



TRABAJO PRÁCTICO FINAL

PYTHON, LTSPICE Y ALTIUM

22.02 Electrotecnia I

Grupo N°3

Legajo N°	Nombre
61428	Kevin Amiel Wahle
61430	Francisco Basili
61431	Nicolás Bustelo
61433	Sergio Andrés Peralta
61463	Bautista Schneeberger

	Fecha	Docente
Realizado		
Presentado		
Aprobado		

Índice

1. Implementación de interfaz gráfica en Python	2
1.1. Manual	2
2. Simulación en LtSpice	3
2.1. Objetivos y resumen	3
2.2. Carga	3
2.2.1. Análisis teórico	3
2.2.2. Simulación	4
2.3. Descarga	5
2.3.1. Análisis teórico	5
2.3.2. Simulación	5
2.3.3. Sin resistencia	6
2.4. Diagrama de Montecarlo	6
2.4.1. Resultados de la simulación	6
3. Diseño de PCB en Altium	8
3.1. Simulación	8
3.2. Diseño del PCB	9
3.3. Resultado	10

1. Implementación de interfaz gráfica en Python

Para poder simular ciertas características de algunos circuitos que se estudiaron en la materia, se diseñó una interfaz gráfica utilizando un lenguaje de alto nivel como *Python*. Es de código abierto, desarrollado enteramente por el grupo y se puede obtener en GitHub a través del siguiente link:
https://github.com/FranBasili/ET_TPFinal

1.1. Manual

Dentro del repositorio en la carpeta *1 - Python*, se encuentra un *README* que indica el paso a paso para poder ejecutar el script de Python. Una vez que la interfaz aparece podemos notar que nos encontramos en la pestaña de Filtros y arriba la izquierda aparece la etiqueta *Simular*, para poder elegir entre filtro de primer orden o de segundo orden y diferentes opciones en cada uno, como pasa altos, pasa bajo, etc. Estando en la ventana de filtro podemos seleccionar entrada senoidal o de pulso, y diferentes parámetros según el circuito elegido, los parámetros se deben ingresar con coma (','). Presionando el botón *Realizar Gráficos* simulará el filtro elegido con los parámetros ingresados y podemos ver el módulo y fase de la respuesta en frecuencia, una respuesta transitoria y un gráfico de polos y ceros.

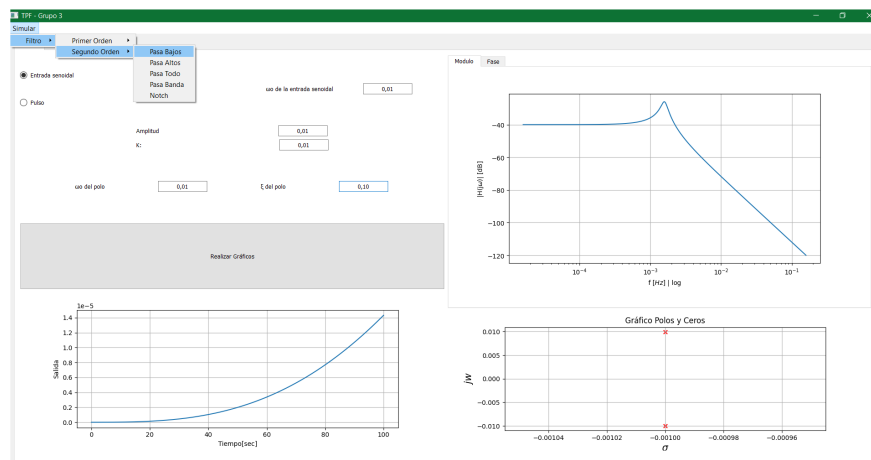


Figura 1: Interfaz de la pestaña Filtros.

Por otro lado en la pestaña *RLC* nos encontraremos con la simulación de un circuito RLC donde podemos ingresar los valores de R, L y C y visualizar los diagramas de bode junto con la función transferencia. Notar que la transferencia se puede realizar entre varios puntos del circuito, seleccionando del lado izquierda la punta de prueba positiva (V_o+) y del lado derecho la negativa (V_o-).

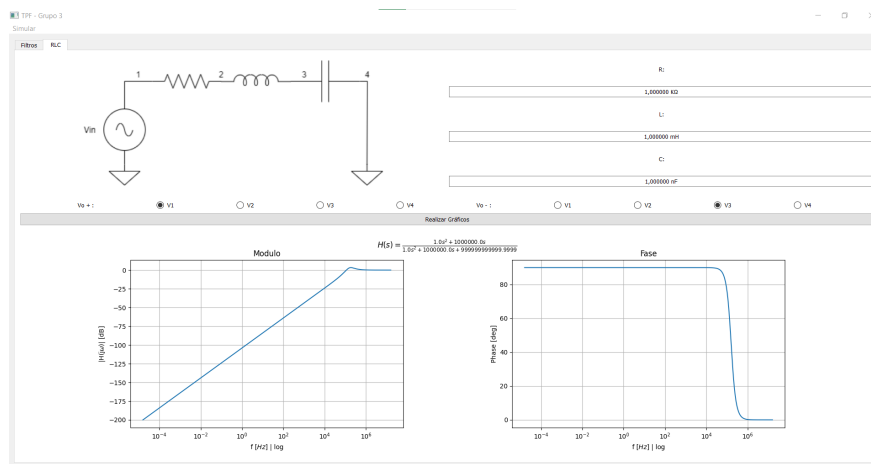


Figura 2: Interfaz de la pestaña RLC.

2. Simulación en LtSpice

2.1. Objetivos y resumen

El objetivo de la sección 2 consiste en analizar un circuito en respuesta transitoria tanto en la carga como en la descarga y analizar ciertas características principales como la pseudofrecuencia de oscilación y el valor máximo de sobrepico. Por último se realizó un análisis de Montecarlo para observar el comportamiento con distintas tolerancias en los componentes.

2.2. Carga

2.2.1. Análisis teórico

El circuito sobre el cual se basó la experiencia de carga fue el siguiente:

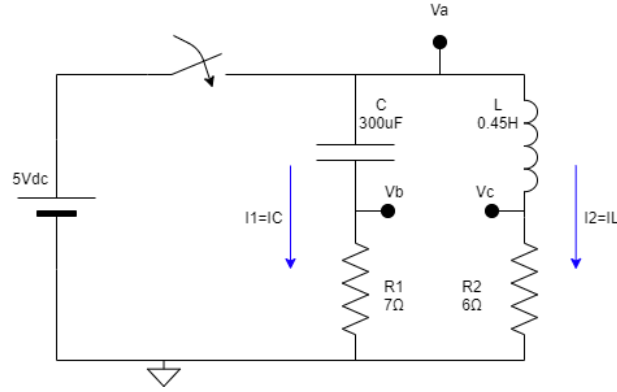


Figura 3: Circuito en etapa de carga

Centrándonos en el marco teórico sabemos que :

$$V_L = L \cdot \frac{dI_L}{dt} \quad I_C = C \cdot \frac{dV_C}{dt} \quad (1)$$

Además sabemos que en $t=0$ el capacitor se comportará como un cable y la bobina como una llave abierta por lo que las condiciones iniciales son:

$$I_L(t=0) = 0A \quad V_C(t=0) = 0V \quad (2)$$

$$V_L(t=0) = V_{cc} = 5V \quad I_C(t=0) = \frac{V_{cc}}{R1} \approx 0,714A \quad (3)$$

Si planteamos las ecuaciones diferenciales para obtener la ecuación del comportamiento transitorio obtendríamos:

$$\begin{aligned} V_{cc} &= V_L + I_L \cdot R2 & V_{cc} &= V_C + I_C \cdot R1 \\ V_{cc} &= L \cdot I'_L + I_L \cdot R2 & V_{cc} &= V_C + C \cdot V'_C \cdot R1 \end{aligned}$$

Despejando las ecuaciones diferenciales concluimos que:

$$I_L(t) = A \cdot e^{-\left(\frac{R2}{L}\right)t} + \frac{V_{cc}}{R2} \quad V_C(t) = B \cdot e^{-\frac{t}{C \cdot R1}} + V_{cc}$$

Donde A y B son constantes que gracias a las condiciones iniciales de eq. (2) concluimos con las ecuaciones correspondientes para cada componente. A su vez por eq. (1) también podemos obtener la tensión de la bobina y la corriente del capacitor:

$$I_L(t) = -\frac{V_{cc}}{R2} \cdot e^{-\left(\frac{R2}{L}\right)t} + \frac{V_{cc}}{R2} \quad V_C(t) = -V_{cc} \cdot e^{-\frac{t}{C \cdot R1}} + V_{cc} \quad (4)$$

$$V_L(t) = V_{cc} \cdot e^{-\left(\frac{R2}{L}\right)t} \quad I_C(t) = \frac{V_{cc}}{R1} \cdot e^{-\frac{t}{C \cdot R1}} \quad (5)$$

2.2.2. Simulación

Gracias a la simulación del programa *LTspice* y a las herramientas para graficar con las librerías en *Python* se obtuvieron los siguientes gráficos donde se puede ver la simulación de cada componente y superpuesta está la curva teórica en base a las ecuaciones previamente mencionadas en eq. (4) y eq. (5)

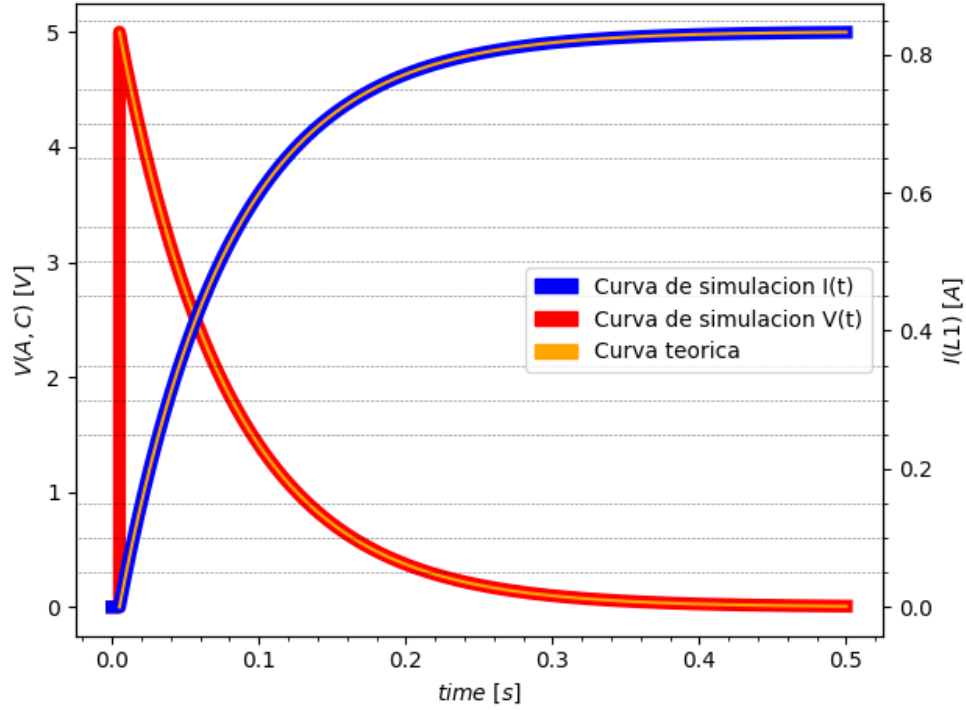


Figura 4: Gráfico de simulación y teórico de L

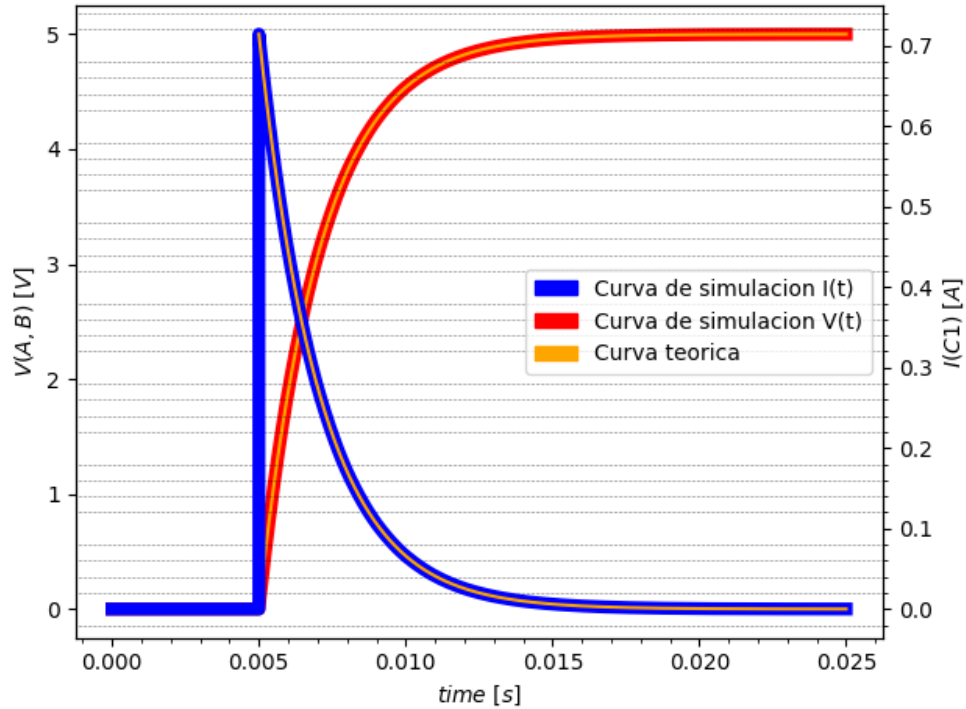


Figura 5: Gráfico de simulación y teórico de C

Podemos notar gráficamente que aparece un sobre pico en la tensión de la bobina que llega a los $V_{Lp} = V_{cc} = 5V$ correspondientes a la tensión de la fuente y en el caso del capacitor podemos notar un sobre pico en la corriente que llega hasta $I_{Cp} = \frac{V_{cc}}{R1} \approx 0,714A$. Estos resultados coinciden con lo enunciado en eq. (2).

2.3. Descarga

2.3.1. Análisis teórico

El circuito sobre el cual se basó la experiencia de descarga fue el siguiente:

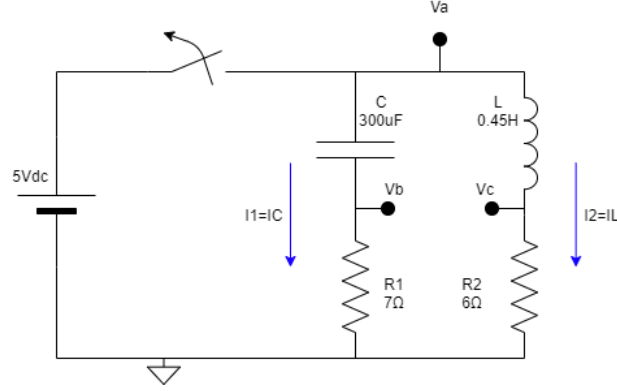


Figura 6: Circuito en etapa de carga

Como se desconecta la llave podemos plantear las siguientes condiciones iniciales que derivan del resultado de eq. (4) y eq. (5) ya en tiempo estacionario:

$$V_{L(t=0)} = 0 \quad V_{C(t=0)} = V_{cc} = 5V \quad I_{L(t=0)} = -I_{C(t=0)} = \frac{V_{cc}}{R2} \approx 0,833A \quad (6)$$

Nuevamente centrándonos en el marco teórico sabemos que el circuito será un RLC serie donde $R_{tot} = R1 + R2$ y L y C se mantienen.

Teniendo en cuenta que la corriente de la bobina y la del capacitor serán iguales ya que todo el circuito está en serie podemos obtener la siguiente ecuación diferencial:

$$I'' + \frac{R_{tot}}{L} \cdot I' + \frac{I}{LC} = 0$$

Si la resolvemos obtendremos $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \approx 86,066 \frac{rad}{s}$ y $\alpha = \frac{R_{tot}}{2L} = 14,4$. Donde ω_0 representa la frecuencia de resonancia y α representa al coeficiente de amortiguación. Al notar que $\omega_0 > \alpha$ podemos concluir que se trata de un circuito subamortiguado, por lo que la ecuación en función del tiempo sería:

$$I(t) = e^{-\alpha \cdot t} \cdot (A \cdot \cos(\omega_d \cdot t) + B \cdot \sin(\omega_d \cdot t)) \quad (7)$$

Donde A y B son constantes y $\omega_d = \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2} \approx 84,845 \frac{rad}{s}$ y gracias a las condiciones iniciales en eq. (6) y a eq. (1) obtenemos:

$$A = I_{(t=0)} = \frac{V_{cc}}{R2} \approx 0,833 \quad B = \frac{\alpha \cdot A}{\omega_d} \approx 0,142$$

2.3.2. Simulación

Gracias a la simulación del programa *LTspice* y a las herramientas para graficar con las librerías en *Python* se obtuvo el siguiente gráfico donde se puede ver la simulación de la corriente por la bobina y el gráfico teórico de la dicha corriente calculado en eq. (7). Podemos notar la respuesta de forma subamortiguada que gracias a las resistencias va disminuyendo hasta llegar a 0.

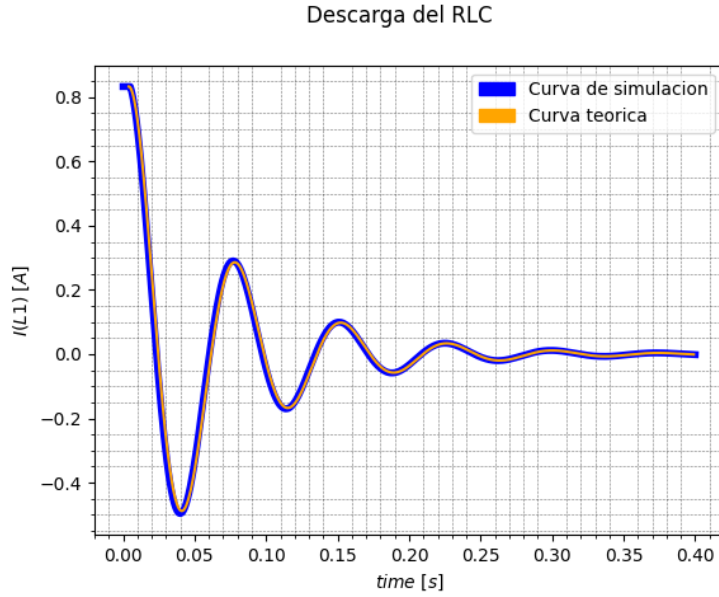


Figura 7: Gráfico de simulación y teórico de $I_{L(t)}$

2.3.3. Sin resistencia

Si las resistencias valen 0Ω , nos quedaría un circuito LC conocido como circuito tanque. Al no haber un elemento disipativo, la energía del sistema se conservará, por lo que la tensión y corriente del circuito oscilarán sinusoidalmente con amplitud constante y una frecuencia $w_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$. En la realidad, es imposible que ocurra, dado que tanto los cables de conexionado como los inductores y capacitores tienen resistencias parásitas, especialmente los primeros que están contruidos a partir de alambre enrollado.

2.4. Diagrama de Montecarlo

Para realizar los diagramas de Montecarlo, se utilizó el mismo circuito de fig. 3, en donde la tolerancia de las resistencias son de 5 %, la del capacitor son de 10 % y la bobina 0 %. Podemos notar como las curvas son similares a las anteriores pero con una diferencia representando a las tolerancias antes mencionadas.

2.4.1. Resultados de la simulación

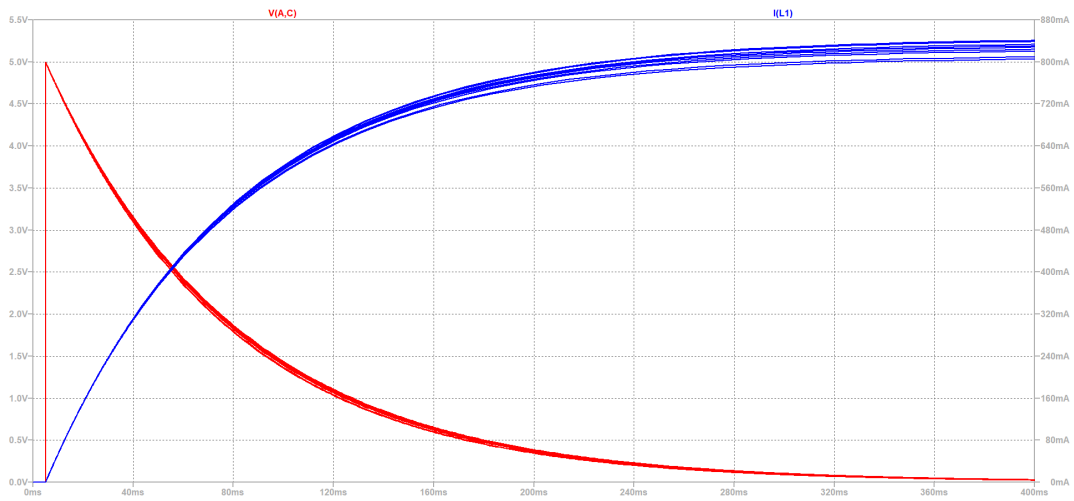


Figura 8: Análisis Montecarlo: Carga L

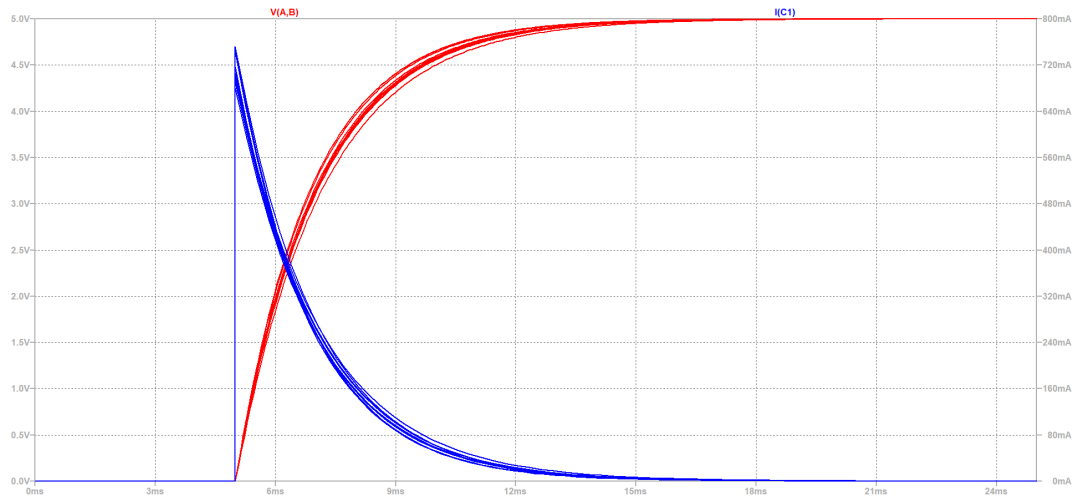


Figura 9: Análisis Montecarlo: Carga C

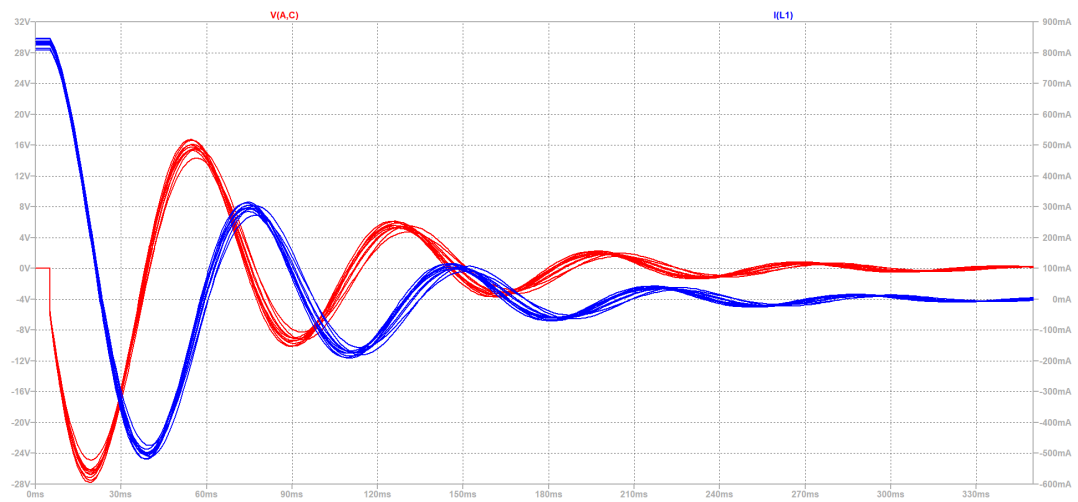


Figura 10: Análisis Montecarlo: Descarga L

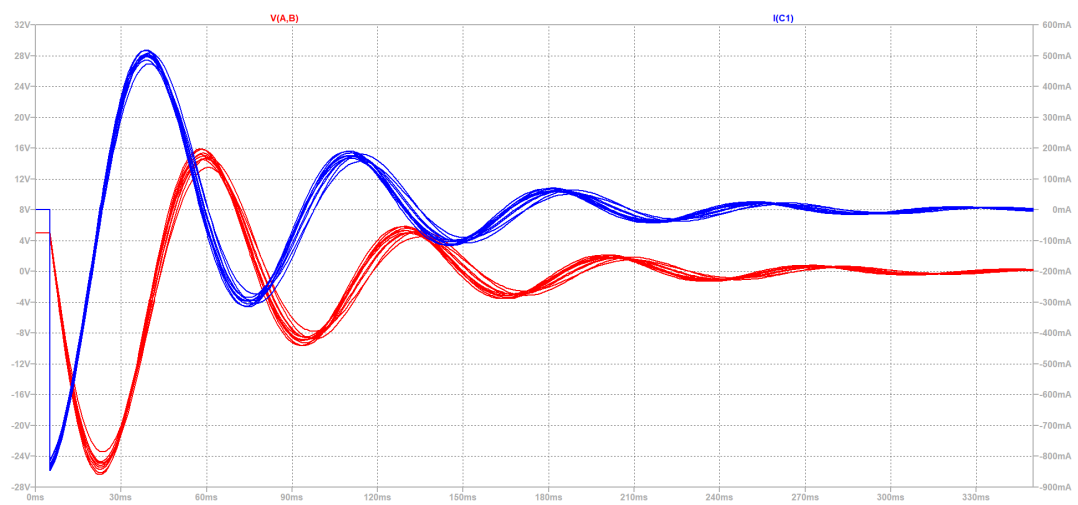


Figura 11: Análisis Montecarlo: Descarga C

3. Diseño de PCB en Altium

3.1. Simulación

A partir de la simulación llevada a cabo en *LTspice*, mediante el análisis de la función transferencia $H(j2\pi f) = \frac{V_{out}}{V_{in}}$, se llegó a la conclusión de que el circuito presentado es un circuito pasa bajos, con una frecuencia de corte de entre 1,8kHz y 2kHz, si tenemos en cuenta la tolerancia inducida en los componentes.

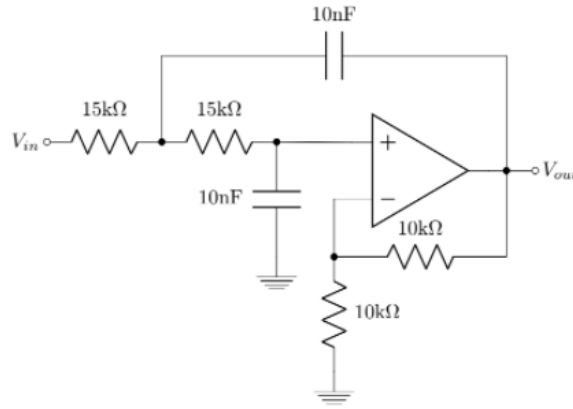


Figura 12: Circuito

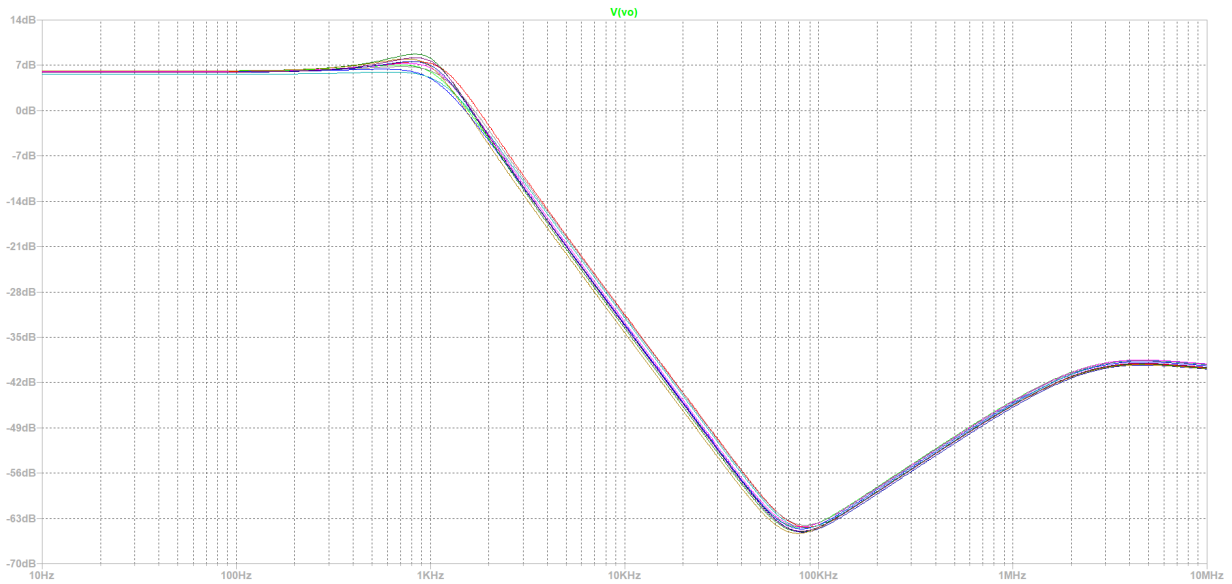


Figura 13: Variación de la amplitud en frecuencia

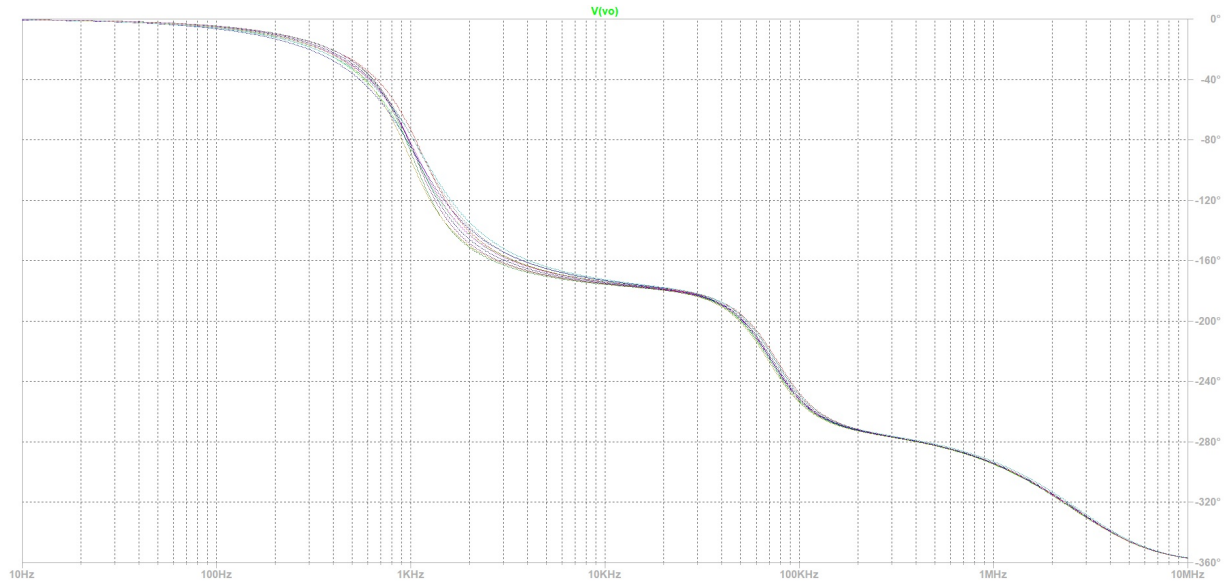
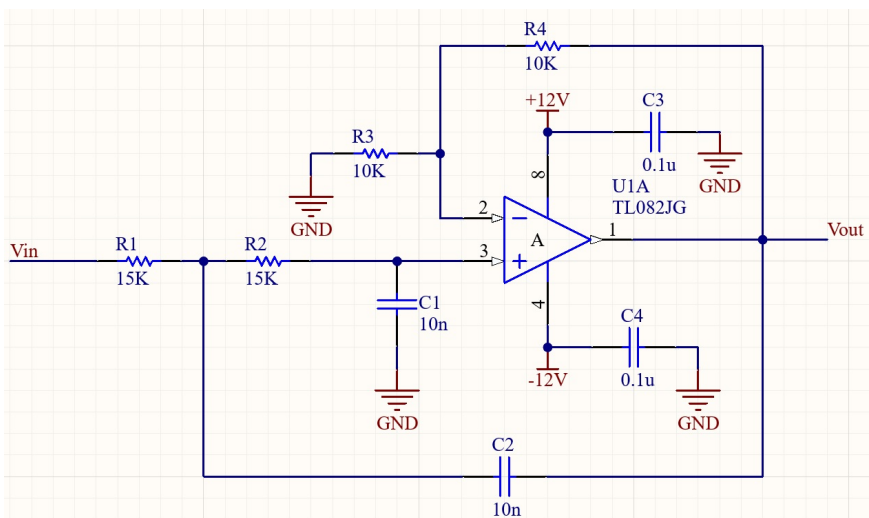


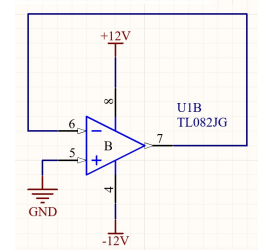
Figura 14: Variación de la fase en frecuencia

3.2. Diseño del PCB

Se utilizó el amplificador operacional TL082, en particular, para el diseño del circuito en *Altium*, la serie TL082JG, ya que su modelo se encontraba para montaje *through hole*. En cuanto al conexionado del integrado, se tuvo en cuenta el hecho de que solo se utilizó un amplificador operacional de los dos que el integrado ofrece, por lo que se tomaron recaudos para el conexionado del amplificador operacional no utilizado. A partir de la información brindada por el documento *How to Properly Configure Unused Operational Amplifiers* de Texas Instruments, se conectó el pin inversor a la salida del amplificador y el pin positivo a tierra. Además se agregaron dos capacitores para que operen como *bypass*, de $0,1\mu F$, entre $+12V$ y GND y entre $-12V$ y GND, próximos a los pines de alimentación del integrado con el fin de reducir el ruido en el lugar mas óptimo, que es justo en la entrada, tal como la hoja de datos lo recomendaba. Como se mencionó implícitamente anteriormente, se optó por alimentar al circuito con una tensión diferencial estándar de $\pm 12V$. Todo lo anteriormente mencionado puede verse en fig. 15.



(a) Circuito principal



(b) Conexión de pines sin uso

Figura 15: Circuitos diseñados

3.3. Resultado

Una vez diseñado el circuito en Altium, se continuo con el diseño físico de la PCB. Para ello se comenzó ajustando sus dimensiones, para luego colocar los componentes. Los primeros en ubicarse fueron los conectores, que se los posicionó sobre uno de los bordes de la placa. Luego los capacitores, las resistencias y el amplificador fueron ubicados convenientemente para evitar la utilización de vías y puentes. Finalmente el circuito puede verse en fig. 16 y producirse imprimiendo la fig. 17. Si se desea visualizar su disposición de forma realista, puede generarse la vista 3D que provee el mismo Altium (fig. 18) .

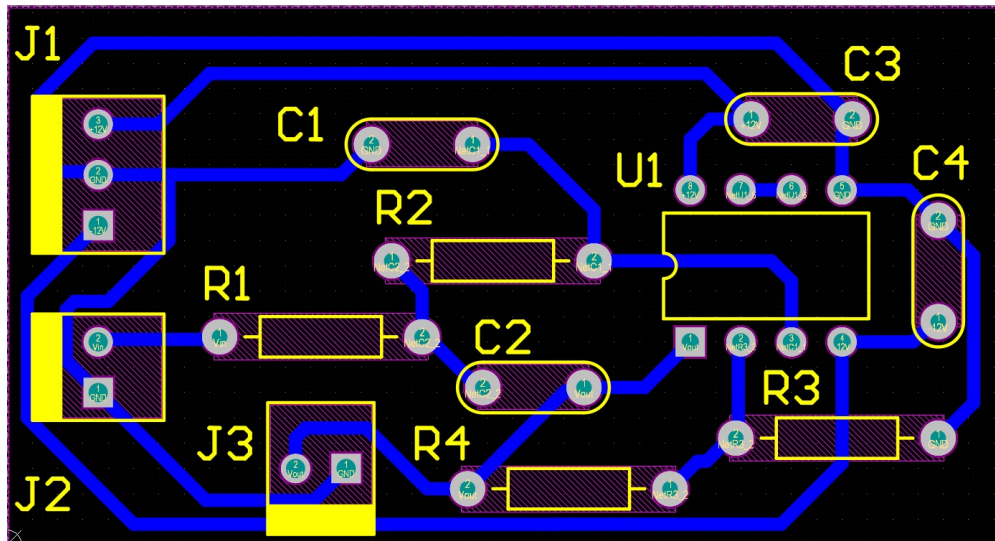


Figura 16: Diseño. 50mm de largo por 27mm de alto

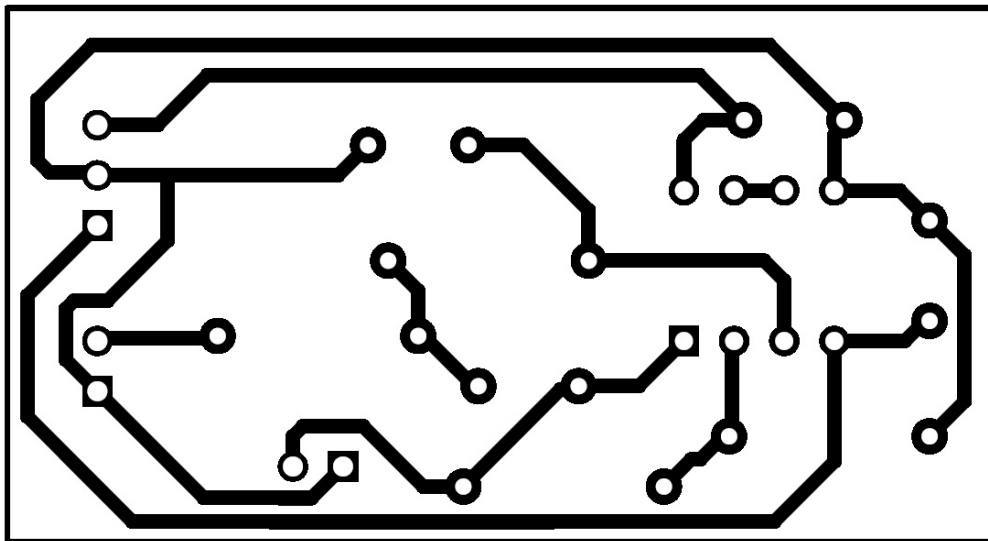


Figura 17: PCB listo para la impresión

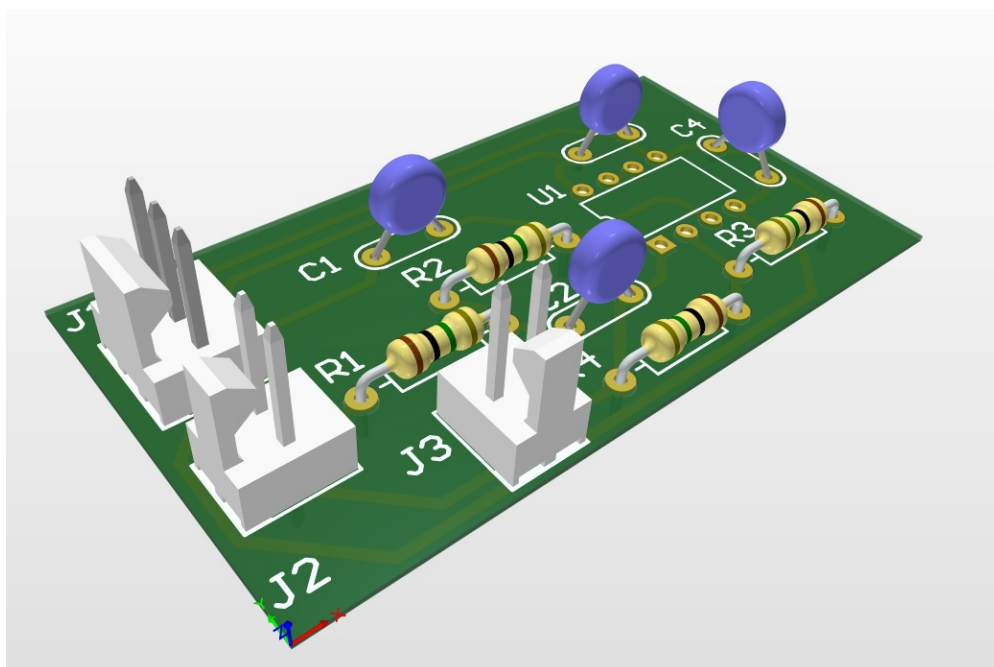


Figura 18: Modelo 3D del PCB terminado