1. Filtro pasabajos

Se pidió aplicar a un filtro RC de frecuencia de corte $f_0 = 64\,(kHz)$ una onda cuadrada de $10\,V_{pp}$ con frecuencia de $f = 32\,(kHz)$. Los resultados obtenidos empiricamente fueron los que se muestran en las figuras 1 y 2. A su vez, se calculo la transferecia del circuito idealmente resultando ser:

$$H(s) = \frac{1}{1 + sRC} \tag{1}$$

Si simulamos la transferencia del circuito en LTSpice, el resultado es el que se ve en las figuras 2 y 3.

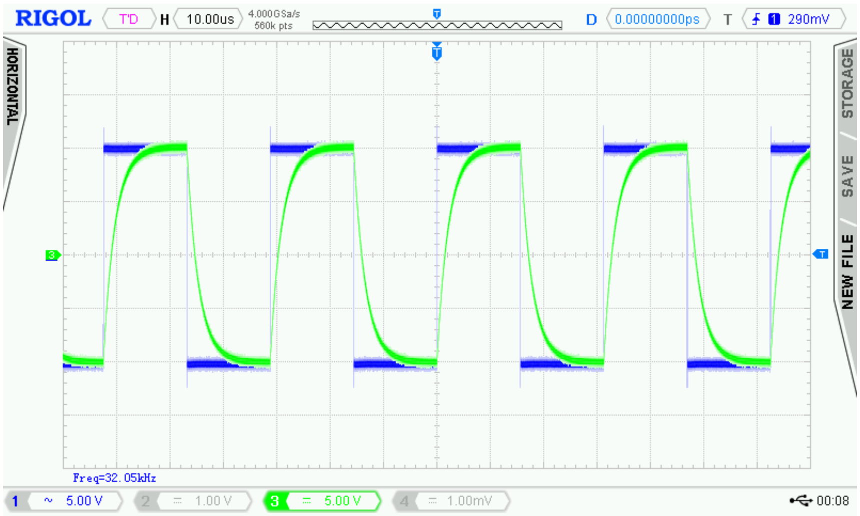

Figura 1: Resultados

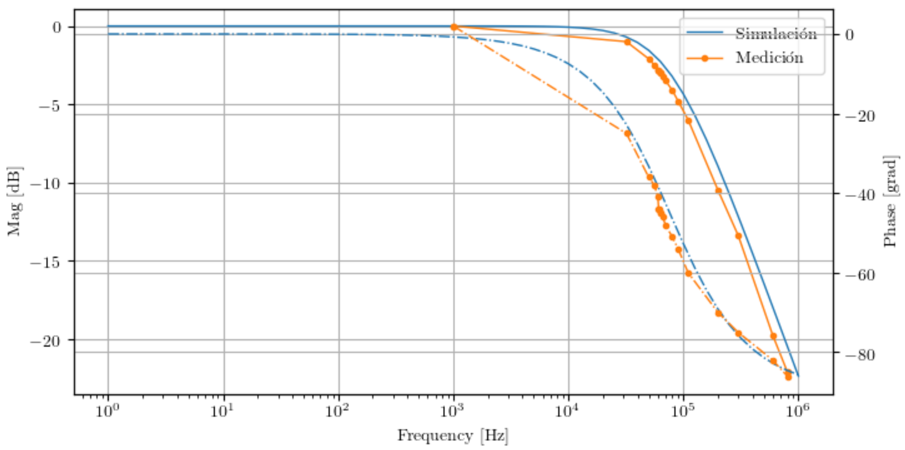

Figura 2: Simulacion LTSpice y Mediciones

1.1. Calculo de armónicos

Si queremos ver como reacciona el circuito a una señal cuadrada, debemos calcular primero como afecta nuestro circuito a la onda de entrada. Como sabemos que la onda es una cuadrada, haciendo su descomposición de suma de señales trigonometricas, los coeficientes de Fourier resultan ser:

$$a_0 = 0$$

$$a_n = 0$$

$$b_{2n-1} = \frac{20}{(2n-1)\pi}$$

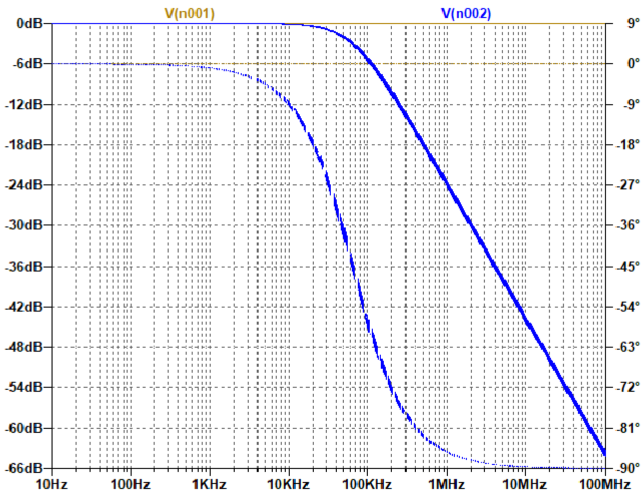

Figura 3: Análisis montecarlo

$$b_{2n} = 0$$

Por lo tanto, la onda cuadrada se puede expresar en el espacio temporal como se ve en la expresión 2. Sin embargo, podemos ver, por temas de idealizacion, que una señal cuadrada ideal, se puede aproximar por una suma de términos finitos de senoidales, por lo tanto, si aproximamos la cuadrada con 10 terminos, podemos ver como la aproximacion van quedando mas parecidas, esto se muestra en la figura 4. A medida que agreguemos mas términos a nuestra suma, menos sera la diferencia con una onda cuadrada ideal. No obstante, hay que tener en cuenta que, como fue visto en Matemática V, al tener una discontinuidad no evitable cada $\frac{T}{2}$, siendo T el período de la señal, se generaran sobrepicos en los puntos de discontinuidad. por ende, si llamamos *x(t)* a la función cuadrada ideal e *y(t)* a su aproximación por senoides, *x(t)* será igual a *y(t)* en todos los numeros reales exceptuando los puntos de discontinuidad. Esto quiere decir, que es posible que al trabajar con ondas cuadradas, se encuentren sobrepicos.

$$x(t) \sim \sum_{n=1}^{\infty} \frac{20}{(2n-1)\pi} sin\left(2\pi(2n-1)f_0 t\right) \tag{2}$$

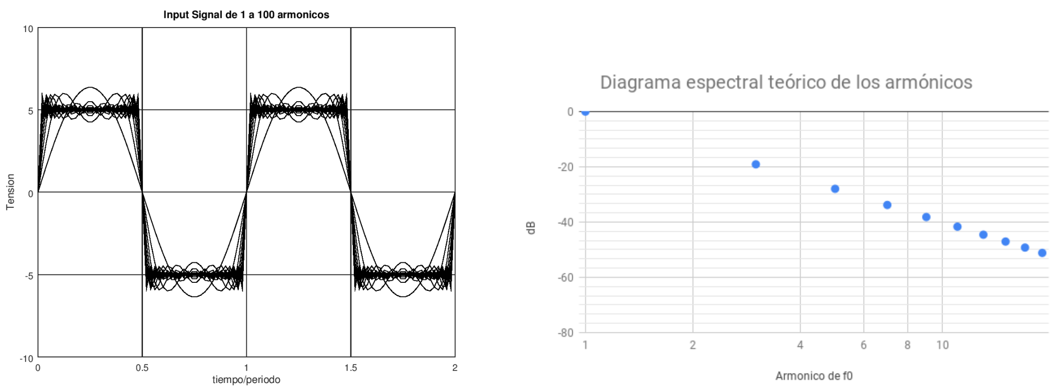

Figura 4: Representación de onda cuadrada mediante suma de senoidales y su diagrama espectral teórico

Debido a que la entrada es una función continua a trozos de período *T,* entonces:

$$y(t) \sim \sum_{n=1}^{\infty} |b_{2n-1}| \, |H\left((2n-1)f_0\right)| \, cos\left[2\pi(2n-1)f_0 t + \phi((2n-1)f_0) + \theta_{2n-1}\right]$$

$$b_{2n-1} = |b_{2n-1}| \, e^{i\theta_{2n-1}} \tag{3}$$

$$H(f) = |H(f)| \, e^{i\phi(f)}$$

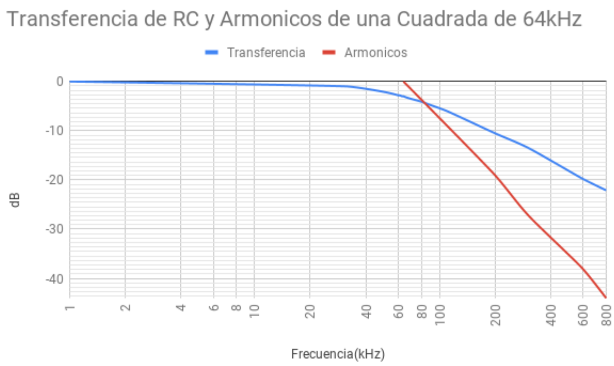

Figura 5: Transferencia superpuesta con los armonicos(los ptos de los armonicos están unidos por lineas)

A su vez;

$$H(f) = \frac{1}{1 + i2\pi fRC} \tag{4}$$

Por lo tanto, haciendo calculos de las ecuaciones 3 y 4, concluimos que:

$$\phi(f) = -arctg(2\pi fRC)$$

$$H(f) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi fRC)^2 + 1}}$$

$$\theta_n = 0$$

Finalmente, podemos escribir la salida como la ecuacion 5 y graficamente se ve como la figura 6.

$$y(t) \sim \sum_{n=1}^{\infty} \frac{20}{(2n-1)\pi\sqrt{(2\pi(2n-1)f_0RC)^2 + 1}} cos\left(2\pi(2n-1)f_0t - arctg\left(2\pi(2n-1)f_0RC\right) + \frac{\pi}{2}\right) \tag{5}$$

Teniendo en cuenta que $f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$, y llamando *k=2n-1,* entonces

$$y(t) \sim \sum_{k\, impares} \frac{20}{k\pi\sqrt{k^2+1}} cos\left(2\pi k f_0 t - arctg\left(k\right) + \frac{\pi}{2}\right)$$

1.2. Circuito como Integrador

Como ya sabemos, un circuito integrador es aquel que cumple que su funcion transferencia sea $H(s) = \frac{1}{s}$, como vemos en la ecuacion 1, nuestro circuito no posee esa transferencia, sin embargo, si procuramos movernos en un intervalo donde sRC sea lo suficientemente grande comparado con 1, podremos aproximar a una funcion transferecia integradora. Es decir;

$$Si\ sRC \ggg 1 \Longrightarrow H(s) = \frac{1}{1 + sRC} \approx \frac{1}{RC}\frac{1}{s}$$

Por ende, si cambiamos al espacio de frecuencias, procurando que $2\pi fRC \ggg 1$ podemos obtener la transferencia de un circuito integrador. En particular, para $R = 3{,}68(k\Omega)\, y\, C = 560(pF)$ debemos concluir que para una frecuiencia $f_a \ggg 63(kHz)$, nuestro circuito se comportará como un integrador.

En particular, si tenemos una frecuencia $f_i = 300(kHz)$, $2\pi f_a RC \gg 1$,con lo cual podemos aproximar el denominado de la transferencia y usar nuestro circuito como integrador, como se puede observar en la figura 7.

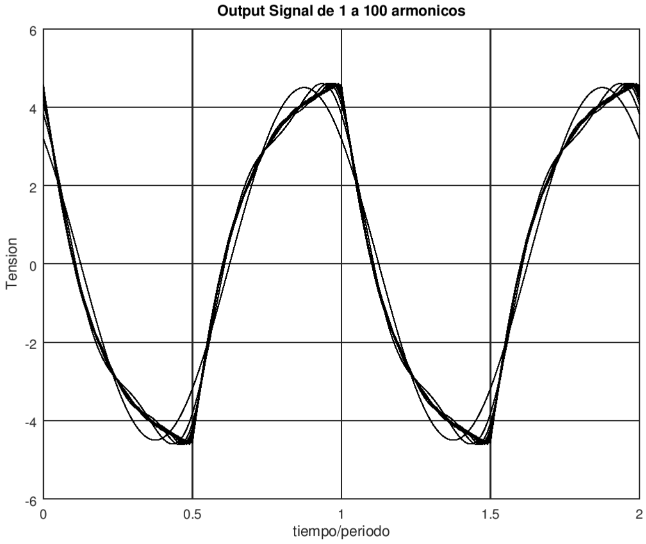

Figura 6: Salida del RC en armónicos

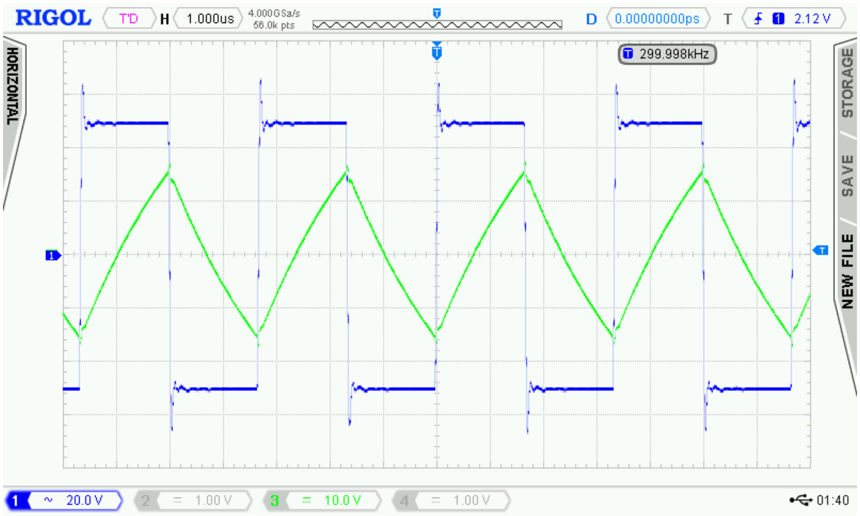

Figura 7: Circuito como integrador a 300 (kHz)

2. Parte 3

Se pidió desarrollar un programa con interfaz gráfica de usuario, cuyo propósito fuera el de facilitar la confección de gráficos, mediante un método de ploteo automático. El programa debe implementarse en Python, y debe cumplir con los siguientes requisitos básicos. En primer lugar, respecto a fuentes desde las cuales se puede ingresar datos a graficar, los mismos deben ser:

- Función transferencia
- Archivo LTspice
- Plantilla de Excel o csv con mediciones

En segundo lugar, se de debe otorgar al usuario las siguientes capacidades:

- Especificar la etiqueta para el eje x.
- Especificar la etiqueta para el eje y.
- Guardar el gráfico como imagen.
- Borrar todos los gráficos anteriores.
- Graficar más de tres señales simultáneamente.

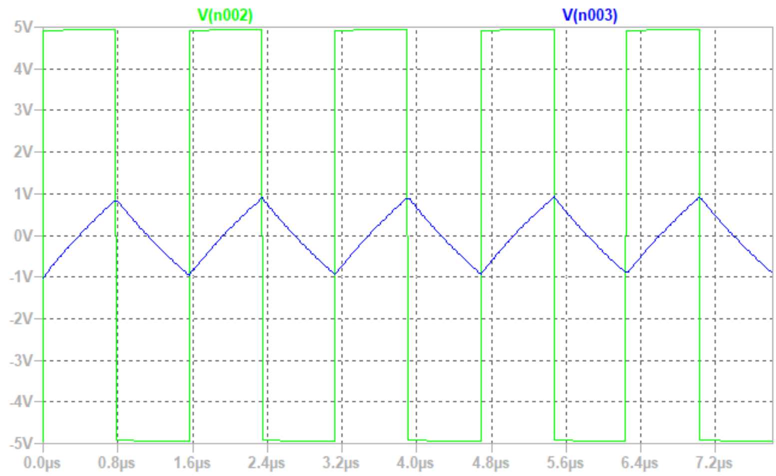

Figura 8: Simulacion del circuito a 300 (kHz)

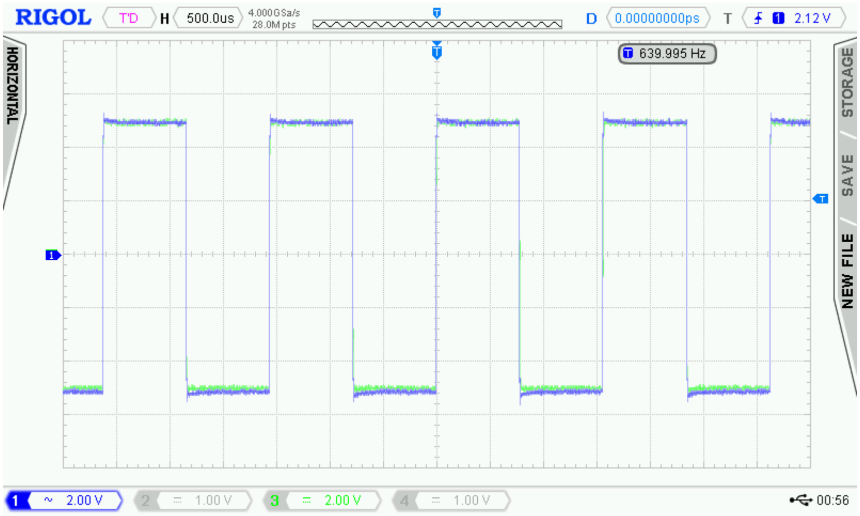

Figura 9: Circuito andando a 640(Hz)

2.1. Guía de usuario

A continuación se explicará detalladamente cada paso referente a la utilización de la GUI implementada. Los pasos a desarrollar son el ingreso de datos desde los distintos tipos de fuentes, edición de las etiquetas, seleccionar la visualización del gráfico en una o dos figuras, eliminar los gráficos anteriores y por ultimo, la exportación de los gráficos.

Previo a desarrollar los pasos se muestra una figura con el diseño de la interfaz gráfica, tal cual se muestra una vez que el usuario inicia el programa

A la izquierda se encuentra el panel de controles, cuyo funcionamiento se explicara a continuación, mientras que a la derecha se encuentra la figura donde se graficarán nuestros datos.

2.1.1. Ingresar datos

El programa nos permite ingresar datos desde tres fuentes distintas, archivos de LTspice, transferencias analíticas o mediciones(en un formato determinado que se explicara posteriormente). Los tres botones para ingresar los mismos se muestran en la Figura 11.

El botón 'Spice' abrirá un explorador de archivos, que nos permitirá seleccionar un archivo .txt que previamente habremos exportado desde una simulación de LTspice. El archivo debe corresponder a una simulación del tipo 'AC Analysis', que cuente con la transferencia de un solo nodo. Una vez seleccionado el archivo correspondiente aparecerá el gráfico correspondiente en la figura.

Para ingresar una transferencia analítica contamos con dos posibilidades, puede ser ingresada mediante sus polos, ceros y ganancia ('Poles, Zeros & Gain') o bien mediante los polinomios del numerador y denominador('Num & Den'). La opción se selecciona con los controles que se encuentran debajo del boton 'H(s)', y se debe indicar previo a pulsar el botón. Si seleccionamos la opción 'Poles, Zeros & Gain', al pulsar el botón 'H(s)'

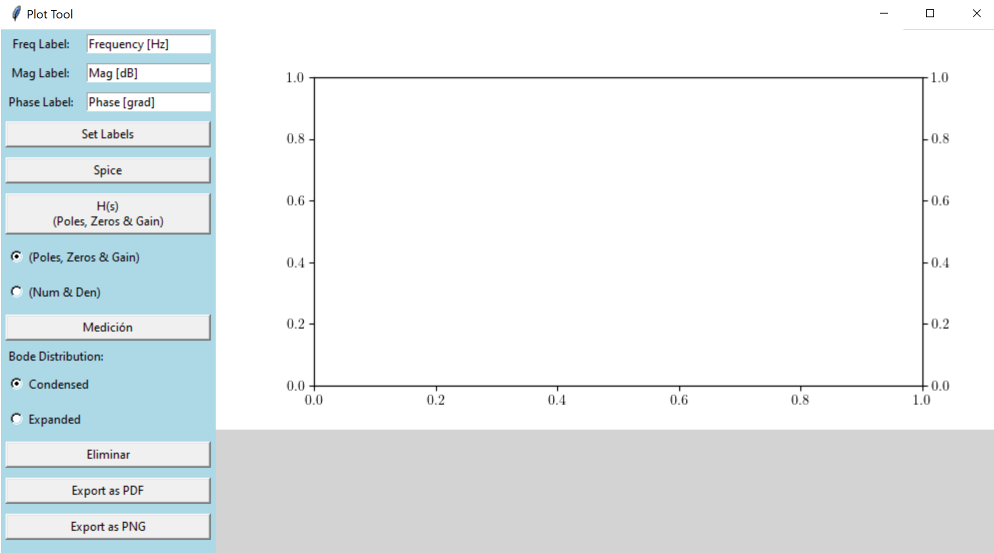

Figura 10: GUI al iniciar el programa

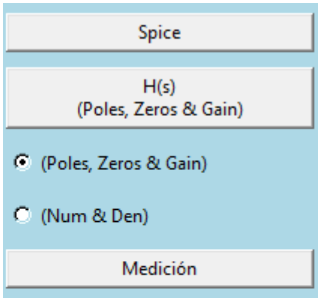

Figura 11: Elementos del panel de controles con referencias

se abrirá una ventana (Figura 12) en la cual se deben ingresar los datos. El formato de los polos y ceros es el siguiente: suponiendo que la funcion transferencia tiene n polos $p1$, $p2$, ... pn, se deberan ingresar separados por un espacio: $p1\ p2\ \dots\ pn$. De la misma forma para los ceros, si la transferencia cuenta con m ceros $z1$, $z2$, ... zm, se deberán ingresar separados por un espacio: $z1\ z2\ \dots\ zm$. El campo de la ganancia se llena con el valor de la ganancia correspondiente.

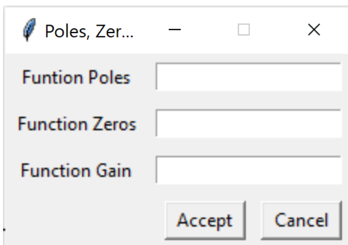

Figura 12: Prompt modo 'Poles, Zeros & Gain'

Al seleccionar el modo 'Num & Den' y pulsar el botón 'H(s)' se abrirá un prompt como el que se muestra en la Figura 13. Los datos se deben ingresar como un conjunto de coeficientes de polinomios ordenados (estilo polinomio de Matlab). Por ejemplo, si quisieramos ingresar el polinomio $ax^2 + bx + c$, se deberán ingresar los coeficientes a, b y c en forma ordenada separados por un espacio, de la siguiente forma:$a\ b\ c$. Los campos Numerador y Denominador admiten el mismo formato.

La ultima opción de ingresar datos admite dos tipos de archivos, .csv y .xlsx. El formato de los mismos deberá ser el siguiente:

- **.csv:** Los datos deberán contener headers, el caracter de separación de columnas debe ser *;* y el orden de las misma debe ser *frecuencia;magnitud;fase*; frecuencia en Hz, magnitud en dB y fase en grados.
- **.xlsx:** Los archivos de Excel deberán estar formateados de la siguiente manera: los datos *frecuencia*,

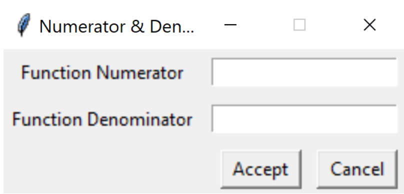

Figura 13: Prompt modo 'Num & Den'

magnitud y *fase* deberán colocarse en las columnas A, B y C, respectivamente, el archivo no deben contener headers, y el primer dato deberá colocarse en la fila 0

Cada vez que se cargue un dato a graficar, el programa abrirá automáticamente un prompt en el cual se podrá ingresar una etiqueta que describa el gráfico correspondiente.

2.1.2. Editar etiquetas

En la parte superior del panel de controles se encuentran tres cuadros de texto en los cuales podemos ingresar las etiquetas de los ejes, como se muestra en la Figura 14. Por default estas son *Frequency [Hz]*, *Mag [dB]* y *Phase [grad]* para frecuencia, magnitud y fase respectivamente. Para modificarlas, debemos ingresar la etiqueta deseada y hacer click en 'Set Labels'.

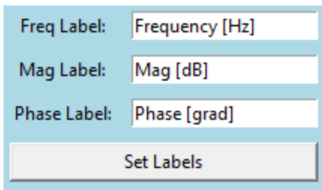

Figura 14: Controles para modificar etiquetas de ejes

2.1.3. Distribución de los gráficos

La interfaz cuenta con una herramienta para poder seleccionar la disposición de las curvas. Mediante este control podemos disponer las curvas de magnitud y fase en una misma figura('Condensed'), o separar las curvas de magnitud y fase en dos figuras diferentes('Expanded'). Las Figuras 15 y 16 muestran los gráficos en modo 'Condensed' y 'Expanded', respectivamente.

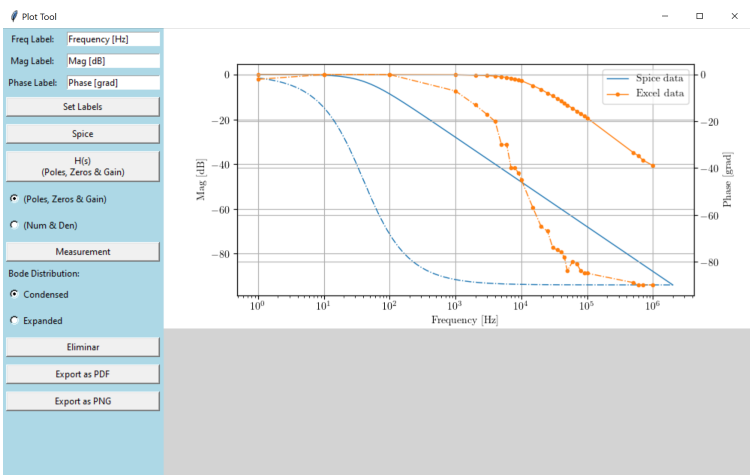

Figura 15: Gráficos en modo 'Condensed'

2.1.4. Eliminar gráficos

Para eliminar los gráficos cargados, es necesario hacer click en la opción 'Remove Plots'. Esta herramienta borrará todos los gráficos que estén graficados en la figura. No es posible remover los gráficos individualmente

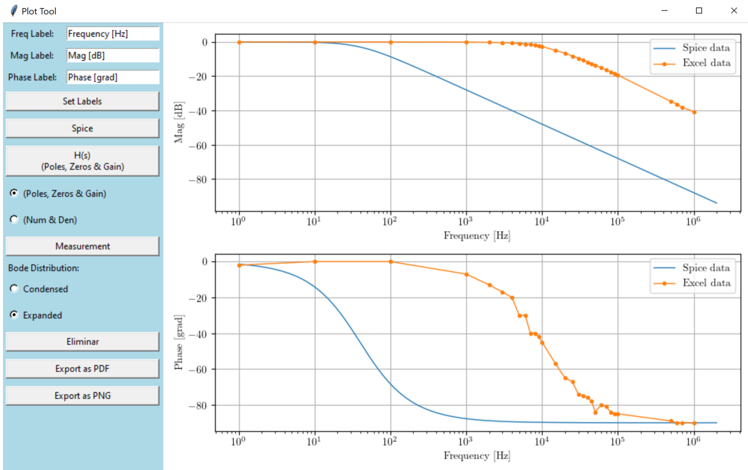

Figura 16: Gráficos en modo 'Expanded'

2.1.5. Exportar gráficos

La ultima herramienta de la interfaz permite exportar los gráficos en dos formatos: PDF y PNG. El archivo exportado tendrá el formato que se presente en la GUI según el modo seleccionado (Condensed o Expanded). Al seleccionar el botón de *Exoport as...* se abrirá un explorador de archivos para indicar la ubicación y nombre de nuestro archivo exportado. Las Figuras 17 y 18 muestran las figuras generadas en ambos modos:

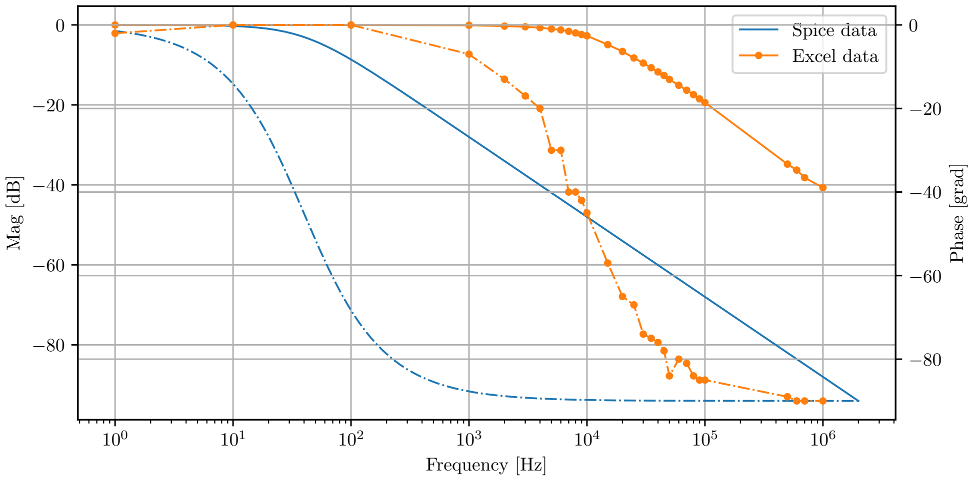

Figura 17: Resultado exportado en modo 'Condensed'

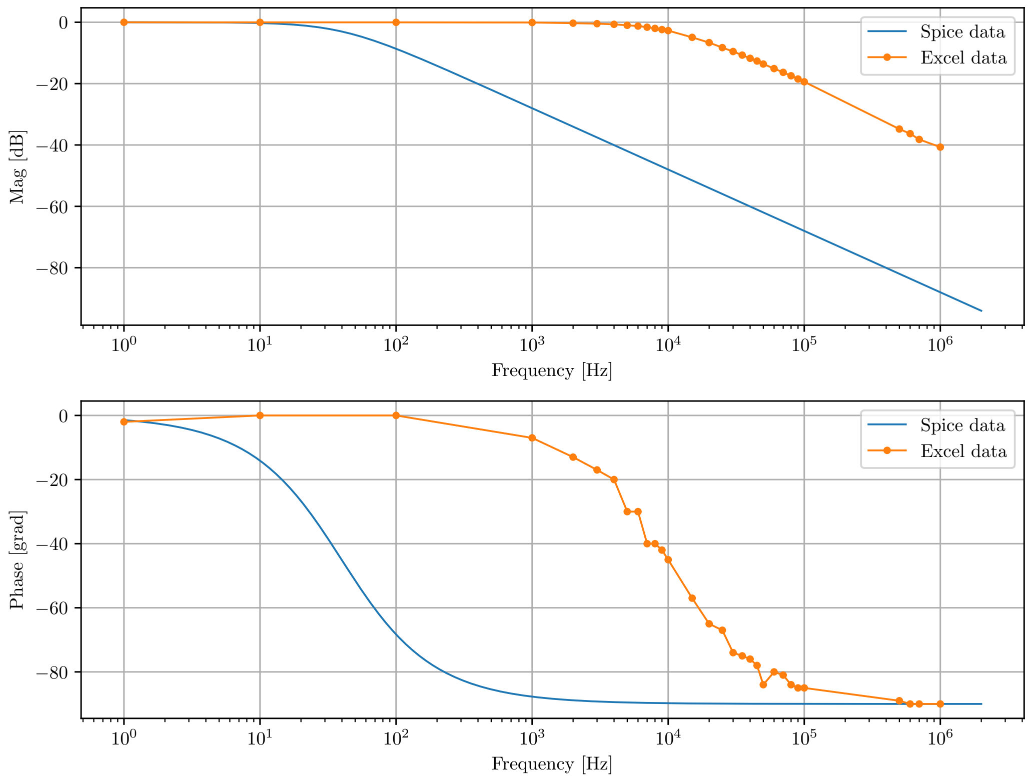

Figura 18: Resultado exportado en modo 'Expanded'