

Índice

1. Introducción	2
2. Transferencia asignada	2
3. Análisis de la transferencia	3
3.1. Diagramas de BODE	3
3.2. Respuesta al impulso y escalón unitario	4
3.3. Respuesta a ondas cuadradas	7
4. Circuito propuesto	9
4.1. Valores normalizados	11
5. Análisis de la transferencia normalizada	12
6. Simulación y Análisis	15
7. Esquema del circuito final	19
8. Mediciones y Análisis	20
8.1. Respuesta del filtro a excitación senoidal	20
8.2. Características del filtro	21
8.3. Respuesta a ondas cuadradas	22
9. Conclusiones	23

1. Introducción

El presente informe recopila el análisis, estudio y realización del trabajo práctico de la materia Análisis De Circuitos. Durante la desarrollo del mismo se buscó encontrar, partiendo de una transferencia sugerida, un circuito electrónico capaz de generar la misma respuesta en frecuencia considerando siempre valores normalizados para sus componentes. Estos valores normalizados (también llamados comerciales) corresponden a valores de la serie E96 para las resistencias, y E12 para los capacitores.

2. Transferencia asignada

La transferencia trabajada es la siguiente:

$$H_6(s) = \frac{V_{\text{salida}}}{V_{\text{entrada}}} = \frac{s^2}{s^2 + 444 s + 9,869 \cdot 10^4} \quad (1)$$

Para definir que tipo de filtro es realizo un análisis del mismo con $s = j\omega, \omega \rightarrow 0$ y $s = j\omega, \omega \rightarrow \infty$. En el primer caso se tiene que el denominador tiende a 0, mientras que el numerador tenderá a $9,869 \cdot 10^4$. Por lo tanto, se tiene que

$$|H_6(j\omega)| \xrightarrow{\omega \rightarrow 0} 0$$

En el otro caso, al tender a infinito, 'vencerán' los términos de mayor orden. Como ambos términos no están multiplicados por ninguna constante, se encuentra

$$|H_6(j\omega)| \xrightarrow{\omega \rightarrow \infty} 1$$

Considerando ambos razonamientos se tiene que esta transferencia corresponde a la de un **filtro pasa altos**, ya que dejará pasar las frecuencias altas y atenuará las frecuencias bajas.

Se buscará ahora la frecuencia de corte, para lo cual se pensará en la forma canónica de un pasa altos, siendo esta

$$H(s) = \frac{s^2}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q}s + \omega_0^2} \quad (2)$$

siendo Q el factor de calidad, y ω_0 la pulsación de corte. Viendo ahora (1) y (2), se tiene el sistema de ecuaciones

$$\begin{aligned} \frac{\omega_0}{Q} &= 444 \\ \omega_0^2 &= 9,869 \cdot 10^4 \end{aligned}$$

Del cual resulta

$$\begin{aligned} \omega_0 &\approx 100\pi \\ Q &= \frac{\pi}{4,44} \approx 0,70757 \end{aligned}$$

Sabiendo ahora que $f_0 = 2\pi \omega_0$ se tiene que la frecuencia de corte será $f_0 = 50 \text{ Hz}$. Se analizarán ahora las singularidades de la transferencia. Sabiendo que $Q > 0,5$ resultarán singularidades complejas conjugadas en el denominador (es decir, polos). Por otro lado, habrá un cero doble en 0.

Así, para los polos, analizó las raíces del polinomio

$$s^2 + 444s + 9,869 \cdot 10^4 = 0$$

$$s_{1,2} = -222 \pm 222,275j$$

Pensando en la circunferencia que une a los polos conjugados, se encuentra que veremos un polo doble en $\omega = |s_{1,2}| = \omega_0 = 100\pi$.

En cuanto al factor de calidad, podemos estimar que la respuesta en frecuencia se comportara muy similar a la de una transferencia con un polo doble real. Esto es ya que el Q es tan solo 0,7, muy cercano a 0,5.

Estos resultados (tipo de filtro, ubicación de polos y ceros, frecuencia de corte) buscan serán confirmados mediante simulaciones en la siguiente sección: Análisis de la transferencia.

3. Análisis de la transferencia

En esta sección, utilizando principalmente el software libre Octave, se buscará realizar distintas simulaciones con el objetivo de interpretar el comportamiento de la transferencia asignada.

3.1. Diagramas de BODE

Se comenzará realizando el diagrama de BODE para la transferencia, definida en la anterior sección como

$$H_6(s) = \frac{V_{salida}}{V_{entrada}} = \frac{s^2}{s^2 + 444 s + 9,869 \cdot 10^4}$$

Los diagramas resultan

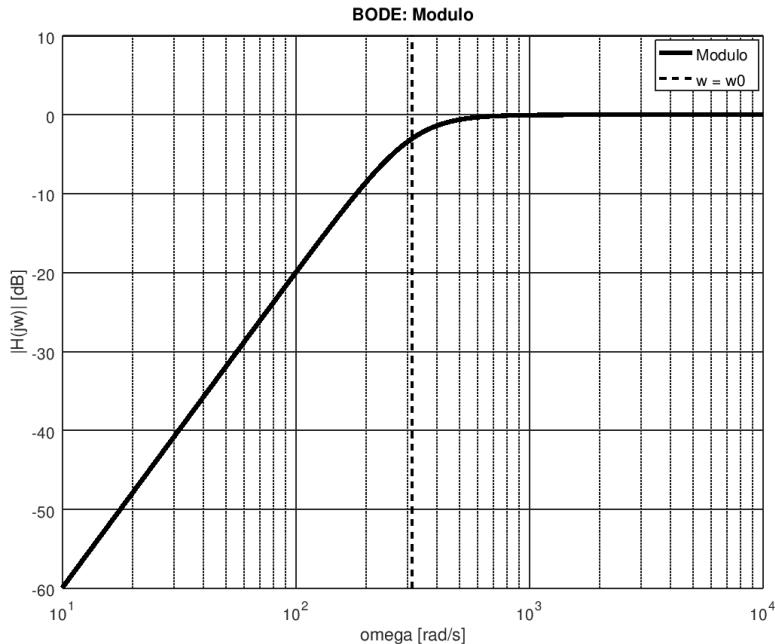


Figura 1: Diagrama de BODE para el modulo, en escala semilogarítmica.

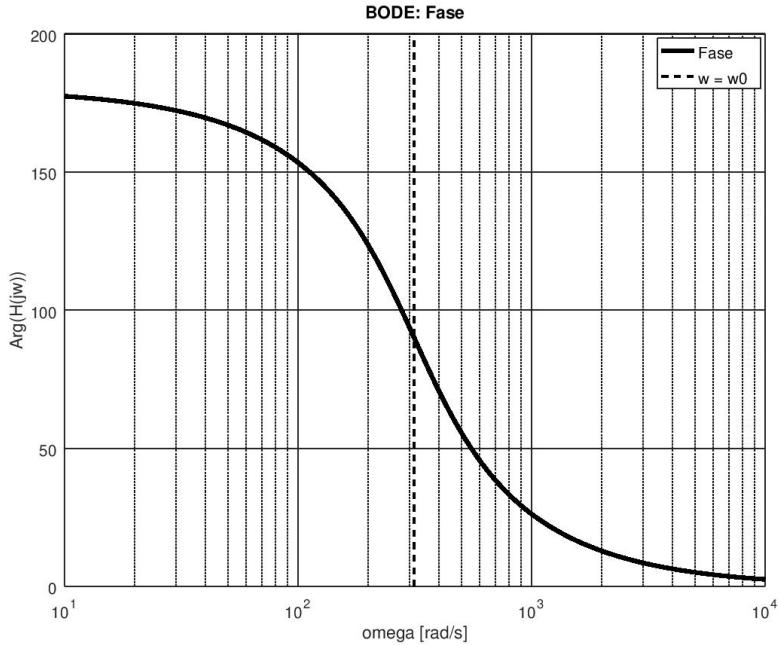


Figura 2: Diagrama de BODE para la fase, en escala semilogarítmica.

De los gráficos puede observarse que en modulo tiene una respuesta esperada: no altera las frecuencias altas, mientras que las bajas las atenúa cada vez mas. Efectivamente se trata de un pasa altos. Por otro lado, puede observarse que la pulsación de corte gráfica se encuentra, efectivamente, en las proximidades de la estimada analíticamente (representada por la recta punteada). En cuanto a la fase se observa que para frecuencias altas (después de la frecuencia de corte) no altera misma: en otras palabras, deja pasar las frecuencias altas tal como ingresaron. Para frecuencias menores a la frecuencia de corte invierte la fase en 180 grados.

3.2. Respuesta al impulso y escalón unitario

Con lo visto en los diagramas se buscara ahora interpretar la respuesta al escalon y al impulso de la transferencia, mediante simulaciones en Octave.

Se observa ahora la respuesta al escalón

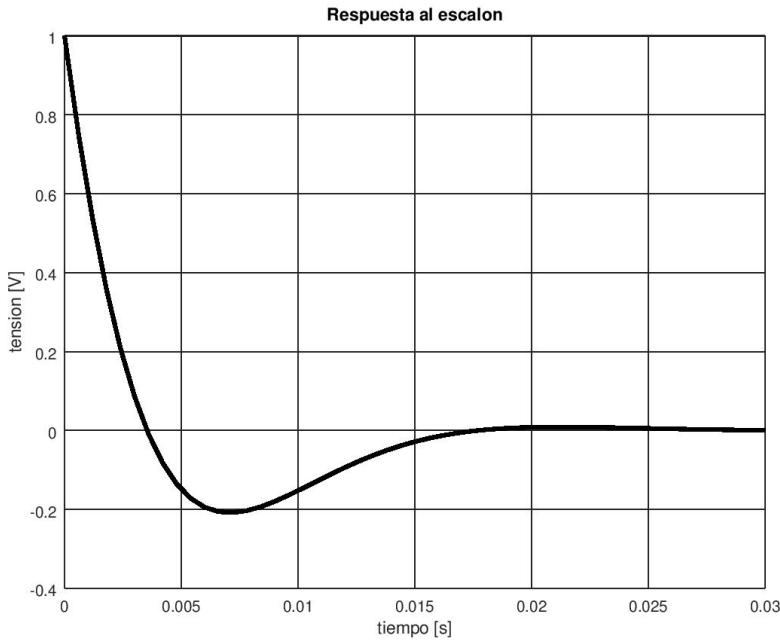


Figura 3: Respuesta al escalón unitario, en función del tiempo.

Siendo un pasa altos resulta esperada esta respuesta: las frecuencias bajas se continúan atenuando (para tiempo mayor que 0) así que la respuesta tiende a anularse. Por otro lado, el pico en tiempo igual a 0 (frecuencias altas) efectivamente sube hasta 1 volt (las deja pasar). Cabe destacar que para tiempos cercanos a 0 se encuentra una respuesta no lineal. Esto se debe a que entre la subida (tiempo 0) y la continua (tiempo mayor a 0), el sistema debe adaptarse y responde con un régimen transitorio.

Antes de presentar la respuesta al impulso, cabe destacar que la simulación en Octave exigió cambiar ligeramente la transferencia, de lo contrario el software lanzaba una excepción. Esto resulta ya que un impulso está compuesto por infinitas frecuencias (de 0 a infinito), por lo que el filtro pasa altos solo atenua las frecuencias bajas y pasan infinitas altas. Por esto, el software no es capaz de manejar una respuesta infinita y se debió agregar un polo en aproximadamente $100 \cdot \omega_0^1$ con tal de atenuar las frecuencias más altas (infinitas).

Con estas consideraciones en cuenta y la transferencia con un polo simple extra, se grafica la respuesta al impulso:

¹Bastaba con elegir una frecuencia lo suficientemente alta, yo opté por $100\omega_0$ pero podría haberse elegido $10\omega_0$ o $1000\omega_0$ también.

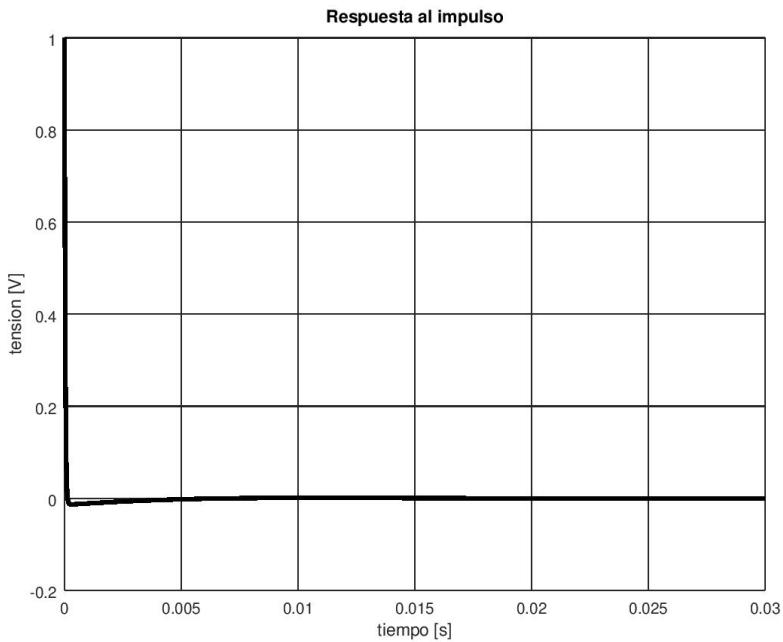


Figura 4: Respuesta de tension en funcion del tiempo.

Comparando esta grafica con la respuesta al escalon los resultados **no** coinciden: siendo que la respuesta al impulso es igual a la derivada de la respuesta al escalon no se encuentra relacion. La respuesta *deberia* comenzar en los numeros negativos, cruzar al 0 en aproximadamente 7ms, y continuar con los positivos ².

Se atribuye este error a la simulacion hecha por Octave, y se busco otro software capaz de graficar y calcular antitrasnformadas de Laplace mediante un sistema algebraico. Se eligio a Geogebra para la tarea y los resultados son ahora mas logicos:

²Recordar que la respuesta al escalon comienza con pendiente negativa, tiene un minimo en aprox. 7ms y luego vuelve a crecer.

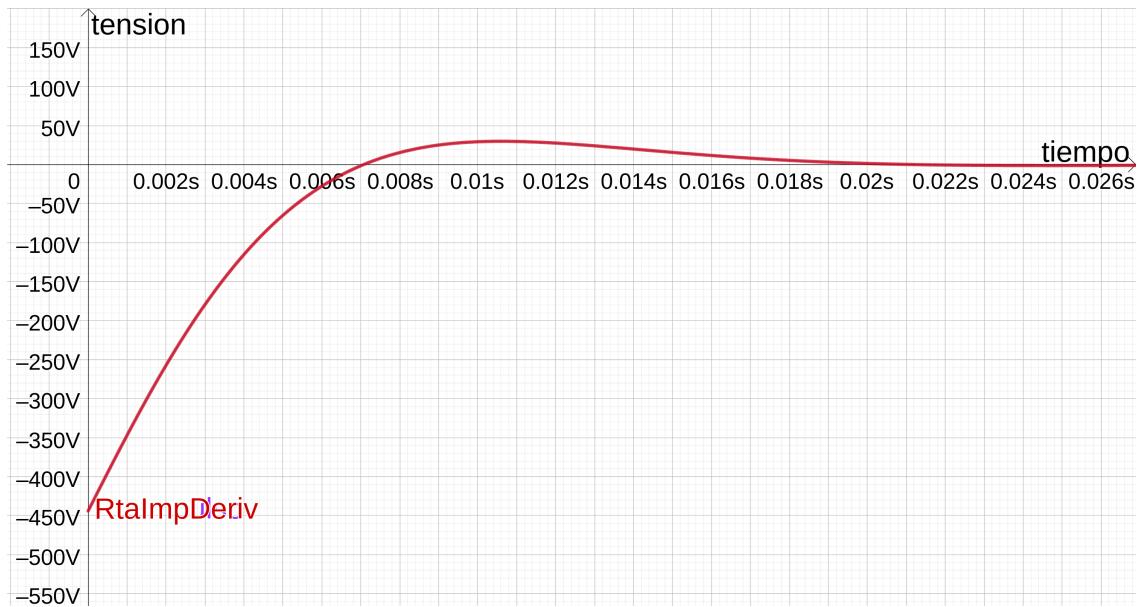
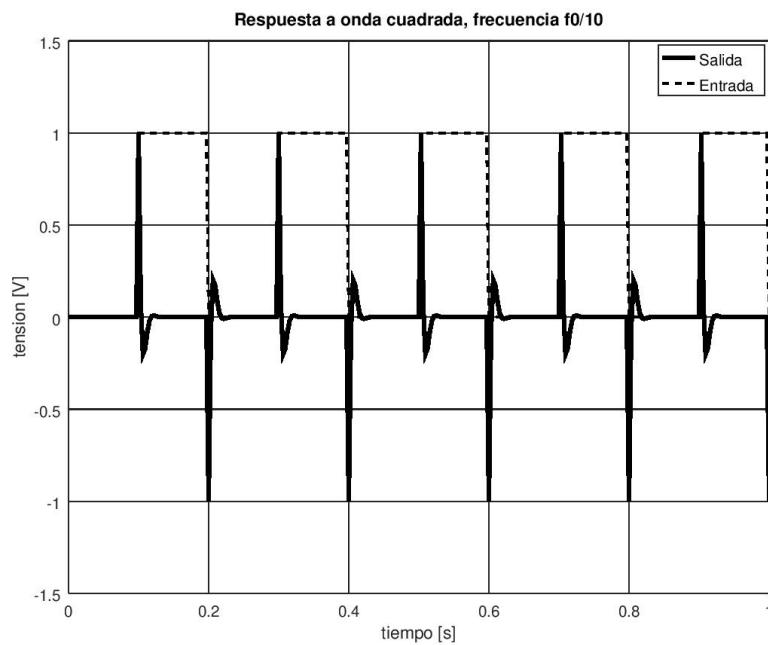
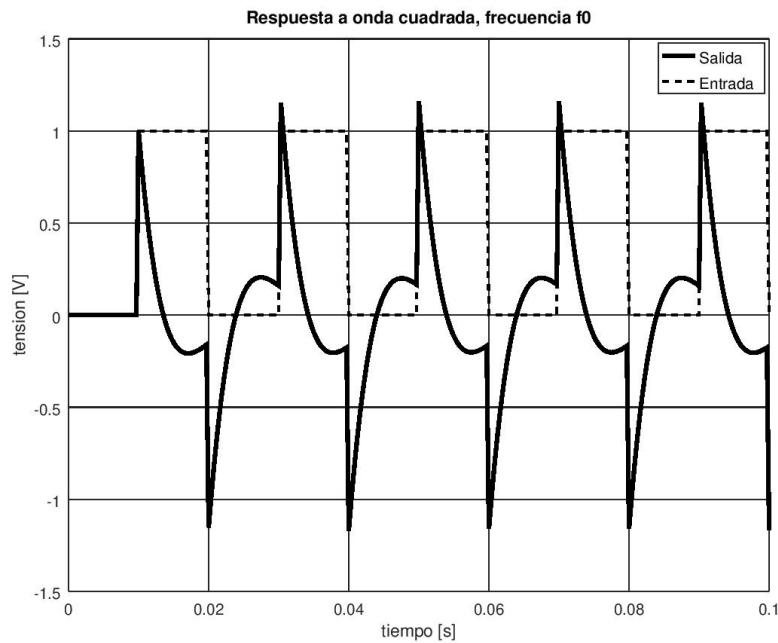


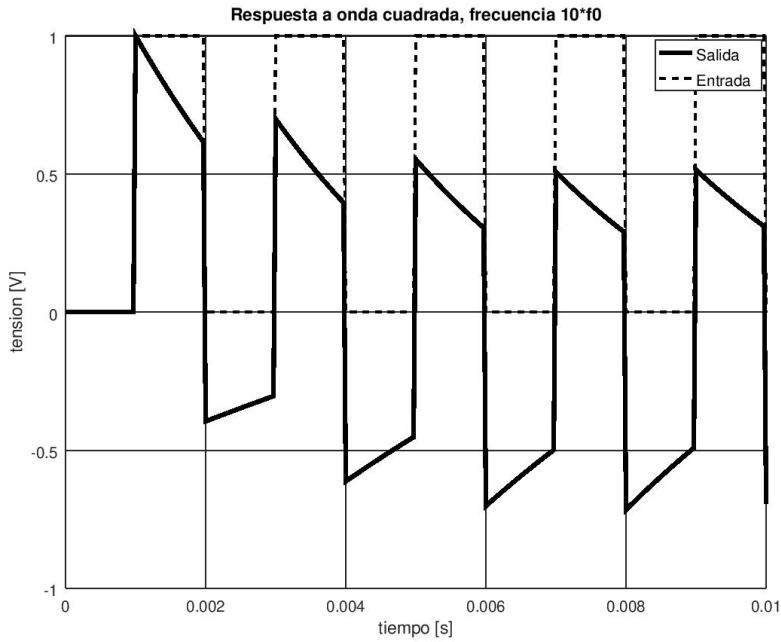
Figura 5: Respuesta al impulso, según Geogebra.

Obtenemos ahora algo mas acorde: los ordenes y signos de los valores se corresponden con la derivada de la respuesta del escalon, al igual que los ceros de la función. Cabe destacar que este grafico es simplemente el resultado de antitransformar $H(s)$. A modo de verificacion, tambien se antitransformo $\frac{H(s)}{s}$ (respuesta al escalon) y se lo derivo, coincidiendo las curvas de forma exacta.

3.3. Respuesta a ondas cuadradas

Se buscara ahora la respuesta a tres ondas cuadradas de distintas de frecuencias: $\frac{f_0}{10}$, f_0 y $10f_0$. En todos los casos, se eligio una cuadrada con duty cycle del 50 % y comprendida entre 0 volts y 1 volt. Ademas se grafico en lineas solidas la respuesta, mientras que en lineas punteadas se muestra la señal de entrada a modo de referencia.

Figura 6: Respuesta vs Entrada con $f_0/10$.Figura 7: Respuesta vs Entrada con f_0 .

Figura 8: Respuesta vs Entrada con 10^*f_0 .

Al obtener las tres frecuencias la interpretacion resulta evidente. Para esto centremos primero en la figura 5 ($f = f_0/10$): luego de cada subida la respuesta oscila hasta que tiende nuevamente a 0, lo mismo que ocurre con un escalon. En los descensos se observa lo mismo pero, logicamente, con el signo opuesto. De este ejemplo en mas aumentaran las frecuencias por lo que la señal tendra menor tiempo entre cambios, por lo que no llega a estabilizarse. Esto ultimo explica la curiosa forma de la figura 6 ($f = f_0$) y la forma tan similar a la original de la figura 7 ($f = 10f_0$). Si se sigue aumentando la frecuencia la respuesta tiende a una cuadrada igual a la entrada, pero centrada en 0 (valor medio 0). La señal se centra ya que la entrada tiene una componente de continua de valor $1/2$ (su valor medio). Al ser un filtro pasa altos esto resulta atenuado, por lo que la respuesta se centra.

4. Circuito propuesto

Con lo visto anteriormente se busca ahora un circuito que, en resumen, funcione como un pasa altos con valores de $\omega_0 \approx 100\pi$ y $Q \approx 0,70757$.

Se tomo como referencia un circuito Infinite Gain Multiple Feedback con el siguiente formato

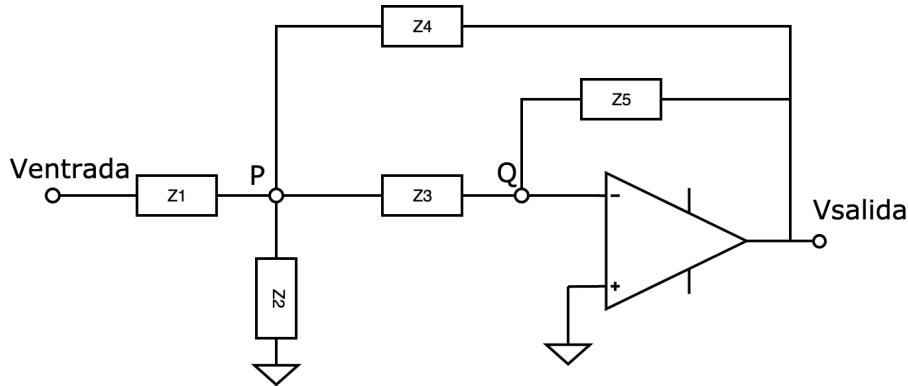


Figura 9: Infinite Gain Multiple Feedback generico.

Siendo $Z_i, i = 1, \dots, 5$ las distintas impedancias a definir.

Se busca ahora la transferencia para este circuito, definiendo la misma como

$$H(s) = \frac{V_{\text{salida}}}{V_{\text{entrada}}}$$

Para ello se plantean los nodos P y Q teniendo en cuenta que, debido al operacional, Q tendra la misma tension que la tierra:

$$(P) : \frac{V_e}{Z_1} + \frac{V_s}{Z_4} = V_P \left(\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} + \frac{1}{Z_4} \right) - V_Q \left(\frac{1}{Z_3} \right)$$

$$(Q) : \frac{V_s}{Z_5} = V_Q \left(\frac{1}{Z_3} + \frac{1}{Z_5} \right) - V_P \left(\frac{1}{Z_3} \right)$$

$$V_Q = 0V$$

Antes de continuar se definiran las impedancias con el fin de obtener un pasa altos. Si bien hay multiples combinaciones posibles se opto por la siguiente debido a su simpleza

$$Z_1 = Z_3 = Z_4 = C$$

$$Z_2 = R_1, \quad Z_5 = R_2$$

Con C un capacitor y R_1, R_2 resistencias

Despejando ahora el sistema de ecuaciones con las nuevas impedancias, la transferencia buscada resulta:

$$H(s) = \frac{V_{\text{salida}}}{V_{\text{entrada}}} = \frac{-s^2}{s^2 + \frac{3}{R_2 C} s + \frac{1}{C^2 R_1 R_2}} \quad (3)$$

Recordemos ahora la transferencia pedida:

$$H_6(s) = \frac{V_{\text{salida}}}{V_{\text{entrada}}} = \frac{s^2}{s^2 + 444 s + 9,869 \cdot 10^4} \quad (4)$$

Resulta llamativo la diferencia de signo en el numerador, ya que no es un parametro ajustable mediante las impedancias. Por ello se deberá construir un inversor ³ a la salida del circuito con el fin de corregir esto. De momento, se continuara el analisis sin tener en cuenta esta diferencia ya que sera tratada mas adelante. Basta observar ambas ecuaciones para construir el sistema de ecuaciones que se presenta a continuacion

³Circuito con transferencia $H(s) = -1$

$$\frac{3}{R_2 C} = 444$$

$$\frac{1}{C^2 R_1 R_2} = 9,869 \cdot 10^4$$

Siendo este un sistema de 2 ecuaciones con 3 incognitas (R_1 , R_2 , C) se buscara definir un valor de capacitancia y despejar las resistencias. Se define la capacitancia primero ya que este componente presenta menos valores disponibles comercialmente (mas difíciles de conseguir), mientras que las resistencias presentan mas valores 'intermedios'.

Se opto por tomar un valor de capacitancia de $C = 10 \text{ nF}$. En base a esto se despejaron los valores de resistencias como:

$$R_1 = \frac{444}{3 C \cdot 9,869 \cdot 10^4} \approx 149,9645 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = \frac{3}{444 C} \approx 675,6757 \text{ k}\Omega$$

Si bien estos valores son los que generaran la transferencia buscada de forma bastante exacta, es imposible encontrarlos comercialmente. Por ello, en la proxima sección, se buscaran valores comerciales que mejor aproximen lo buscado siempre y cuando minimicen el error de ω_0 y Q .

Previo a concluir la sección se buscara dar la solución a la diferencia de signo en las transferencias. Como fue antes mencionado se utilizará un inversor a la salida del circuito, para lo cual se eligió el siguiente modelo

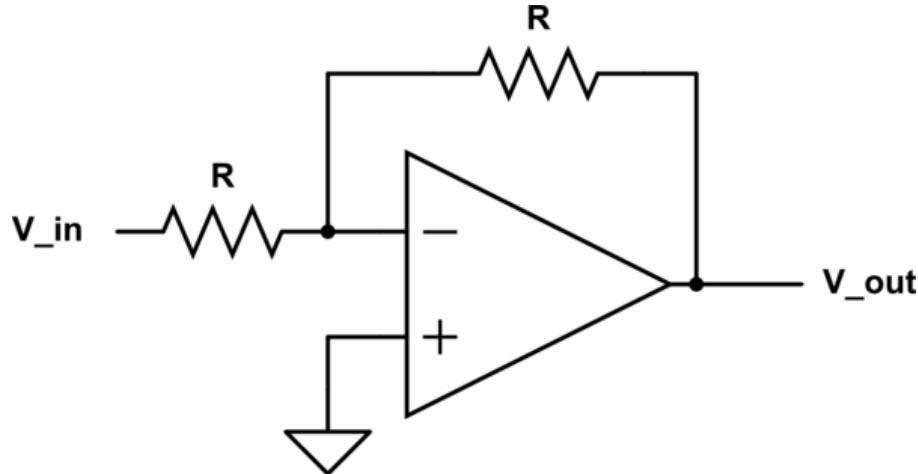


Figura 10: Inversor de tensión, usando resistencias iguales.

El planteo de nodos es trivial, el cual asegura que tendrá una transferencia de

$$H_{inversor}(s) = -1$$

En secciones futuras se presentará el esquemático del circuito en su totalidad, pero de momento, habiendo definido todo esto, se procederá a buscar los valores normalizados.

4.1. Valores normalizados

Como dicho anteriormente, los valores de resistencias hallados no están disponibles comercialmente. Es por esto que debo definir nuevos valores aproximados que se encuentren normalizados.

Se instruyo utilizar valores de capacitores de la serie E12, y de la serie E96 para las resistencias. Al usar valores distintos de los ideales se va a encontrar un cierto error entre la transferencia 'ideal' (con valores ideales) y la transferencia 'normalizada' (con valores normalizados). Ademas cabe destacar que los valores permitidos para capacitancias deben comprenderse en el rango de 1 nF a 470 nF, mientras que para las resistencias este rango es de 4,7 kΩ a 1,6 MΩ. Para cuantificar estos errores y distinguir una normalizacion 'buena' de una normalizacion 'mala', se instruyo elegir como criterio el error porcentual en la pulsacion de corte (ω_0) y el factor de calidad (Q). Asi, se considerara buena una normalizacion que asegure ambas desigualdades:

$$\varepsilon_{\omega_0}^{\%} = 100 \left| \frac{\omega_0 - \omega_0^N}{\omega_0} \right| \leq 1 \%$$

$$\varepsilon_Q^{\%} = 100 \left| \frac{Q - Q^N}{Q} \right| \leq 1 \%$$

Siendo $\varepsilon^{\%}$ el error porcentual del valor normalizado, con ω_0^N y Q^N la pulsación de corte y el factor de calidad con valores normalizados, respectivamente.

De la sección anterior recordamos que se definió un valor de capacitancia $C = 10 \text{ nF}$: este valor se encuentra disponible en la serie E12 así que es válido.

Con esto, se hallaban los valores ideales $R_1 \approx 149,9645 \text{ k}\Omega$ y $R_2 \approx 675,6757 \text{ k}\Omega$, viendo ahora en la serie E96 los valores que mas se aproximan serán:

$$R_1^N = 150 \text{ k}\Omega$$

$$R_2^N = 681 \text{ k}\Omega$$

Notar que estos valores pertenecen al rango permitido (4,7 kΩ a 1,6 MΩ).

Viendo ahora los valores normalizados de Q y ω_0 se encuentra:

$$\omega_0 = 100\pi = 314,16, \quad Q = \frac{\pi}{4,44} = 0,70757$$

$$\omega_0^N = \frac{1}{C\sqrt{R_1^N R_2^N}} = 312,88$$

$$Q^N = \sqrt{\frac{R_2^N}{R_1^N 9}} = 0,71024$$

Por lo que se obtiene que

$$\varepsilon_{\omega_0}^{\%} = 0,407 \% \leq 1 \%$$

$$\varepsilon_Q^{\%} = 0,378 \% \leq 1 \%$$

El error es efectivamente menor que el 1% en ambos casos, por lo que de aqui en adelante se llamará 'transferencia normalizada' a la transferencia que se obtiene utilizando los valores hallados en esta sección.

5. Análisis de la transferencia normalizada

Teniendo ahora una nueva transferencia (transferencia normalizada) se busca analizar cuanto difiere de la transferencia ideal. La nueva transferencia resulta ser:

$$H_N(s) = \frac{s^2}{s^2 + 440,53 s + 9,79 \cdot 10^4} \tag{5}$$

Se buscan ahora la frecuencia de corte, factor de calidad y singularidades con los mismos procedimientos de la Sección 2. Se comparan ahora los resultados:

	Transferencia	
	Ideal	Normalizada
Pulsacion de corte/Polos (ω_0) ⁴	314,16	312,88
Frecuencia de corte (f_0)	50	49,796
Factor de calidad (Q)	0,70757	0,71024
Ceros	0 (doble)	0 (doble)

Los errores porcentuales relativos fueron calculados en la sección anterior, donde resultaron menores al 0,4 %.

Se simulará ahora el diagrama de BODE y la respuesta al escalón con Octave, y se lo comparará con lo obtenido en la transferencia ideal.

A continuación los resultados:

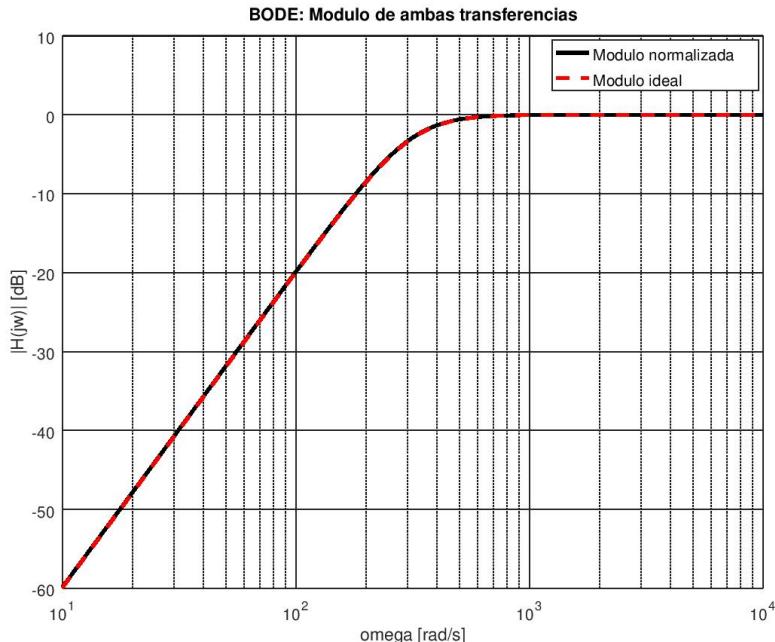


Figura 11: Diagrama de BODE en modulo, semilogarítmico.

⁴ Al ser polos complejos conjugados, resulta que el modulo de ellos coincide con el ω_0 . De esta forma se observa un polo doble en ω_0 .

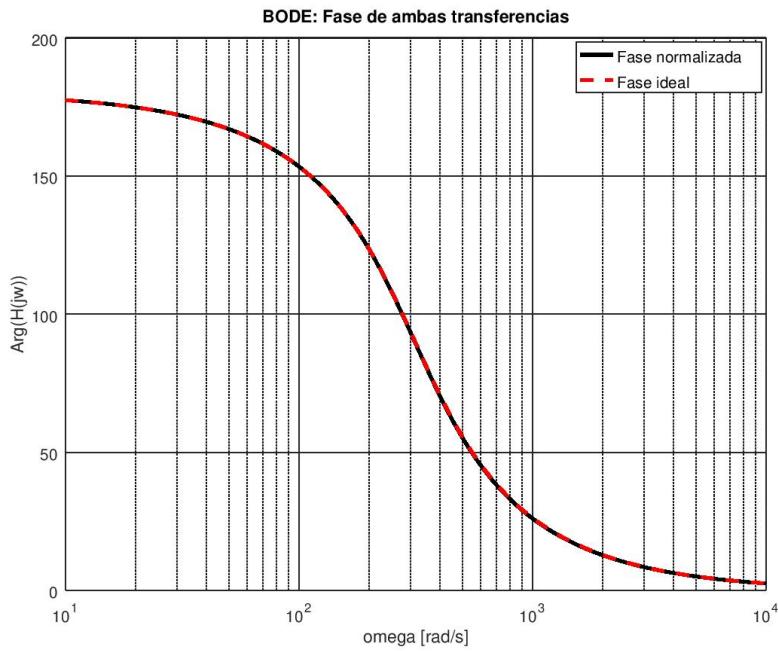


Figura 12: Diagrama de BODE en fase, semilogarítmico.

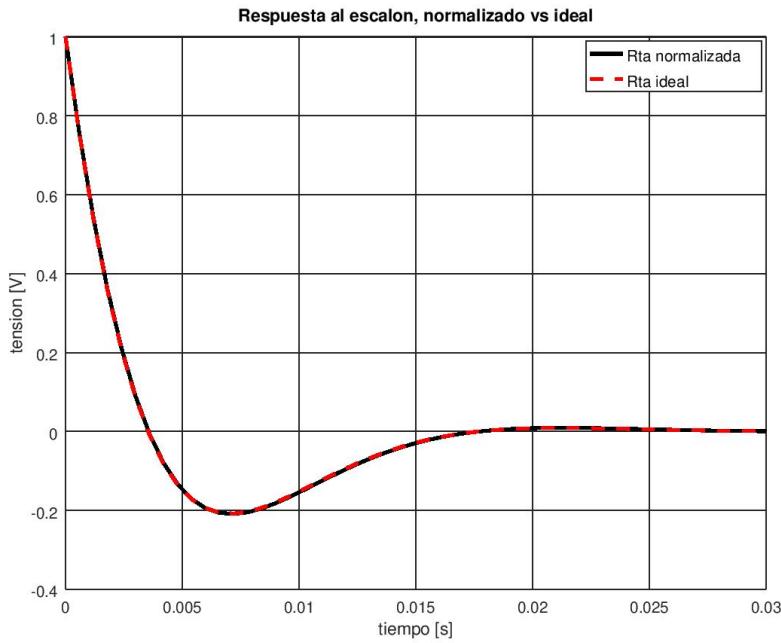


Figura 13: Respuesta al escalon unitario.

Las figuras hablan por si solas: la diferencia es casi imperceptible. Así, el análisis aplicado para la transferencia ideal (Sección 3) tiene la misma validez para la transferencia normalizada.

6. Simulación y Análisis

Habiendo corroborado la validez (es decir, poco error) de los valores normalizados, resta simular el funcionamiento del circuito y no solo la transferencia. Para ello se tomo el circuito propuesto en la Sección 4 y se procedio a simularlo en el software LTSpice, obteniendo diagramas de BODE y gráficos de respuesta a distintas señales.

Se muestran ahora los resultados para el BODE:

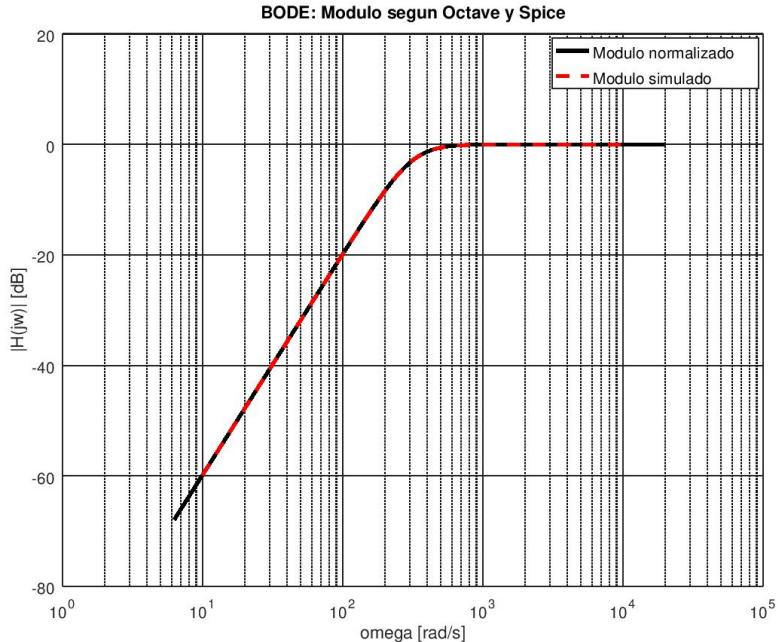


Figura 14: Diagrama de BODE en modulo, semilogarítmico.

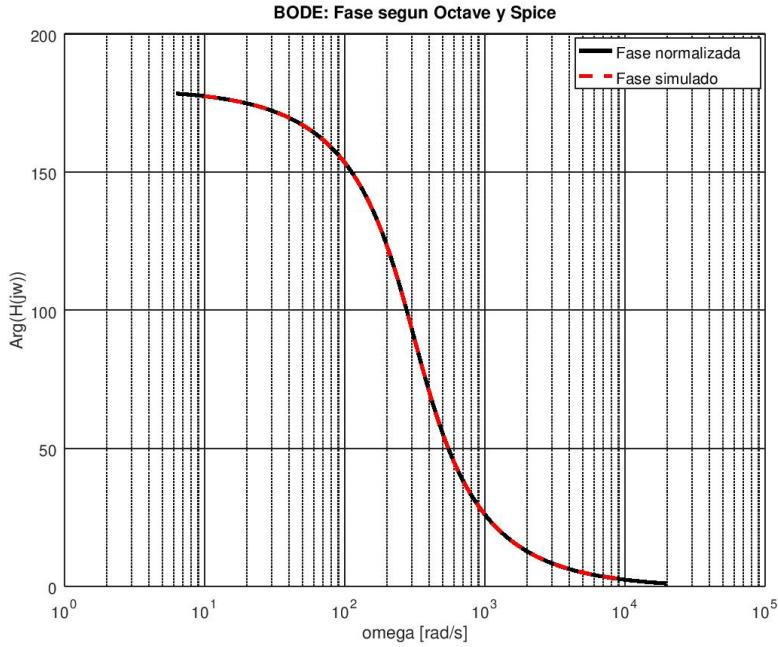


Figura 15: Diagrama de BODE en fase, semilogarítmico.

Los diagramas coinciden, nuevamente, con una diferencia imperceptible. Sin embargo, al estudiar la respuesta al escalon y la cuadrada, se encuentran discrepancias. Se grafica primero la respuesta al escalon, incluido una pequeña ampliación de la respuesta en Spice cerca del origen:

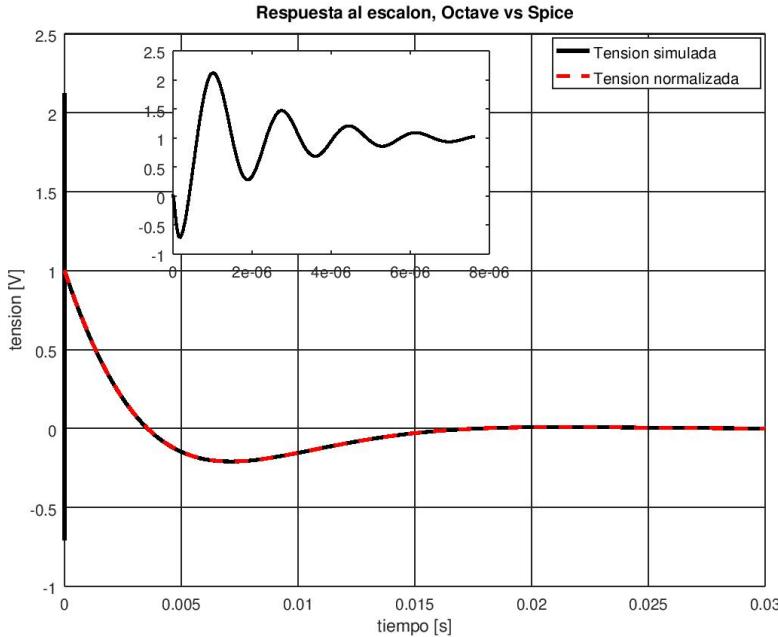


Figura 16: Respuesta al escalon unitario.

Ese pico de tensión entre 2 y 0,5 voltios se lo ve ampliado en el subgrafico superior central. Se

nota que para tiempos mayores a 8 micro segundos los resultados coinciden, pero para tiempos menores se observa una respuesta oscilatoria por parte de la simulación en Spice. Esta discrepancia se explica a partir del modelo de operacional utilizado en la simulación⁵, el cual ya no se comporta como un operacional ideal sino que introduce un polo extra en frecuencias muy altas. Debido a esto, el circuito está atenuando frecuencias extremadamente altas, lo cual produce una breve respuesta extraña en los saltos de tensión.

El mismo comportamiento puede observarse al graficar la respuesta a distintas ondas cuadradas:

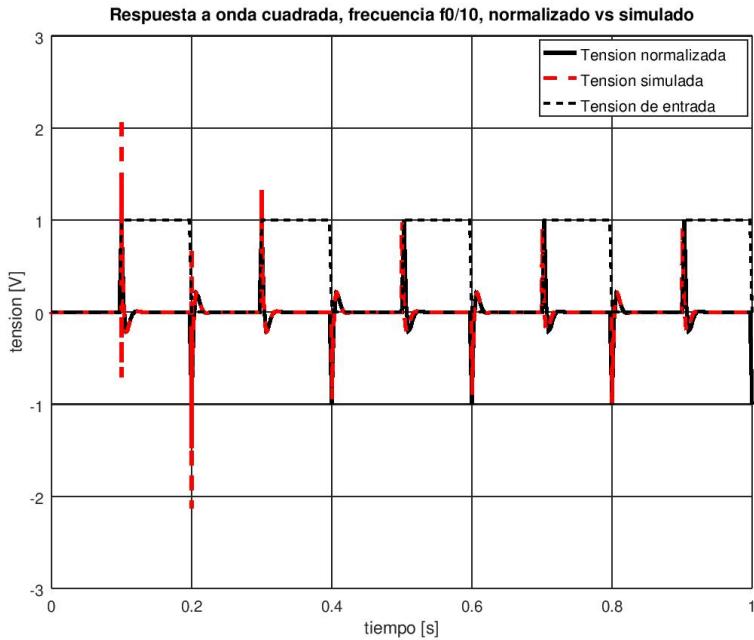
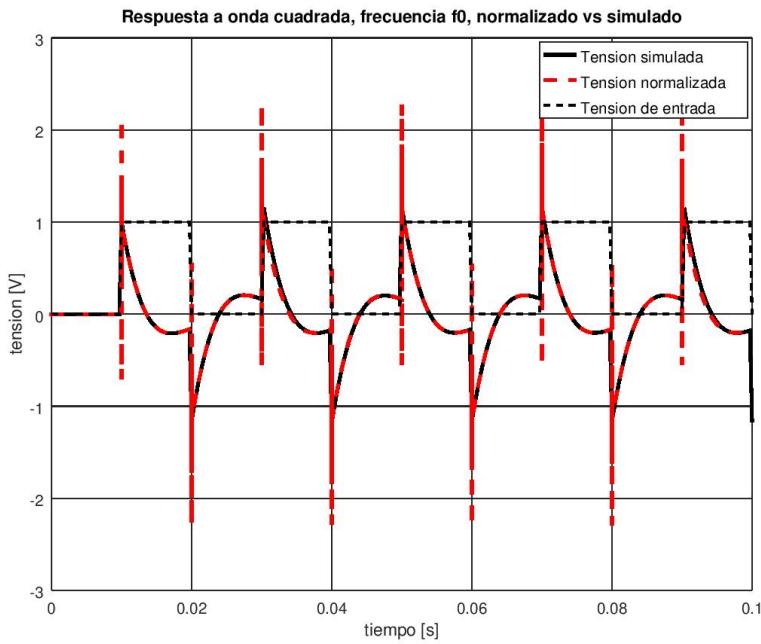
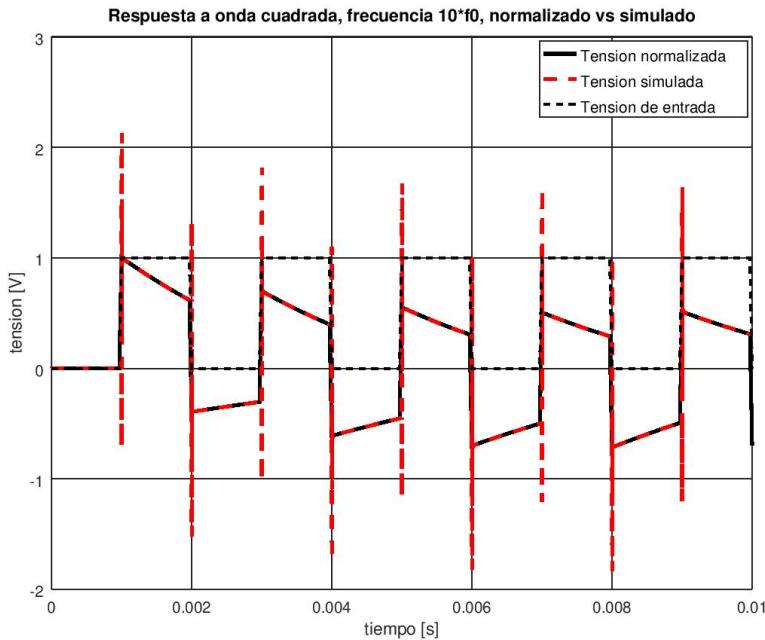


Figura 17: Respuesta transferencia vs circuito, con $f_0/10$.

⁵El modelo de operacional utilizado fue provisto por la catedra, siendo este el modelo de un TL081.

Figura 18: Respuesta transferencia vs circuito, con f_0 .Figura 19: Respuesta transferencia vs circuito, con $10 f_0$.

Tomando por ejemplo la ultima grafica ($10f_0$) y ampliando para el primer pico se encuentra lo siguiente:

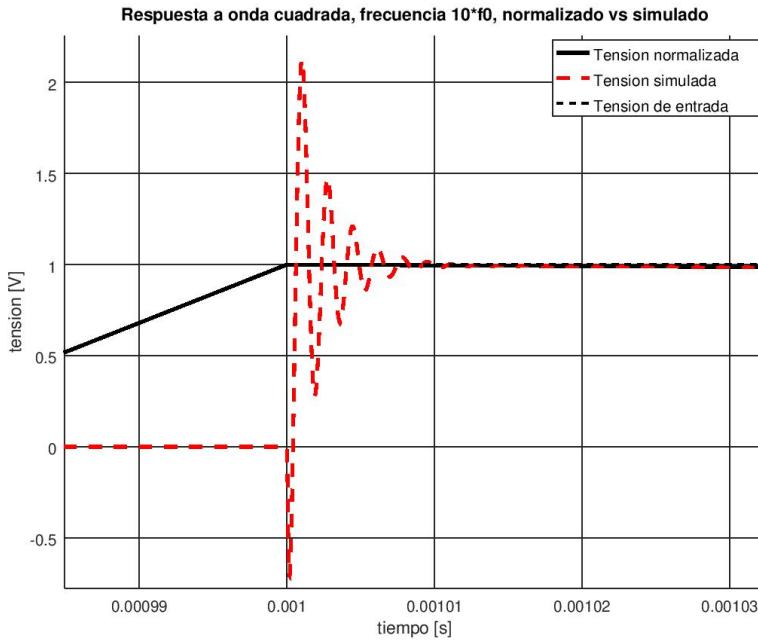


Figura 20: Ampliacion de la respuesta de transferencia vs circuito, con 10 f0.

Como en el caso del escalón, se repite el comportamiento oscilatorio a tiempos muy cercanos al cambio, pero coinciden en los otros momentos. Esta tendencia se repite en todos los cambios, para las tres frecuencias distintas.

7. Esquema del circuito final

Previamente se presentaron los esquematicos genericos con los cuales se opto trabajar⁶. Conociendo ahora los componentes a utilizar y sus valores se presenta el esquematico final, con el cual se construira mas adelante el circuito funcional:

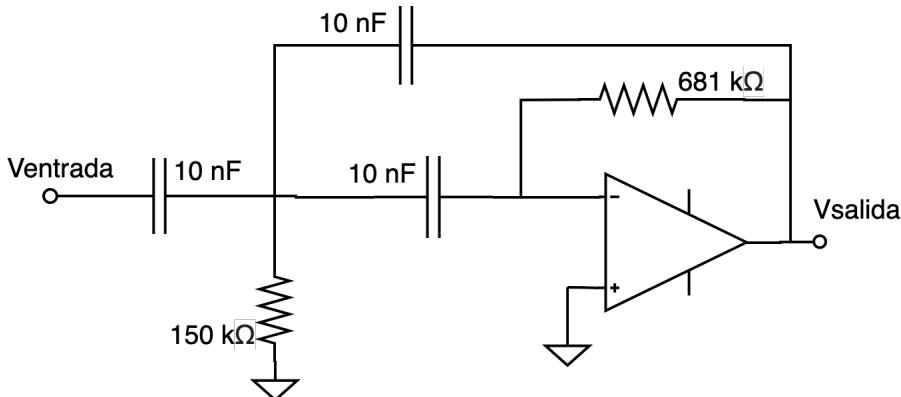


Figura 21: Esquematico del circuito final.

Como se puede observar no se presenta el inversor ya que no se construira. Esto se decido dado que, como luego se medira la respuesta en funcion de una onda senoidal, el diagrama de BODE en

⁶Eskematico del Infinite Gain e Inversor

fase resulta irrelevante. Es por esto que la construccion de un inversor, para simplemente corregir la fase de la salida, resulta de una perdida en recursos, tiempo y precisión (posiblemente mayor ruido).

Cabe destacar que para la elaboracion del circuito se utilizo un TL082 y una placa experimental perforada.

Construido el circuito se procedio a realizar las mediciones y comparaciones, los resultados se encuentran en la siguiente sección.

8. Mediciones y Análisis

Se busco medir el circuito a fin de compararlo con las simulaciones y las transferencias ideales, y concluir si se logro el objetivo de crear el filtro pasa altos pedido.

8.1. Respuesta del filtro a excitación senoidal

Con el generador de señales se especifico una onda senoidal de valor pico 1 V y se procedio a variar la frecuencia en tercios de octava, desde aproximadamente 10 Hz hasta 500 Hz.

La tabla con las mediciones se presenta a continuacion:

Frecuencia [Hz]	Vout pico [mV]
10.152	31
12.34	75
15.978	80
20.67	160
25.2766	280
31.751	400
40.115	600
50.36	700
63.39	900
80.06	925
100.779	1000
127.331	1000
160.56	995.14
203.33	1010.4
255.85	999.7
322.03	990.75
406.55	1011.85
512.501	1001.1

Dividiendo los valores de Vout pico por 1000 mV (es decir, la entrada) se obtiene la transferencia. Para convertir estos valores en decibles basta tomarles el logaritmo base 10 y multiplicarlos por 20. En cuanto a la frecuencia, se la multiplica por 2π y se obtiene la pulsacion en rad/s .

Con esta nueva informacion, puede construirse el BODE en modulo de la respuesta en pulsacion, y compararlo con lo simulado:

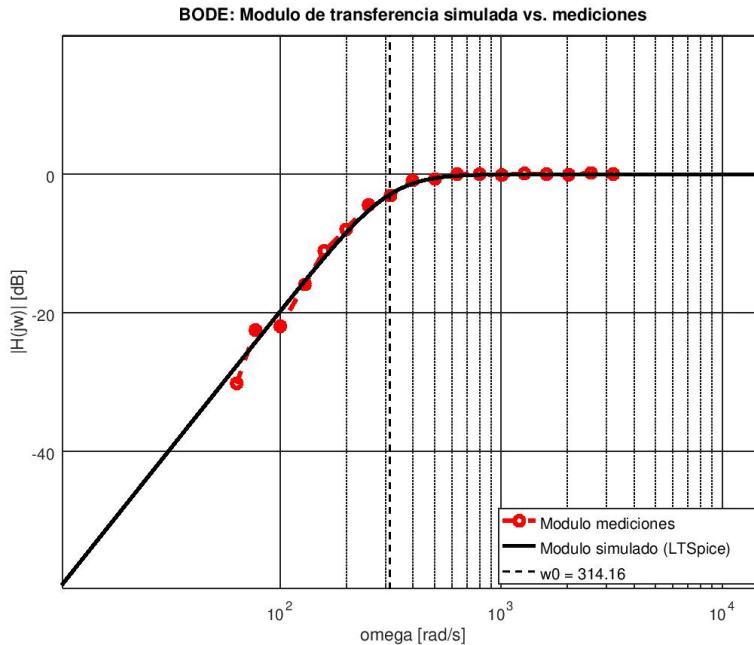


Figura 22: Respuesta al escalon unitario.

Claramente, mas alla de los errores en precision y ruido (principalmente en las bajas frecuencias), las mediciones se corresponden con lo esperado.

8.2. Características del filtro

Con estas mediciones podemos caracterizar el filtro y compararlo con lo esperado.

Frecuencia de corte, a -3 dB Se busca encontrar la frecuencia a la cual se tenga una ganancia de -3 dB. En terminos de transferencia, esto ocurrira cuando la tension de salida sea la correcta para corresponder a -3 decibeles. Conociendo las ecuaciones, se encuentra:

$$20 \log_{10} (H) = -3 \text{ dB}; H = \frac{V_{out}}{V_{in}}; V_{in} = 1V$$

Por lo tanto $V_{out} = 0,70795 \text{ V} = 707,95 \text{ mV}$

Observando la tabla de mediciones se encuentra el valor mas aproximado de $V_{out} = 700\text{mV}$; $f_{700\text{mV}} = 50,36\text{Hz}$.

Es asi que la frecuencia de corte del circuito construido, a -3dB, es de aproximadamente **50.36 Hz**, lo cual coincide con lo esperado.

Pendientes de las asíntotas Se espera que previo a la frecuencia de corte halla una pendiente de **40 dB/decada**, mientras que luego de la frecuencia de corte no halla pendiente (**0 db/decada**).

Para el primer caso pueden tomarse los puntos de las frecuencias inferiores, salvo los cercanos a la frecuencia de corte.

Asi, tomando las correspondientes al intervalo 10.152 Hz hasta 31.751 Hz inclusive, se interpola una recta de mejor ajuste con el metodo de cuadrados minimos. De esta forma se halla una pendiente de **42.76 dB/dec** lo cual se ajusta a los esperado.

Para trabajar con las frecuencias superiores su utiliza el mismo procedimiento, ajustando con las frecuencias desde 100.78 Hz hasta 512.50 Hz inclusive, se encuentra una pendiente de **0.04415 dB/dec**, nuevamente muy similar a lo esperado.

8.3. Respuesta a ondas cuadradas

Alimentando ahora al circuito con ondas cuadradas de frecuencias , f_0 y $10f_0$ se estudia cualitativamente su similitud con lo esperado.

Cabe destacar que, como el osciloscopio utilizado no distinguia frecuencias menores a 10 Hz y era considerable el ruido encontrado, se midio una onda cuadrada de 25 Hz en vez de 5 Hz.

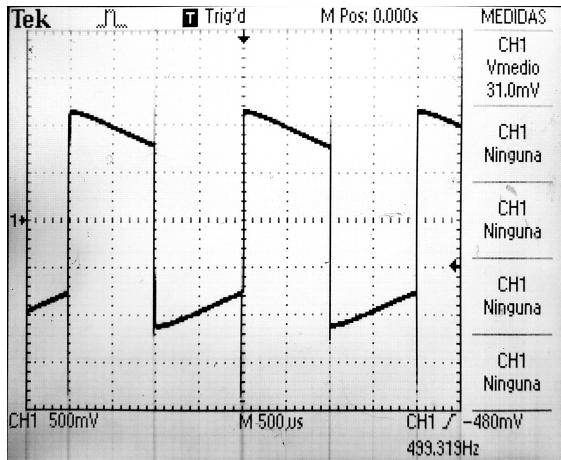


Figura 23: Medición, frecuencia $10f_0$

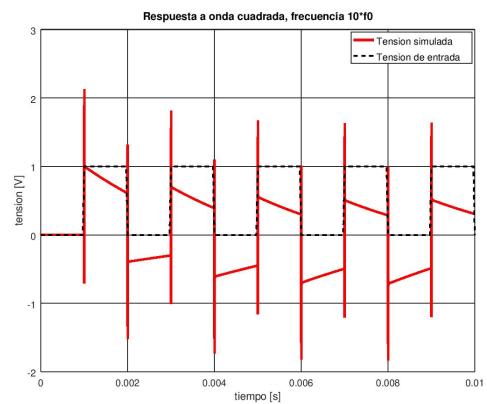


Figura 24: Simulación, frecuencia $10f_0$

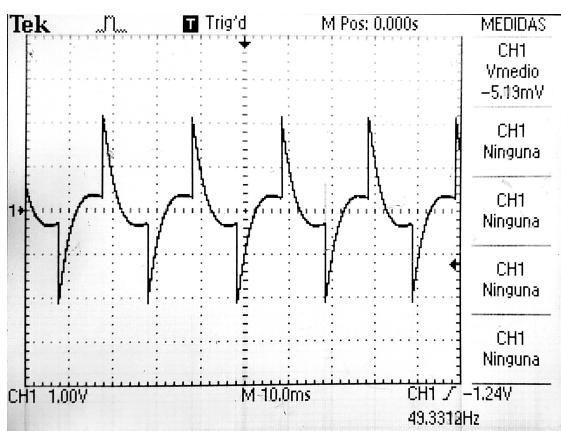


Figura 25: Medición, frecuencia f_0

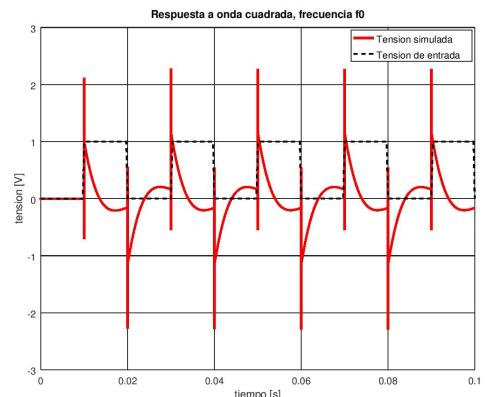


Figura 26: Simulación, frecuencia f_0

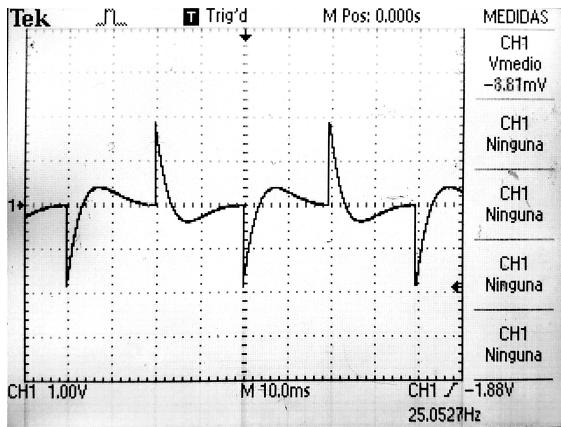


Figura 27: Medición, frecuencia 25 Hz

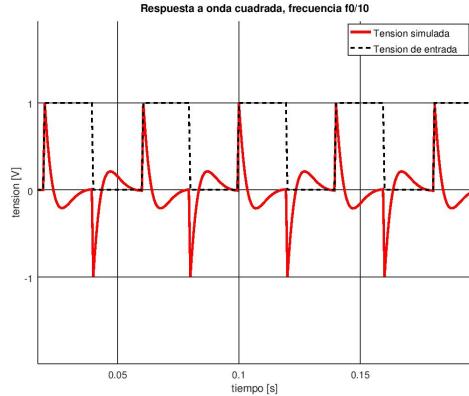


Figura 28: Simulación, frecuencia 25 Hz

9. Conclusiones

Luego de este estudio podemos concluir que no es trivial la diferencia entre teoría, transferencia ideal, circuito modelado y circuito construido. Para abarcar cada área se debió analizar las ventajas y desventajas de cada una, y poder justificar correctamente las discrepancias. En particular, resultó llamativa la respuesta al impulso ya que no solo mostró discrepancias sino que también destaca las limitaciones de la computación: el manejo de valores infinitos.

La construcción del circuito fue otro desafío distinto a los anteriores, donde el problema ya no era computacional sino físico: disposición de los componentes, calidad de las soldaduras, pruebas de continuidad, etcétera.

El análisis de las respuestas al escalón e impulso demostró que el comportamiento del circuito es interpretable no solo en el sentido de las frecuencias (atenúa frecuencias bajas, deja pasar las altas) sino también en la escala temporal (en el escalón primero dejara pasar el salto, luego atenúa la continua...).

Con todo esto en mente no solo se gana intuición en cuanto a qué significa y se espera de un filtro (y un circuito), sino que también se entiende la diferencia entre ideal y real mediante el uso de contenidos teóricos.