



UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA Y CIRCUITOS
LABORATORIO DE COMUNICACIONES EC-3043
PROFESOR: MIGUEL DÍAZ

INFORME - PRÁCTICA #2
FILTROS

Integrantes:

Miguel Salcedo 15-11326

Giancarlo Torlone 20-10626

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	3
MARCO TEÓRICO	4
METODOLOGÍA	8
RESULTADOS	9
ANÁLISIS DE RESULTADOS	15
CONCLUSIONES	17

INTRODUCCIÓN

En esta práctica se estudiaron distintos tipos de filtros como Pasa Bajo, Pasa Alto y Pasa Banda, tanto Chebyshev como los Butterworth.

Se utilizó el Analizador de Espectros para analizar cada uno de los filtros midiendo su ancho de banda, frecuencia central, frecuencia de corte, número de rizados, entre otras mediciones importantes. Además, también se determinó el ancho de banda del cable utilizado en el Analizador de Espectros para medir las respuestas de los filtros.

MARCO TEÓRICO

Filtros

Los filtros analógicos son un tipo de filtro electrónico que modifica las componentes frecuenciales de una señal analógica de forma diferente en función de su frecuencia.

Los Filtros analógicos pasivos pueden clasificarse según el rango de frecuencia de la banda pasante en:

- Pasa Bajos. $V_{out} = 0$, $f > f_c$
- Pasa Altos. $V_{out} = 0$, $f < f_c$
- Pasa Banda. $V_{out} = 0$, $f > f_{max}$ y $f < f_{min}$
- Rechaza Banda. $V_{out} = 0$, $f_{max} < f < f_{min}$

Filtros Butterworth

El filtro de Butterworth es uno de los filtros electrónicos básicos, diseñado para producir la respuesta más plana que sea posible hasta la frecuencia de corte. En otras palabras, la salida se mantiene constante casi hasta la frecuencia de corte, luego disminuye a razón de $20n$ dB por década (o $\sim 6n$ dB por octava), donde n es el número de polos del filtro.

El filtro Butterworth más básico es el típico filtro pasa bajo de primer orden, el cual puede ser modificado a un filtro pasa alto o añadir en serie otros formando un filtro pasa banda o elimina banda y filtros de mayores órdenes.

Según lo mencionado antes, la respuesta en frecuencia del filtro es extremadamente plana (con mínimas ondulaciones) en la banda pasante. Visto en un diagrama de Bode con escala logarítmica, la respuesta decae linealmente desde la frecuencia de corte hacia menos infinito. Para un filtro de primer orden son -20 dB por década (aprox. -6 dB por octava).

El filtro de Butterworth es el único filtro que mantiene su forma para órdenes mayores (sólo con una pendiente mayor a partir de la frecuencia de corte). Este tipo de filtros necesita un mayor orden para los mismos requerimientos en comparación con otros, como los de Chebyshev o el elíptico.

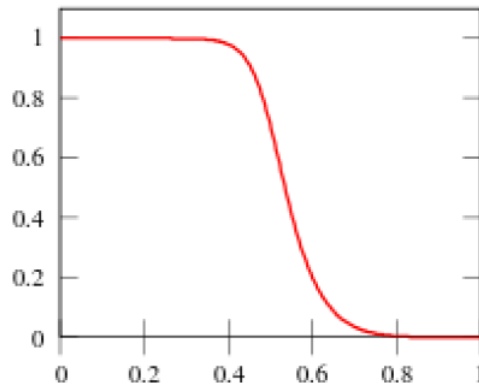


Figura 1. Filtro Butterworth

Filtros Chebyshev

Los filtros de Chebyshev son un tipo de filtro electrónico, puede ser tanto analógico como digital.

Con los filtros de Chebyshev se consigue una caída de la respuesta en frecuencia más pronunciada en frecuencias bajas debido a que permiten rizado en alguna de sus bandas (paso o rechazo). A diferencia del Filtro de Butterworth donde los polos se distribuyen sobre una circunferencia, los polos del filtro Chebyshev lo hacen sobre una elipse; sus ceros se encuentran en el eje imaginario.

Se conocen dos tipos de filtros Chebyshev, dependiendo del rizado en alguna banda determinada:

- **Filtros de Chebyshev de tipo I**

Son filtros que únicamente tienen polos, presentan un rizado constante en la banda pasante y presentan una caída monótona en la banda de rechazo.

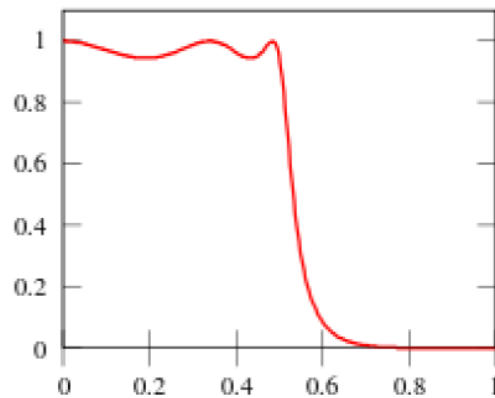


Figura 2. Filtro Chebyshev de tipo I

- **Filtros de Chebyshev de tipo II**

Estos filtros a diferencia de los Chebyshev I presentan ceros y polos, su rizado es constante en la banda de rechazo y además presentan una caída monotónica en la banda pasante.

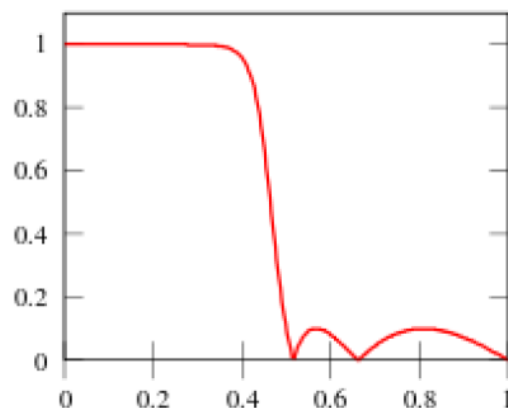


Figura 3. Filtro Chebyshev de tipo II

Filtros elípticos

El filtro elíptico a diferencia de los demás filtros tiene un rizado en la banda de paso y en la banda de atenuación, este filtro es lo más cercano a un filtro ideal ya su banda de transición tiene una caída muy rápida, una de las ventajas como se mencionó tiene una caída abrupta en la banda de transición, que es su cambio desde la banda de paso a la banda de supresión, una de sus desventajas es que para su cálculo requiere de funciones elípticas por lo que su función de transferencia se hace muy complicada de resolver.

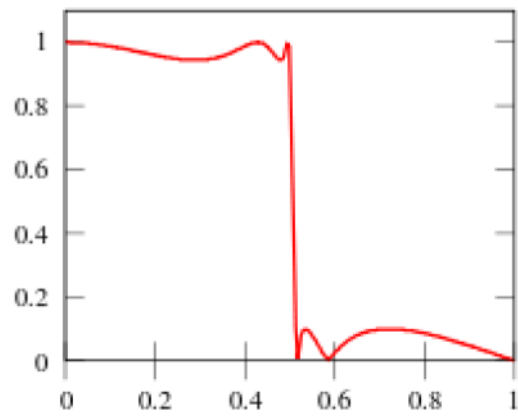


Figura 4. Filtro elíptico

METODOLOGÍA

Para los filtros presentes en el laboratorio y utilizando Analizador de Espectro se tomaron en consideración 4 filtros distintos donde no se conocía la respuesta en frecuencia. En primer lugar, se midió el ancho de banda del cable a usar para la práctica. Luego, se procedió a conectar cada uno de los filtros al Analizador de Espectros para hallar las siguientes especificaciones de cada filtro con sus respectivas tablas y gráficas:

- Frecuencia Central
- Ancho de Banda
- Frecuencia de Corte
- Número de Rizos
- Atenuación en la Banda Pasante
- Pendiente de caída del Filtro por década.
- Factor de Calidad $Q = f_c / (\text{ancho de banda})$

RESULTADOS

- **Cable para las mediciones**

Prueba del cable en 0 y 1 GHz.

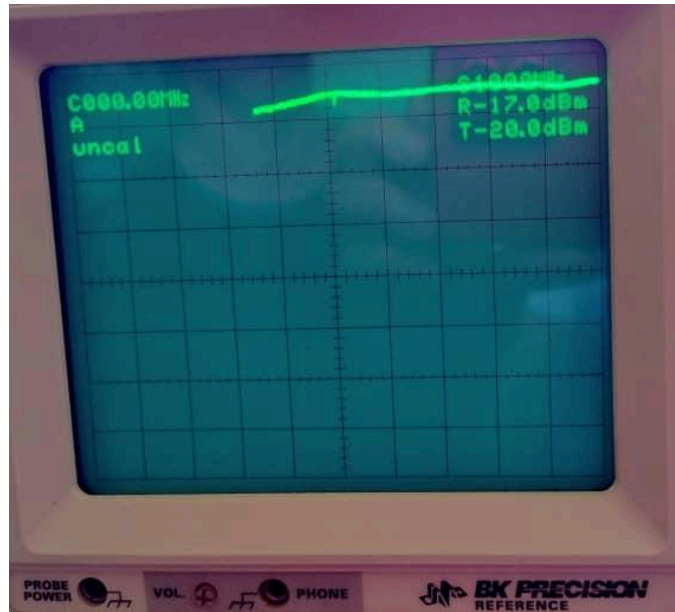


Figura 5. Cable en 0 Hz

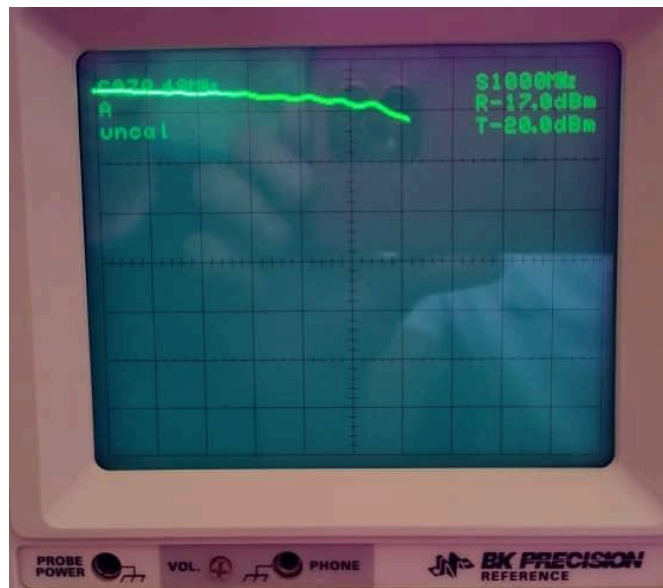


Figura 6. Cable en 1 GHz aprox.

- **Filtro #13**



Figura 7. Circuito filtro #13

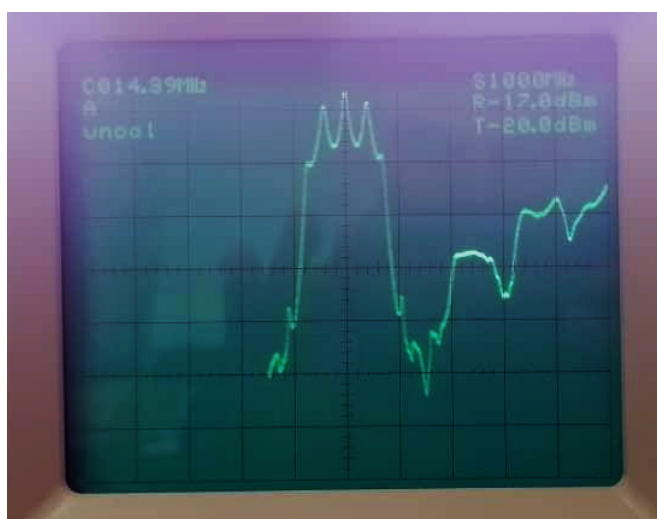


Figura 8. Respuesta en frecuencia filtro #13

Tipo	AB (MHz)	Fc (MHz)	Nº de rizados	Q	Pendiente
Pasa Bajo Chebyshev	67,85	67,85	3	1	-40 dB/oct

Tabla 1. Datos filtro # 13

- Filtro #12

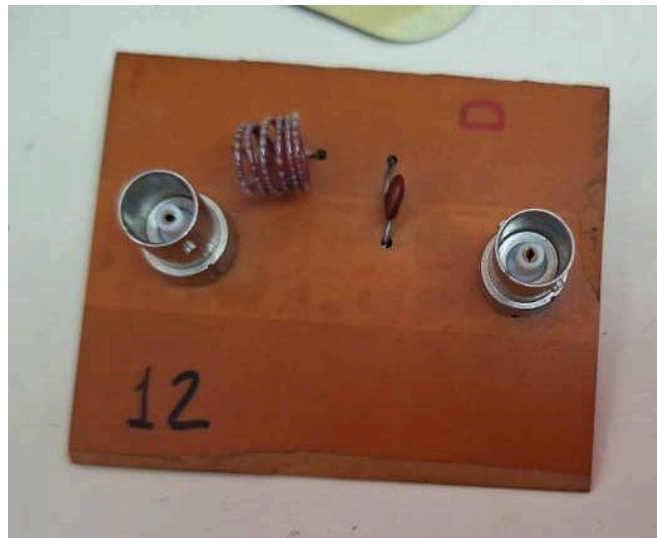


Figura 9. Circuito filtro #12

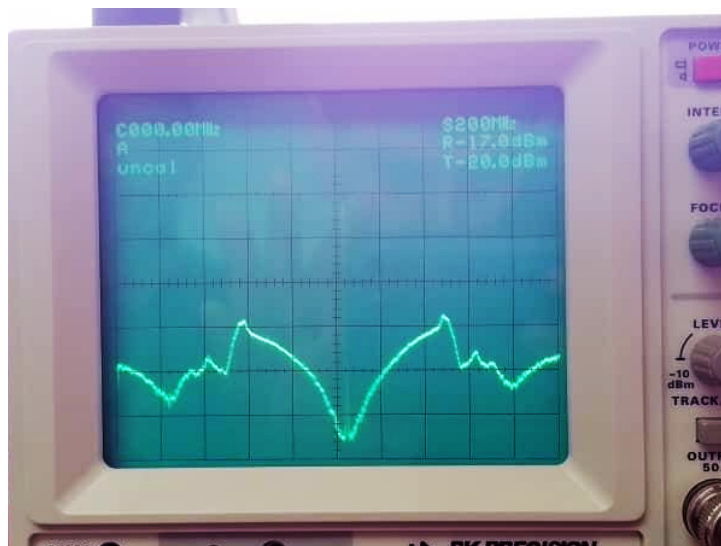


Figura 10. Respuesta en frecuencia filtro #12

Tipo	AB (MHz)	Fc (MHz)	F de caída (MHz)	Nº de rizos	Q	Pendiente
Pasa Alto Chebyshev	31,93	42,23	74,16	1	1,32	-20 dB/dec

Tabla 2. Datos filtro # 12

- Filtro #2

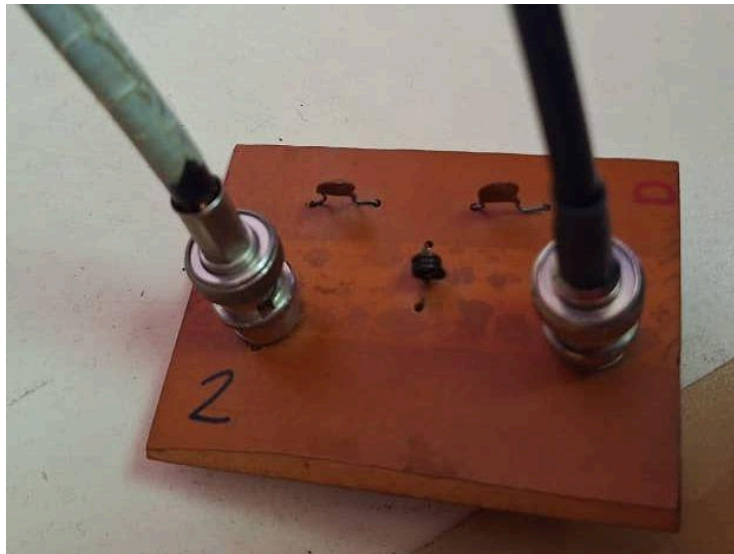


Figura 11. Circuito filtro #2

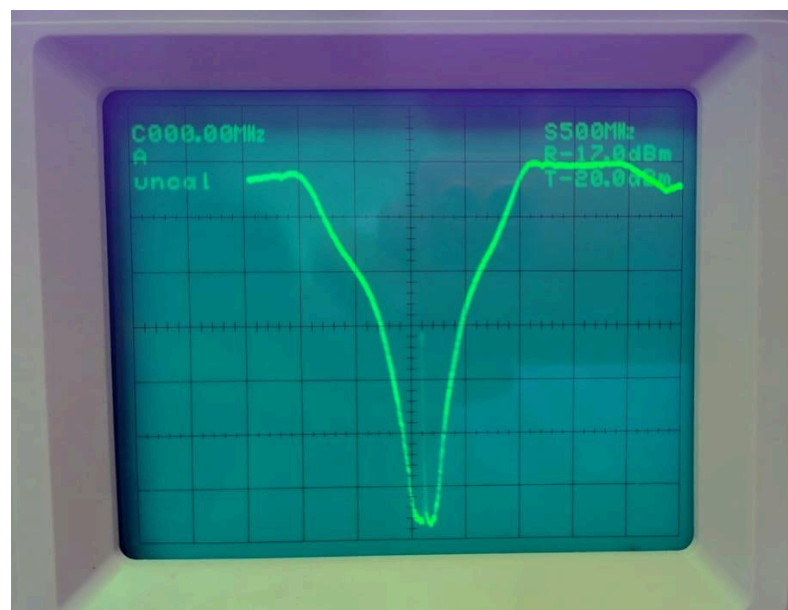


Figura 12. Respuesta en frecuencia filtro #2

Tipo	AB (MHz)	Fc (MHz)	F de caída (MHz)	Q	Pendiente
Pasa Alto Butterworth	123,36	94,58	217,94	0,77	-70 dB/dec

Tabla 3. Datos filtro # 2

- **Filtro #10**



Figura 13. Circuito filtro #10

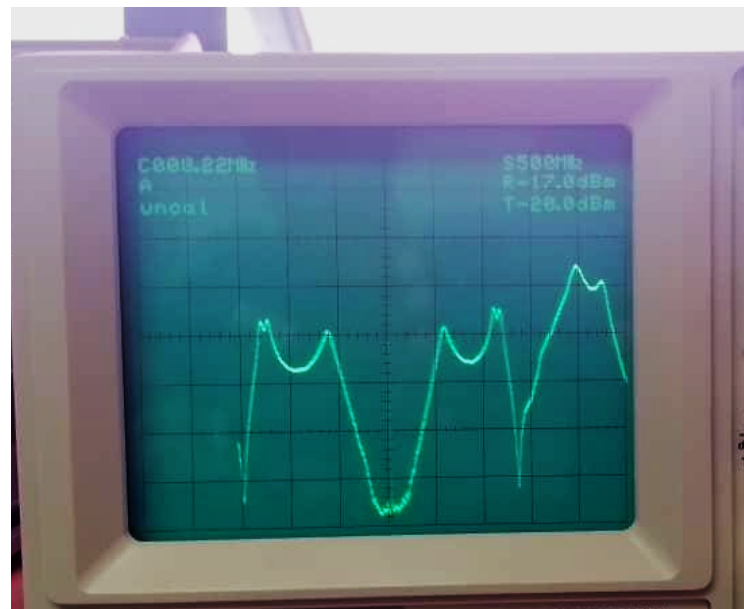


Figura 14. Respuesta en frecuencia filtro #10

Tipo	F. mín (MHz)	F. máx (MHz)	AB (MHz)	F. central (MHz)
Pasa Banda Chebyshev	51,40	131,59	80,19	91,5
Nº de rizados	Q	Pendiente (banda de subida)	Pendiente (banda de bajada)	x
2	1,14	-40 dB/dec	-40 dB/oct	x

Tabla 4. Datos filtro # 10

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En primer lugar, se estudió el ancho de banda del cable para conocer si este no presentaba ninguna falla y se obtuvo que el cable empezó a presentar atenuación en un valor cercano a 1 GHz. Por lo tanto, al trabajar con frecuencias mucho menores los resultados no se verán afectados por el ancho de banda de los cables usados. En segundo lugar, se conectaron los distintos filtros para empezar a medir su respuesta en frecuencia y para esto se usaron 4 filtros donde sus configuraciones son: 1 pasa bajo, 1 pasa banda y 2 pasa altos.

En el primer filtro pasa bajo mostrado en la **figura 8**, se puede notar fácilmente que es un filtro pasa bajas Chebyshev por los rizados muy pronunciados que se aprecian en la imagen. Para determinar la frecuencia de corte del filtro se tomó en cuenta la caída de -3 dB desde el último mini rizo que se ve en la respuesta en frecuencia. Luego, teniendo la frecuencia de corte y a su vez el ancho de banda del filtro, se pudo calcular el factor de calidad Q, que nos indica un valor de 1 ya que el ancho de banda coincide con la frecuencia de corte por ser un filtro pasa bajo. Por último, se determinó la pendiente de caída del filtro en octavas, dada la imposibilidad de calcular exactamente esta caída del filtro por todos los picos que tiene este luego del -3 dB calculado.

El primer filtro pasa alto mostrado en la **figura 10**, se puede observar más difícilmente que el anterior que es un filtro Chebyshev. Sin embargo, se llegó a esta conclusión por el pico que se aprecia en la imagen luego de los -3 dB que se calcularon con la ayuda del analizador de espectros. Para poder determinar el ancho de banda de este filtro se tuvo que medir nuevamente -3 dB, pero para la caída del filtro y ver cuál es su rango de operación, ya que este es distinto a la teoría donde idealmente estos filtros tienen un ancho de banda infinito. Luego de esto, se realizó el mismo procedimiento que para un filtro pasa banda y se restaron ambas frecuencias para determinar el ancho de banda del filtro. Con estos datos se procedió a calcular el factor de calidad Q, obteniendo un valor más alto que el filtro pasa bajo anterior, concordando con las características del filtro que posee un ancho de banda más pequeño que su frecuencia de corte, dando como resultado un factor de calidad más elevado. En este caso, sí se pudo calcular la pendiente de caída en dB/dec, obteniendo una pendiente no tan pronunciada como en el filtro anterior.

Para el segundo filtro pasa alto que se muestra en la **figura 12**, se nota que es un filtro de tipo Butterworth por su caída más suave y sin la presencia de los característicos rizados del filtro Chebyshev. Al igual que el filtro pasado, se calculó la frecuencia de corte del filtro en el punto -3 dB en un inicio y luego se calculó cuando éste cayera -3 dB en la parte de caída del filtro. De esta forma, se obtuvo el ancho de banda de este filtro y se pudo calcular el factor de calidad Q. En este caso se tiene un factor de calidad mucho menor a los anteriores y esto se debe al ancho de banda tan grande que tiene este filtro en comparación a su frecuencia de corte. Además, se puede notar en la **figura 12** que la pendiente de caída de este filtro es muy grande y eso se demuestra en su valor de -70 dB/dec.

En el último filtro mostrado en la **figura 14**, se tiene un filtro pasa banda de tipo Chebyshev por sus rizados. Este filtro puede parecerse al primer filtro pasa alto estudiado y se puede llegar a pensar que es un filtro pasa alto, sin embargo, si notamos los filtros pasa altos tienen una pendiente más pronunciada que la otra, pero en este caso se nota que ambas pendientes son pronunciadas, coincidiendo con las características de los filtros pasa banda. Al ser un filtro pasa banda procedimos a calcular la frecuencia mínima y máxima en los puntos -3 dB de las partes bajas de los picos que se observan en la figura. Teniendo ya estas frecuencias, se obtuvo el ancho de banda del filtro y su frecuencia central. De esta forma, se calculó el factor de calidad Q de este filtro obteniendo un valor superior a 1, demostrando que éste tiene un buen factor de calidad debido a su ancho de banda. En este caso se calcularon las dos pendientes que tiene este filtro, pero que para el caso de la pendiente de la banda de bajada se tuvo que usar octavas en lugar de décadas por los picos que se forman luego.

CONCLUSIONES

Para esta práctica se usó el Analizador de Espectros para observar las respuestas en frecuencia de distintos filtros del laboratorio. Cabe destacar que, los filtros son configuraciones electrónicas que permiten el paso de señales a cierta frecuencia y restringir el paso a las frecuencias que no deseamos. Por lo tanto, en primer lugar medimos el ancho de banda que tenían los cables que se iban a usar en la práctica para demostrar que podían trabajar con los filtros y la respuesta no se iba a notar afectada por culpa de éstos.

Al observar que los cables estaban funcionando correctamente se procedió a medir la respuesta en frecuencia de 4 filtros sin conocer qué tipo de configuración eran y qué resultados iban a mostrarse en el Analizador de Espectros. Al estudiar la respuesta de cada filtro pudimos obtener que el primer filtro era un pasa bajos Chebyshev, el segundo y el tercero eran pasa altos Chebyshev y Butterworth, respectivamente, y el último era un filtro pasa banda Chebyshev. En todos los filtros se pudieron observar muchas características de operación distintas a lo que se esperaba teóricamente y esto es debido a los componentes de los filtros que producen respuestas distintas a las que uno espera, ya que éstos cuentan con modelos reales que difieren mucho de los modelos ideales. Un claro ejemplo de esto puede ser la resistencia que puede representarse idealmente como solo una resistencia, pero que en la realidad cuenta con propiedades capacitivas e inductivas simultáneamente. Esto se traslada a todos los componentes y esto puede ser la causa de las respuestas observadas en el Analizador de Espectros.

Cabe señalar que también se trabajaron con inductores distintos a los convencionales, ya que estos eran alambres enrollados, pudiendo ocasionar una respuesta menos previsible por lo fácil que puede ser alterar los valores de éste. Sin embargo, se pudieron observar las respuestas en frecuencia de estos filtros y se calcularon las características necesarias para poder conocer un poco más acerca de los mismos. Por lo tanto, se puede concluir que se cumplieron con todos los objetivos de esta práctica y se comprende mejor cómo funcionan en la realidad estos filtros y que se deben tener en consideración estas variables al momento de diseñar cualquier tipo de filtro pasivo.