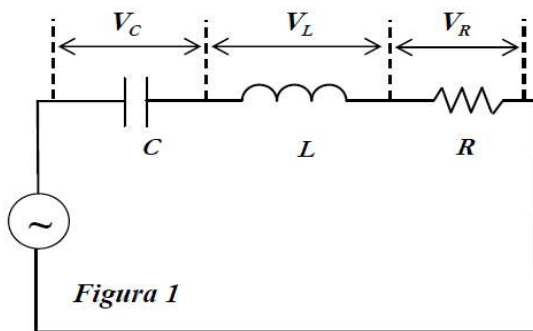
Dado el circuito serie RLC de la ilustración 15, al que alimentamos con una tensión alterna sinusoidal de la forma:

$$v = V_m \sin(\omega t)$$

cuyo valor eficaz es **V**, generando una corriente alterna sinusoidal de valor eficaz **I**, por lo que:

$$I = V/Z$$

donde **Z** es la impedancia del circuito para una frecuencia determinada.



Las caídas de tensión y la corriente serán:

$$V_R = IR, \quad V_L = IX_L, \quad V_C = IX_C$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{V}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

Tenga presente que si cambia la frecuencia del generador (dejando  $V$  constante), la corriente  $I$  y las caídas de tensión en  $R$ ,  $L$  y  $C$  cambiarán.

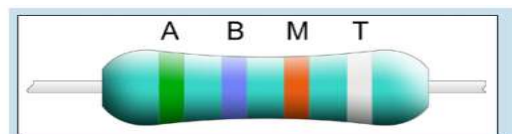
*Ilustración 15 Esquemático del circuito resonante serie.*

En el circuito de la Fig. 1 es interesante tratar el caso cuando  $V_L = V_C$  en el diagrama de fase (o cuando  $X_L = X_C$  en el triángulo de impedancia), es decir cuándo el ángulo de fase  $\phi$  es cero ( $\phi = 0 \Rightarrow \cos \phi = 1$ ).

Por definición, un circuito serie que contiene elementos resistivos y reactivos es resonante cuando el factor de potencia del circuito,  $\cos \phi$ , vale 1. En este caso se cumple que:

$$X_L = X_C \Rightarrow 2\pi f_0 L = \frac{1}{2\pi f_0 C} \Rightarrow f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

## Código de colores Bobinas



	1ª cifra A	2ª cifra B	Multiplicador M	Tolerancia T
PLATA			x 0.01μH	10%
ORO			x 0.1μH	5%
NEGRO	0	0	x 1μH	20%
MARRON	1	1	x 10μH	1%
ROJO	2	2	x 100μH	2%
NARANJA	3	3	x 1mH	3%
AMARILLO	4	4	x 10mH	4%
VERDE	5	5		
AZUL	6	6		
VIOLETA	7	7		
GRIS	8	8		
BLANCO	9	9		

*Código para determinar valor nominal de las bobinas*

<div>104</div> <div>10 + 4 ceros 100.000pF o 100nF o 0,1uF</div>	<div>101</div> <div>100 pF</div>	<div>681</div> <div>680pF</div>	<div>102</div> <div>1nF</div>
	<div>222</div> <div>2,2nF</div>	<div>103</div> <div>10nF</div>	<div>333</div> <div>33nF</div>
	<div>473</div> <div>47nF</div>	<div>104</div> <div>100nF</div>	<div>334</div> <div>330nF</div>

*Ejemplos de valores típicos*

*Código numérico para determinar valor nominal de los capacitores cerámicos*

## Procedimiento (Parte 2)

### Materiales

- Resistencia (10kΩ)
- Condensadores cerámicos 33000pf
- Bobinas de 47μH
- Fuente de voltaje.
- Osciloscopio
- Generador de señales
- Simulador Proteus

Poner en el generador de señales una señal sinusoidal con 10Vpp a una frecuencia de 10Hz. Verificarlo con el Osciloscopio.

Proceder a montar el circuito de la figura



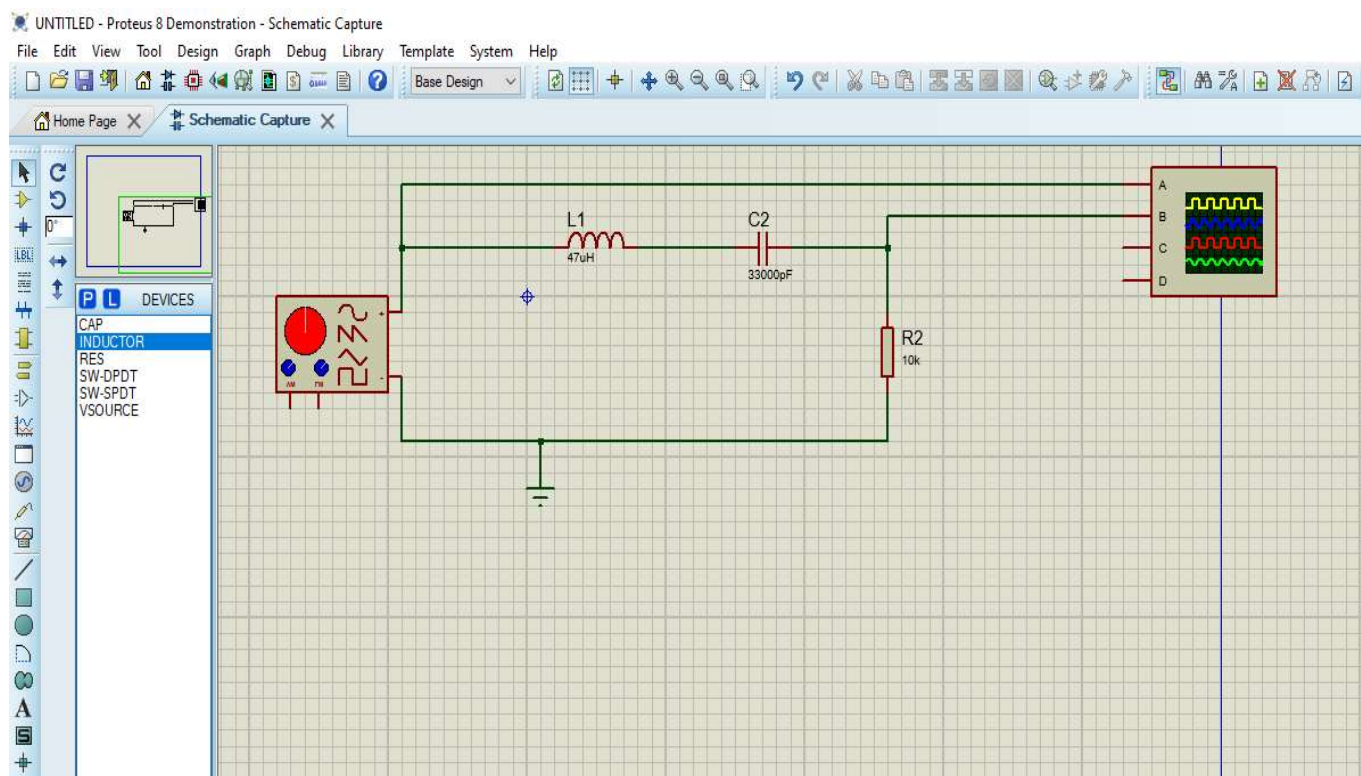
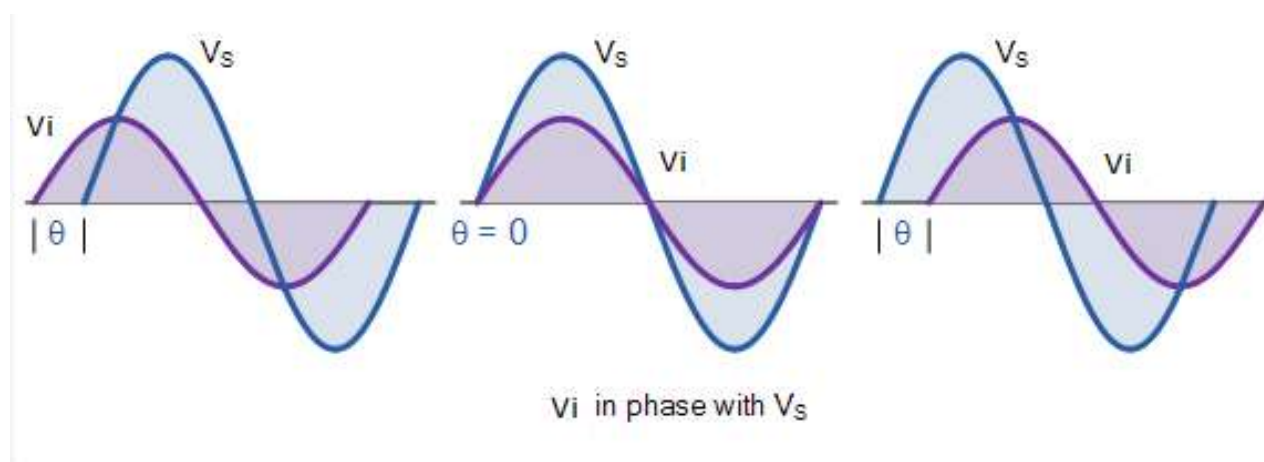


Ilustración 15. Esquemático del circuito resonante en Proteus

Proceder a hallar la frecuencia de resonancia del circuito. Para realizar esto proceder a variar la frecuencia desde unos cuantos Hertz hasta que la señal de entrada y de salida vistas en el osciloscopio estén alineadas. Un ejemplo de la señal a observar es la siguiente figura:





Después de hallar la frecuencia de resonancia en el Osciloscopio compararla con el valor obtenido teóricamente con la expresión:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Comparar los valores de frecuencias obtenidos. ¿Son iguales? Si no lo son, explicar las razones por las cuales no es así.

**NOTA:** para todos los circuitos simulados y tomar pantallazos de los montajes y las señales obtenidas. Entregar un documento en Word los resultados obtenidos junto con las gráficas.