departamento de física
universidad de buenos aires - exactas
Juan José Giambiagi

Clase 05

Circuitos RC

Laboratorio de física 2 para químicos

1) Explicación teórica

Capacitor

-Un capacitor o condensador esta constituido por dos placas conductoras separadas por una distancia pequeña (respecto de las longitudes características de las placas).
-En general, entre ellas hay un medio dieléctrico.
-Si se conecta el capacitor a una fuente, las cargas se distribuyen llegando a una situación de equilibrio donde los dos conductores tienen igual cantidad de carga pero de signo contrario.
-La diferencia de potencial V entre las dos placas conductoras es proporcional a la carga q (medida en Coulomb) que hay en cada placa:

$$q = C.V \qquad (1)$$

donde C la constante se llama capacidad eléctrica (unidades: 1 faradio = Coulomb/Volt).

-Esta constante depende de las características del capacitor (la superficie de las placas, la distancia de separación y el material entre las mismas).

1) Explicación teórica

Capacitores

Existen diferentes tipos de condensadores en función de sus elementos constitutivos:

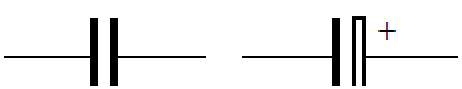
Electrolíticos

Tántalo

Cerámico

Condensadores plásticos:

Símbolo:

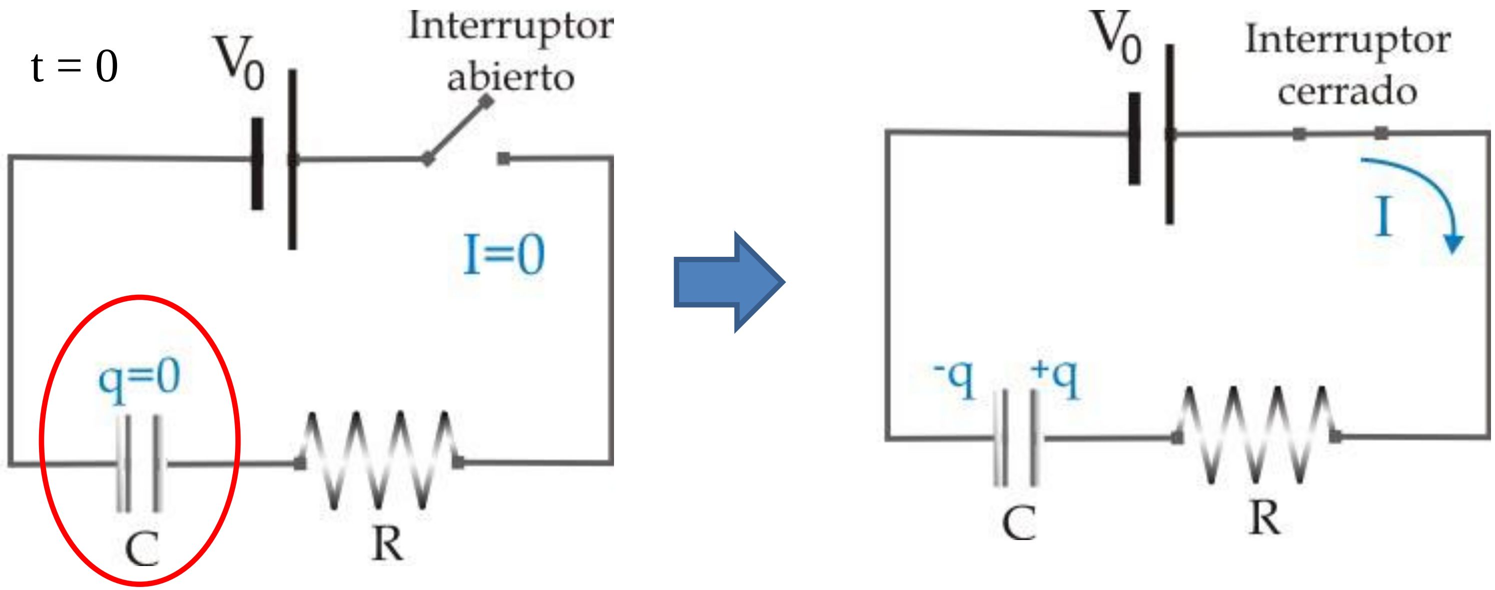


https://docplayer.es/191978-Seguidores-de-clase-universidad-pontificia-de-salamanca-madrid-electronica.html

1) Explicación teórica

Circuito RC

Ecuaciones de carga de un capacitor



-Si inicialmente el capacitor se encuentra descargado, cuando se cierra el interruptor comienza a circular corriente por el mismo hasta cargar el capacitor.

1) Explicación teórica

Circuito RC

Ecuaciones de carga de un capacitor

¿Cómo es I(t) y q(t)?

$$V_0 = V_R + V_C \Rightarrow V_0 = R.I + \frac{q}{C} = R.\frac{dq}{dt} + \frac{q}{C}$$ Ecuación diferencial

Solución particular: $q_p = C.V_0$ $\Rightarrow$ $q(t) = q_h(t) + q_p = A.e^{-t/\tau} + C.V_0$

Solución homogénea: $q_h(t) = A.e^{-t/\tau}$

Donde τ = R.C denominado tiempo característico

La constante A se determina de acuerdo a las condiciones iniciales del problema.
En este caso, inicialmente el capacitor está **descargado** (q(t=0)=0) $\Rightarrow$ $A = -V_0.C$

$$\Rightarrow q(t) = C.V_0.(1 - e^{-t/\tau}) \Rightarrow I(t) = \frac{V_0}{R}.e^{-t/\tau} \Rightarrow \boxed{V_C(t) = V_0.(1 - e^{-t/\tau})} \quad (2)$$

Ecuación de carga

1) Explicación teórica

Circuito RC

Ecuaciones de descarga de un capacitor

-De la misma manera que en el apartado anterior se puede plantear las ecuaciones para la descarga de un capacitor, planteando como condición inicial que el capacitor está cargado:

$$\boxed{V_c(t) = V_0 e^{-\frac{t}{\tau}}} \qquad (3)$$

Ecuación de descarga

2) Objetivos de la práctica

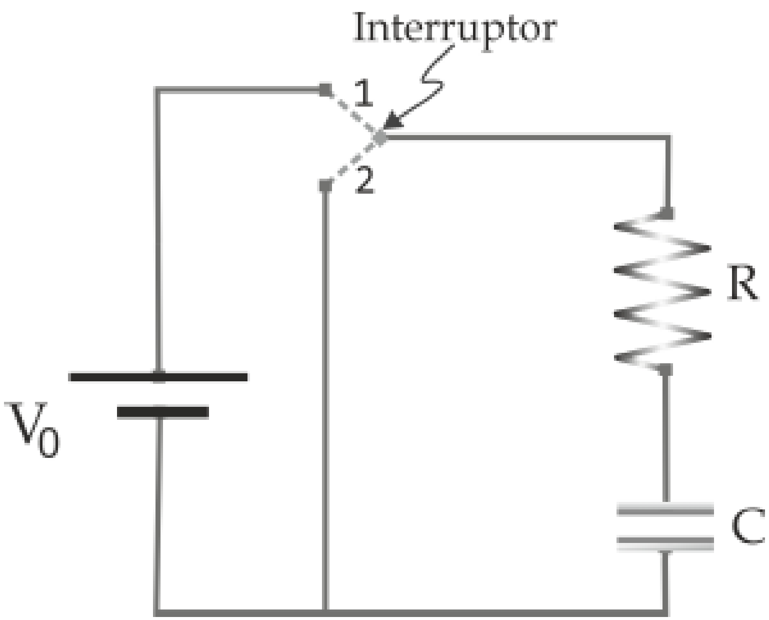
-Estudiar el **régimen transitorio** de un circuito RC, midiendo los tiempos característicos de carga y descarga de un capacitor.
-Estudiar la respuesta del circuito al excitarlo con una señal periódica (filtros pasa bajos y pasa altos).

3) Arreglo experimental:

a) Carga y descarga del capacitor

-Para esta parte se estudia el proceso de **carga** y **descarga** de un capacitor, variando la posición del interruptor del circuito que se muestra en la figura.
-Para estudiar su comportamiento, cargar el circuito en el applet: https://www.falstad.com/circuit/ (***Ejemplo de circuitos- Básicos–condensador*).**

- ➢Posicionar la llave para estudiar la **carga.**
- ➢Detener la simulación donde le parezca conveniente y distinguir cuál es la curva de I(t) y $V_c(t)$ en el osciloscopio.
- ➢Tomar valores de V_c y t en el rango adecuado y grafique V_c vs t.
- ➢Ajustar V_c vs t con una exponencial de acuerdo a la ec (2) y obtener τ.



3) Arreglo experimental:

a) Carga y descarga del capacitor

- Repetir el análisis anterior para estudiar la **descarga**.
- Ajustar V_c vs t con una exponencial de acuerdo a la ec (3) y obtenga τ.
- Linealizar la ec (3) y realizar un ajuste lineal por cuadrados mínimos para obtener τ.

Para analizar y responder:

- ¿Cuál es el tiempo característico que se obtiene de ambas mediciones? Comparar el resultado con el producto R.C que da la simulación.
- ¿Cuál es el valor de tensión que alcanza el régimen estacionario en cada caso?
- Repetir las mediciones utilizando otro valor de tensión de fuente. ¿Debería cambiar el tiempo de carga/descarga?

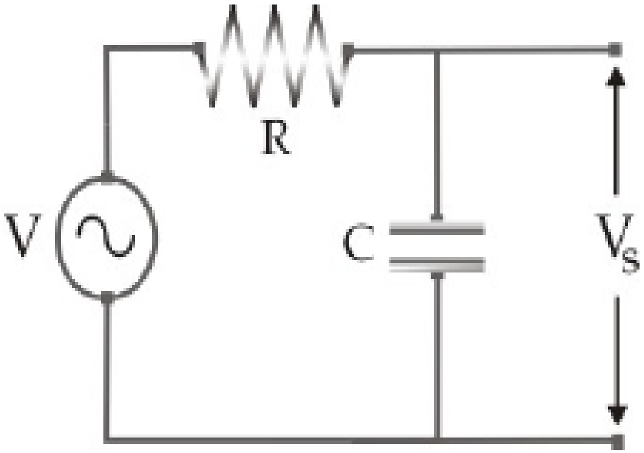
EXTRA:

- Reproducir el video de la carga de un capacitor (V_0 = 7.5 V, R = 200 kΩ y C = 47 μF): https://drive.google.com/file/d/1mufiwrVfgkFGPYkIKJPVqWNsnKKxke8l/view
- Detener el video en diferentes momentos y registrar el voltaje en el capacitor y el tiempo. Realizar una curva con los datos registrados.
- Ajustar por una curva exponencial de acuerdo a la ec (2) y obtener un valor para τ.

3) Arreglo experimental:

b) Filtro RC pasa bajos (integrador)

-El circuito de la figura muestra una tensión de salida, Vs, que coincide con la tensión sobre el capacitor, V_C.
-Aplicando una señal sinusoidal de amplitud de 5V, estudiar la respuesta del sistema en función de la frecuencia.
-Para ello estudiar el circuito anterior en la situación de carga o cargar al simulador el circuito del archivo **FiltroPasaBajos.txt.**



➢Graficar el cociente entre las amplitudes de la señal de salida (V_s) y la de entrada (V), o sea, la **Transferencia** ($T = |V_s/V|$) en función de ω/ω_0 con $\omega_0 = 1/(RC)$. Los valores de V_s se puede obtener en el osciloscopio, pidiendo en la configuración que muestre el valor de pico y la frecuencia. Variar en principio la frecuencia alrededor de ω_0 y luego para todo el rango de ω e ir obteniendo los valores de V_s.
➢Estudiar el **desfasaje** entre las señales de entrada y de salida, $\phi = \omega\Delta t$, en función de ω/ω_0. Para ello ver la señal de entrada en el osciloscopio, remover las señales I(t) y combinar ambos osciloscopios. Medir Δt para distintos frecuencias.

Observación: el simulador mide *f* pero se pide graficar en función de ω/ω_0 (relación $f = \omega/2\pi$).

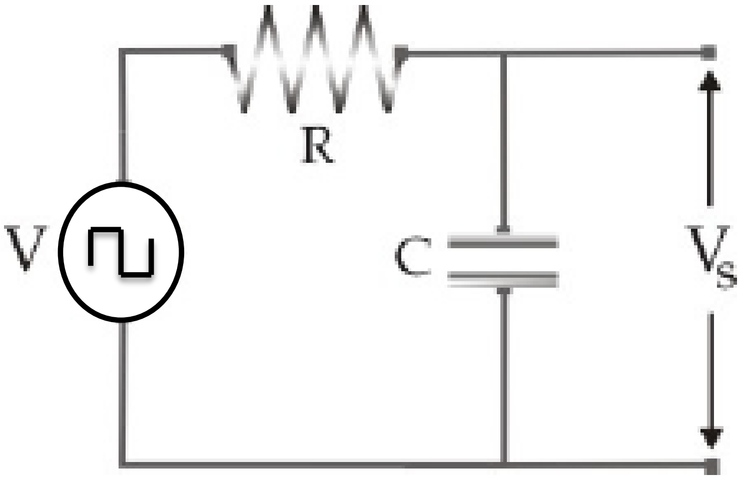
3) Arreglo experimental:

b) Filtro RC pasa bajos (integrador)

-Aplicar una señal cuadrada.

➢Estudiar la forma de la señal de salida en función de la frecuencia.

➢¿Existe alguna relación entre la señal de salida y la de entrada? Describir los resultados mediante los modelos propuestos y comparar con las mediciones.

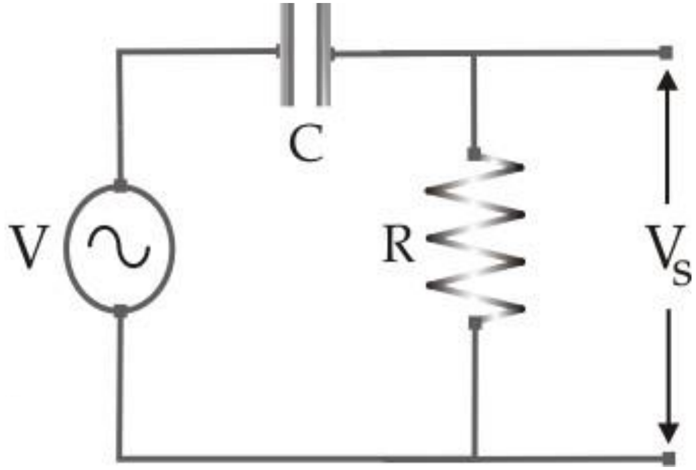


Observación : Ver los Anexo I y II para más información (apuntes del Profesor César Moreno).

3) Arreglo experimental:

c) Filtro RC pasa altos (derivador)

-Para estudiar este filtro se intercambia la ubicación de la resistencia y el capacitor en el circuito. Cargar el archivo **FiltroPasaAltos.txt** al simulador.



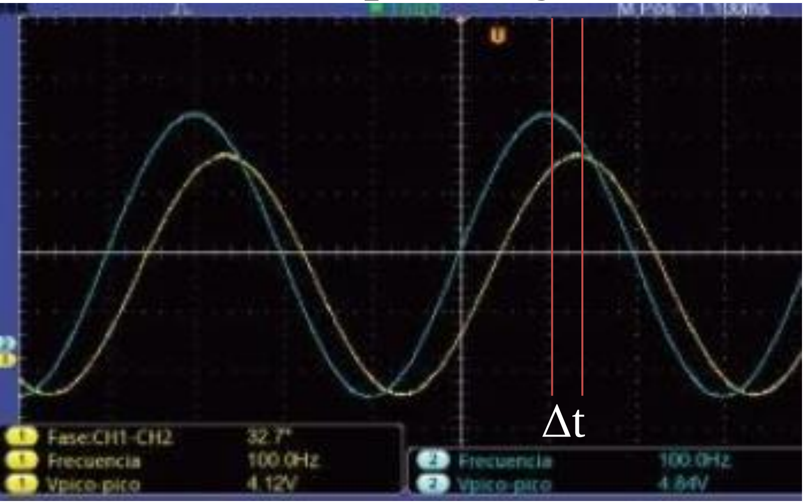
- Repetir las mediciones del caso anterior (T vs ω/ω_0 , y ϕ vs ω/ω_0) midiendo la caída de potencial sobre la resistencia.
- En este caso, aplicar una señal triangular y estudiar la señal de salida.
- Discutir las diferencias con el caso anterior

Recomendación: Ir graficando y ver para qué valores de la frecuencia hacen falta medir. Medir T y la fase al mismo tiempo.

Observación : Especial cuidado al medir Δt, hay que ver si la señal de salida está **atrasando** o **adelantando** con respecto a la señal de entrada y eso define el signo del desfasaje.

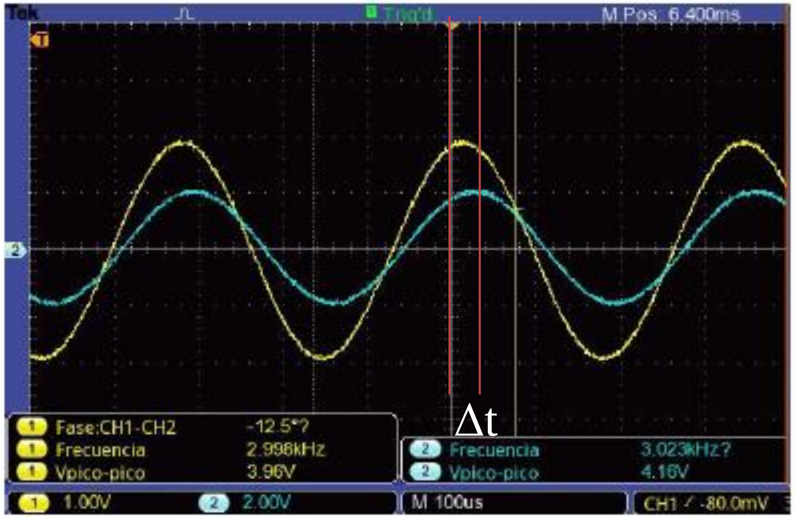
3) Arreglo experimental:
¿Cómo medir Δt?

Filtro RC pasa bajos



Desfasaje entre la tensión de entrada (curva azul) y la de salida curva amarilla). La señal de salida **adelanta** con respecto a la de entrada.

Filtro RC pasa altos



Desfasaje entre la tensión de entrada (curva azul) y la de salida curva amarilla). La señal de salida **atrasa** con respecto a la de entrada.

Pausa

Volvemos en 10 min

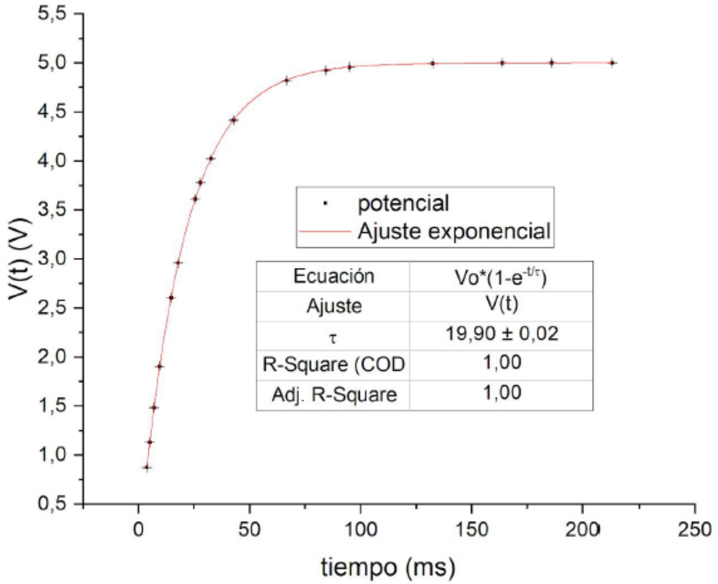
Armado de salas de trabajo con Zoom en grupos de 2 personas

Subir figuras a: https://docs.google.com/document/d/18nz2RAYCKse7pK7evFPqI-Ihf_eFYOE5phMjWPM15Tg/edit?usp=sharing

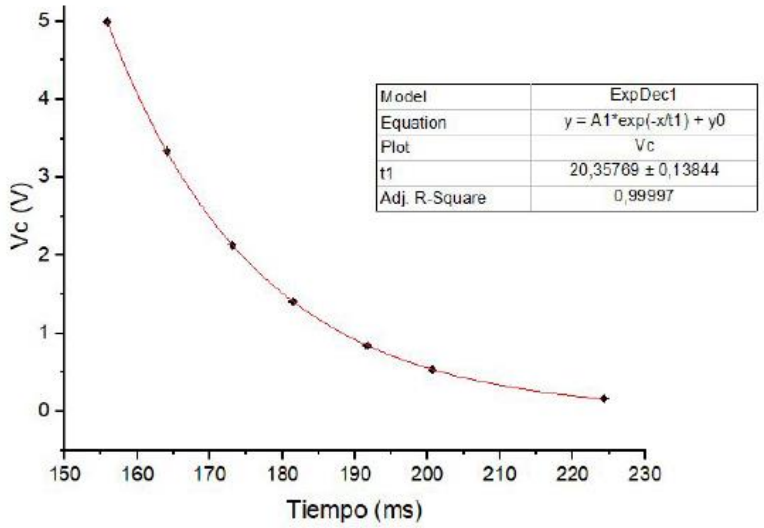
Trabajo en salas por 1 hora

4) Algunos resultados y análisis

a) Carga y descarga del capacitor



Ecuación de carga: $$V_C(t) = V_0.(1 - e^{-t/\tau})$$



Ecuación de descarga: $$V_c(t) = V_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

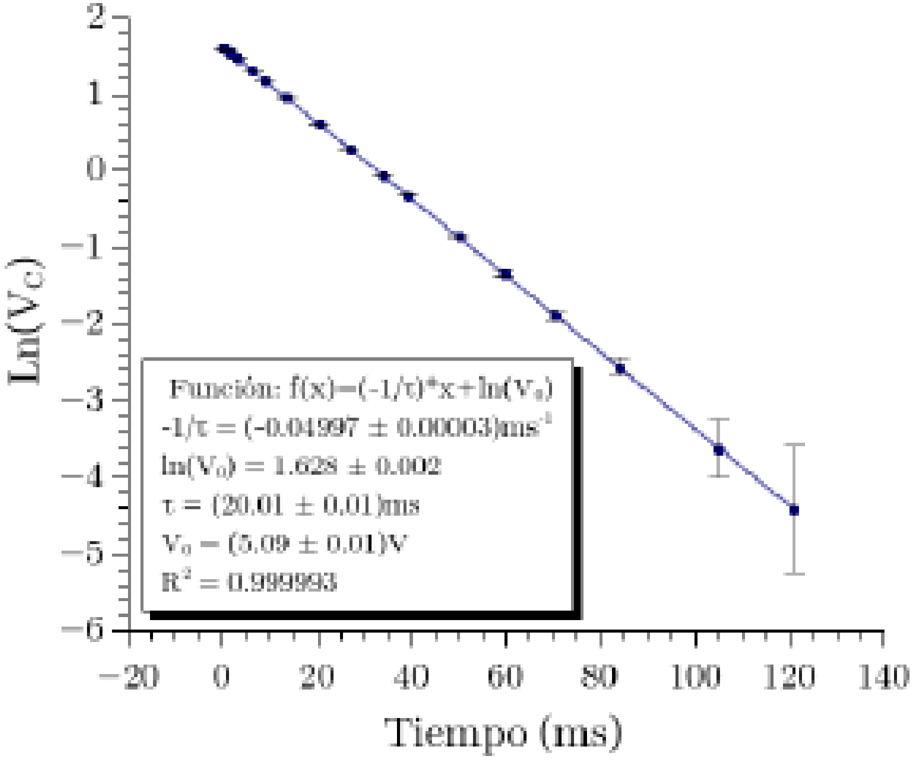
4) Resultados y análisis

a) Carga y descarga del capacitor

Linealización:

$$ln\ V_c(t) = ln\ V_o - t/\tau$$

Graficar: ln V_c vs t

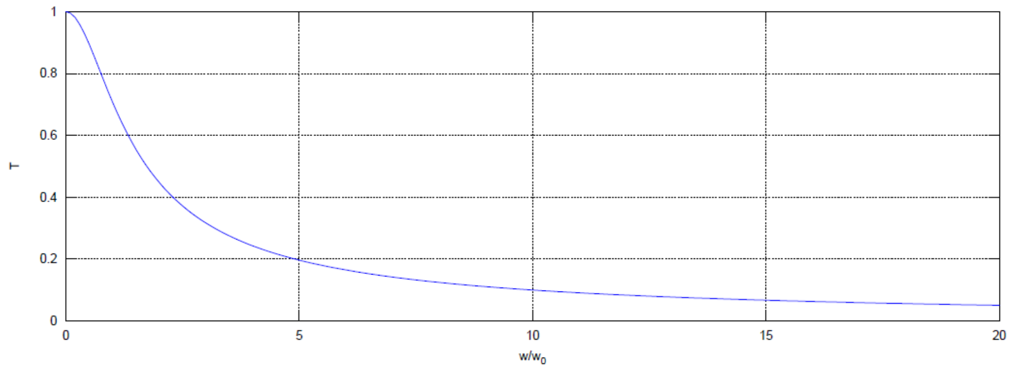


4) Resultados y análisis

b) Filtro RC pasa bajos (integrador)

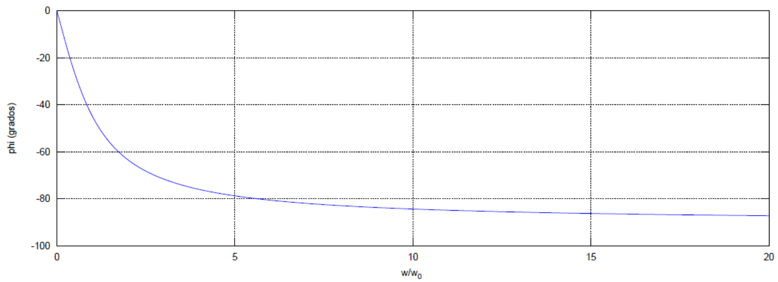
-La función **Transferencia** tiene la siguiente relación con la frecuencia:

$$\boxed{T \equiv \left|\frac{V_0}{V_i}\right| = \frac{1}{\sqrt{1+(\omega/\omega_0)^2}}}$$



-Y la diferencia de fase se relaciona con la frecuencia como:

$$\boxed{\phi = \arctan\frac{\Im\{V_C/V_i\}}{\Re\{V_C/V_i\}} = -\arctan\omega/\omega_0}$$



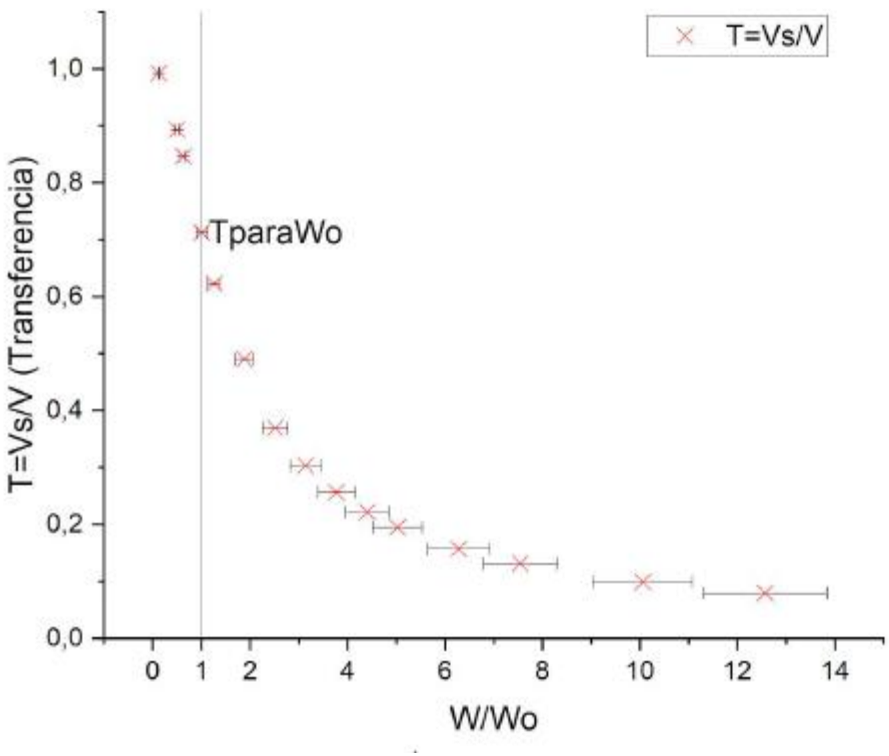
Para $\omega/\omega_0 \rightarrow 0$: $T \rightarrow 1$ y $\phi \rightarrow 0$
Para $\omega/\omega_0 \rightarrow \infty$: $T \rightarrow 0$ y $\phi \rightarrow -90º$

El filtro **pasa bajos** deja pasar las frecuencias bajas y filtra las frecuencias altas.

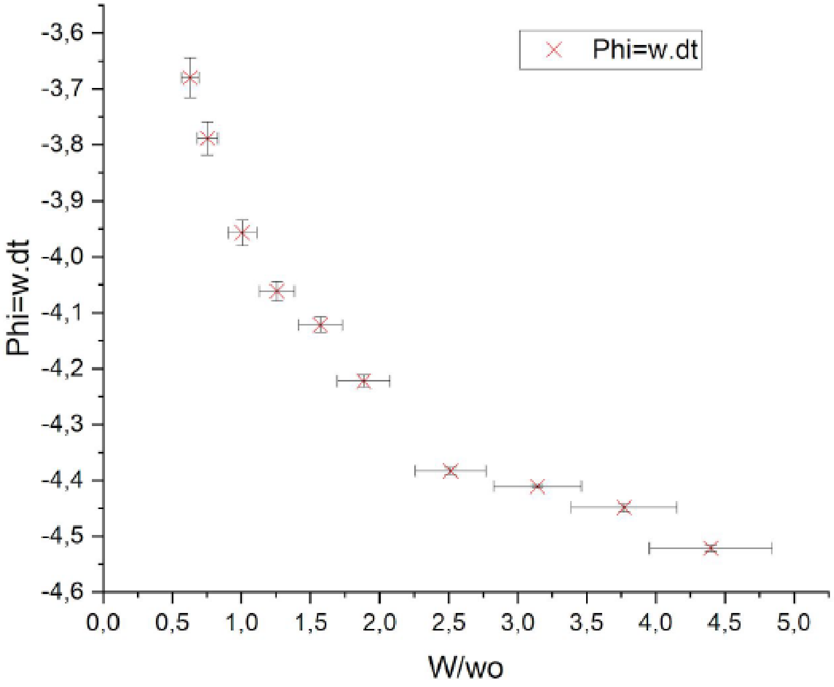
4) Resultados y análisis

b) Filtro RC pasa bajos (integrador)

-T vs ω/ ω_0



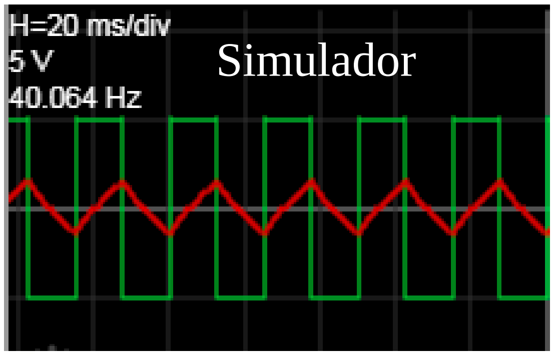
-ϕ vs ω/ ω_0

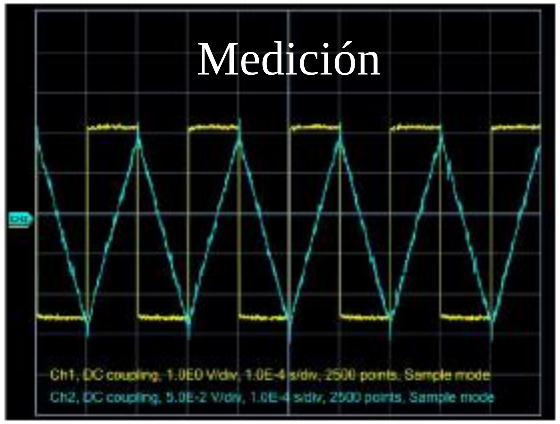


4) Resultados y análisis

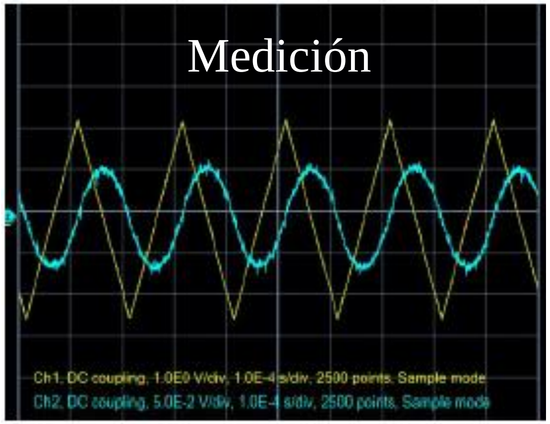
b) Filtro RC pasa bajos (integrador)

-Al aplicar una señal cuadrada (constante), se observa que la señal de salida es la señal integrada (o sea, una lineal).





-Al aplicar una señal triangular (lineal), se observa que la señal de salida es la señal integrada (o sea, una cuadrática)



Es por esto que se lo llama circuito **integrador**

4) Resultados y análisis

Observación para análisis de filtros: diagrama de Bode

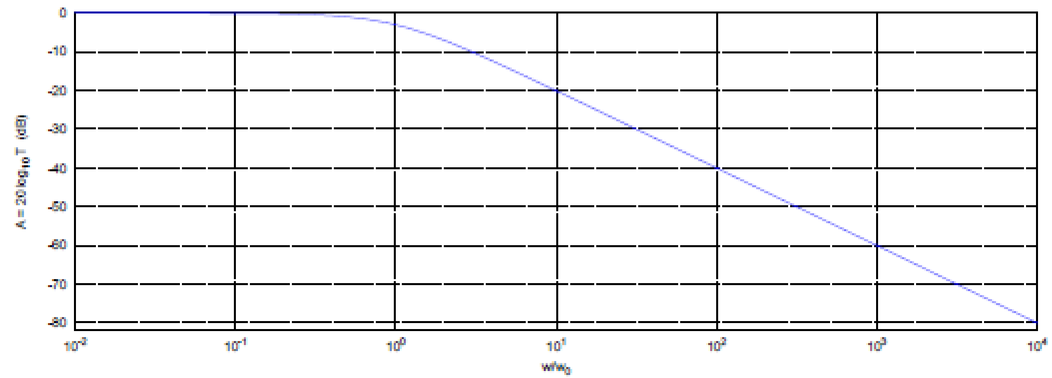
-Se puede graficar la función atenuación, A, vs ω/ω_0

-Esta función se mide en decibeles.

$$A \equiv 20\,\log_{10} T \quad [\mathrm{dB}]$$

-Por ejemplo, una atenuación de $A = -20$ dB se corresponde con una tensión de salida que es 10 veces inferior a la de entrada, esto es, con T = 0.1 (A decrece a una razón constante de 20 dB por década),

-Entonces para el filtro pasa bajos se tiene el siguiente gráfico de A vs ω/ω_0 .



Para $\omega << \omega_0$ se denomina banda pasante (A~0, o sea, T~1).

Para $\omega >> \omega_0$ se denomina banda rechazada.

-La pendiente es una medida de la calidad del circuito para actuar como filtro.

-Cuanto mayor sea el módulo de dicha pendiente, mayor será la capacidad del filtro para discriminar frecuencias.

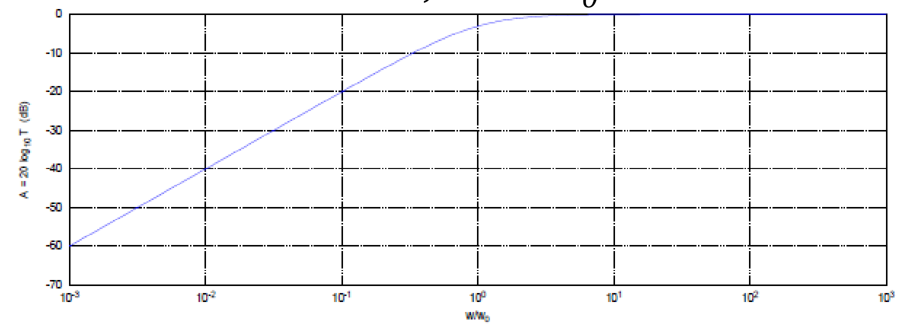
4) Resultados y análisis

c) Filtro RC pasa altos (derivador)

-La función **Transferencia** tiene la siguiente relación con la frecuencia:

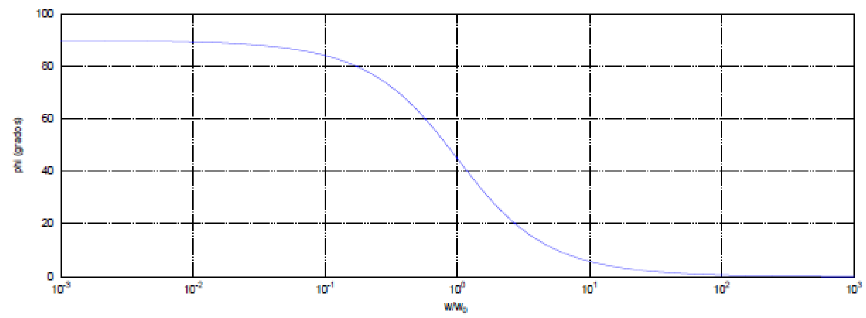
$$\boxed{T = \frac{1}{\sqrt{1 + x^{-2}}}}$$

A, vs ω/ω_0



-Y la diferencia de fase se relaciona con la frecuencia como:

$$\boxed{\phi = \arctan x^{-1}}$$



Con: $x = \omega/\omega_0 = \omega RC.$

Para $\omega/\omega_0 \rightarrow \infty$: $T \rightarrow 1$ y $\phi \rightarrow 0$
Para $\omega/\omega_0 \rightarrow 0$: $T \rightarrow 0$ y $\phi \rightarrow$-90º

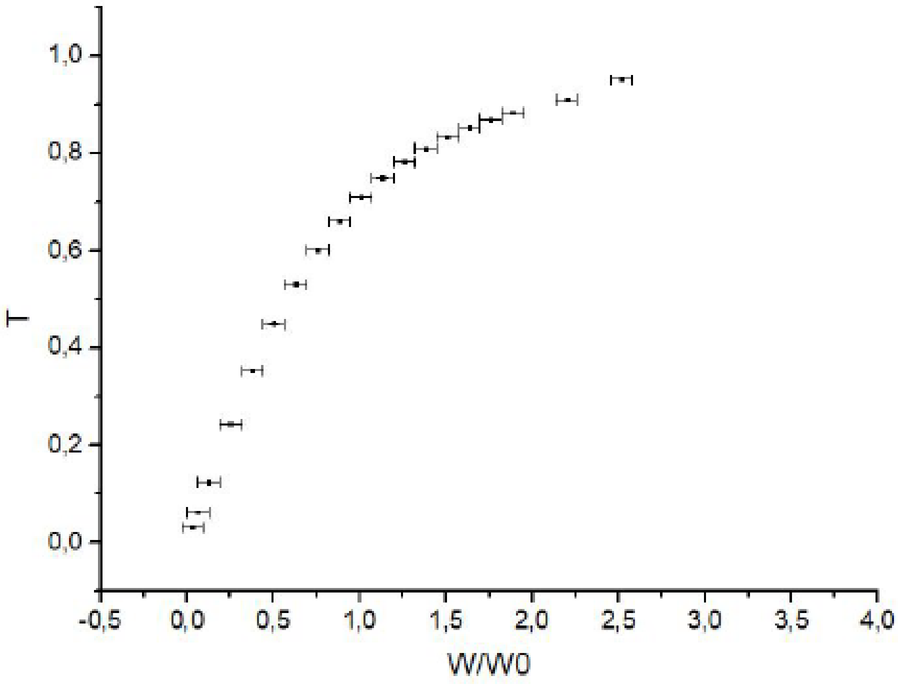
El filtro **pasa altos** deja pasar las frecuencias altas y filtra las frecuencias bajas .

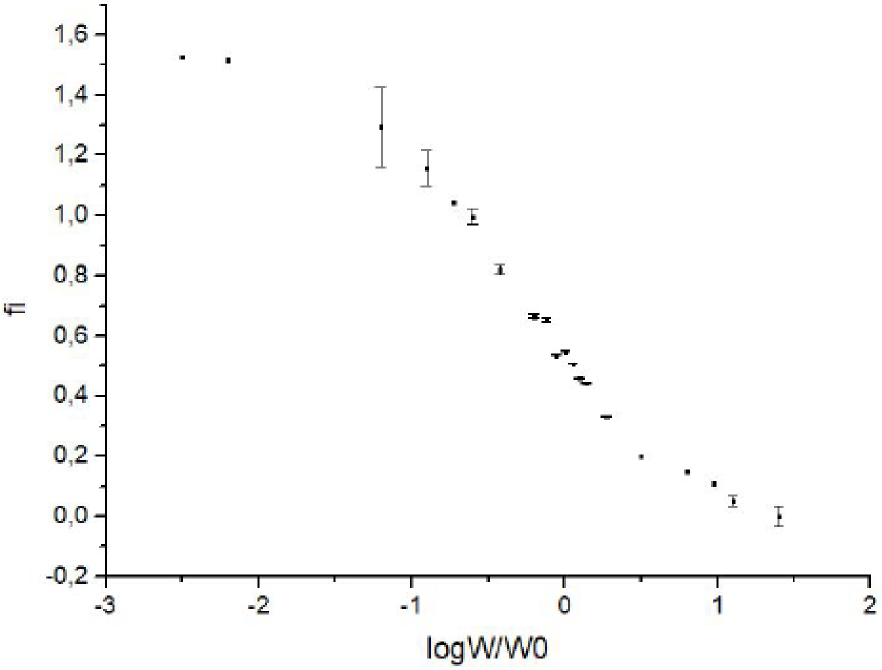
4) Resultados y análisis

c) Filtro RC pasa altos (derivador)

-T vs ω / ω_0

-ϕ vs ω / ω_0

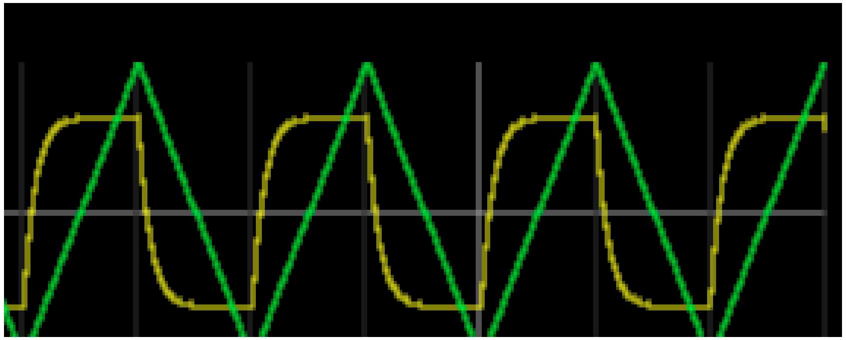




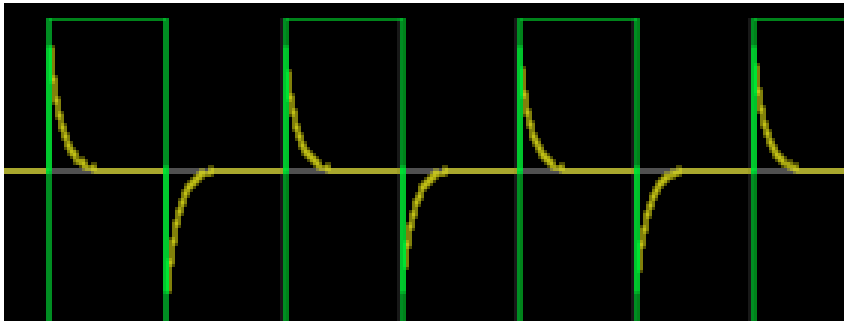
4) Resultados y análisis

c) Filtro RC pasa altos (derivador)

-Al aplicar una señal triangular (lineal), se observa que la señal de salida es la señal derivada (constante).



-Al aplicar una señal cuadrada (constante), se observa que la señal de salida es la señal derivada (señal nula). Notar que en los cambios abruptos del valor de la cuadrada, la señal derivada da una salto (tipo función delta de dirac)



Observación: este efecto se ve para frecuencias bajas.

Es por esto que se lo llama circuito **derivador**