

Procesamiento Digital de Señales
Ingeniería en Computación
Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología
Universidad Nacional de Tucumán

Sistema de Transmisión AM con Codificación DTMF

Autores:

Boeri, Benjamin

Campero, Leandro

Villafañe, Cristian

Contenidos

- 01** **Introducción**
Análisis del problema, objetivos del proyecto
- 02** **Planteamiento**
Solución propuesta y prototipo
- 03** **Filtros digitales**
Marco teórico del desarrollo
- 04** **Desarrollo**
Implementación del prototipo y simulación
- 05** **Conclusiones**
Resultados, aplicaciones y conceptos
- 06** **Preguntas**
Espacio reservado para responder preguntas



01

Introducción

Análisis del problema y objetivos del proyecto

Problema

- Sistema de control
 - Modulación en amplitud (AM)
 - Doble Tono Múltiple Frecuencia (DTMF)
- Implementación
 - Filtros digitales
 - Diseño y análisis
- Simulación
 - Matlab
 - Simulink
- Análisis de resultados
 - Casos favorables (ideales)
 - Casos desfavorables (fallas)



02

Planteamiento

Solución propuesta y análisis del prototipo

Sistema



- Frecuencia de muestreo
 - 44 kHz
- Frecuencia de portadora
 - 15 kHz
- Codificación
 - Frecuencias inferiores
697 Hz, 770 Hz, 852 Hz, 941 Hz
 - Frecuencias superiores
1209 Hz, 1336 Hz, 1477 Hz

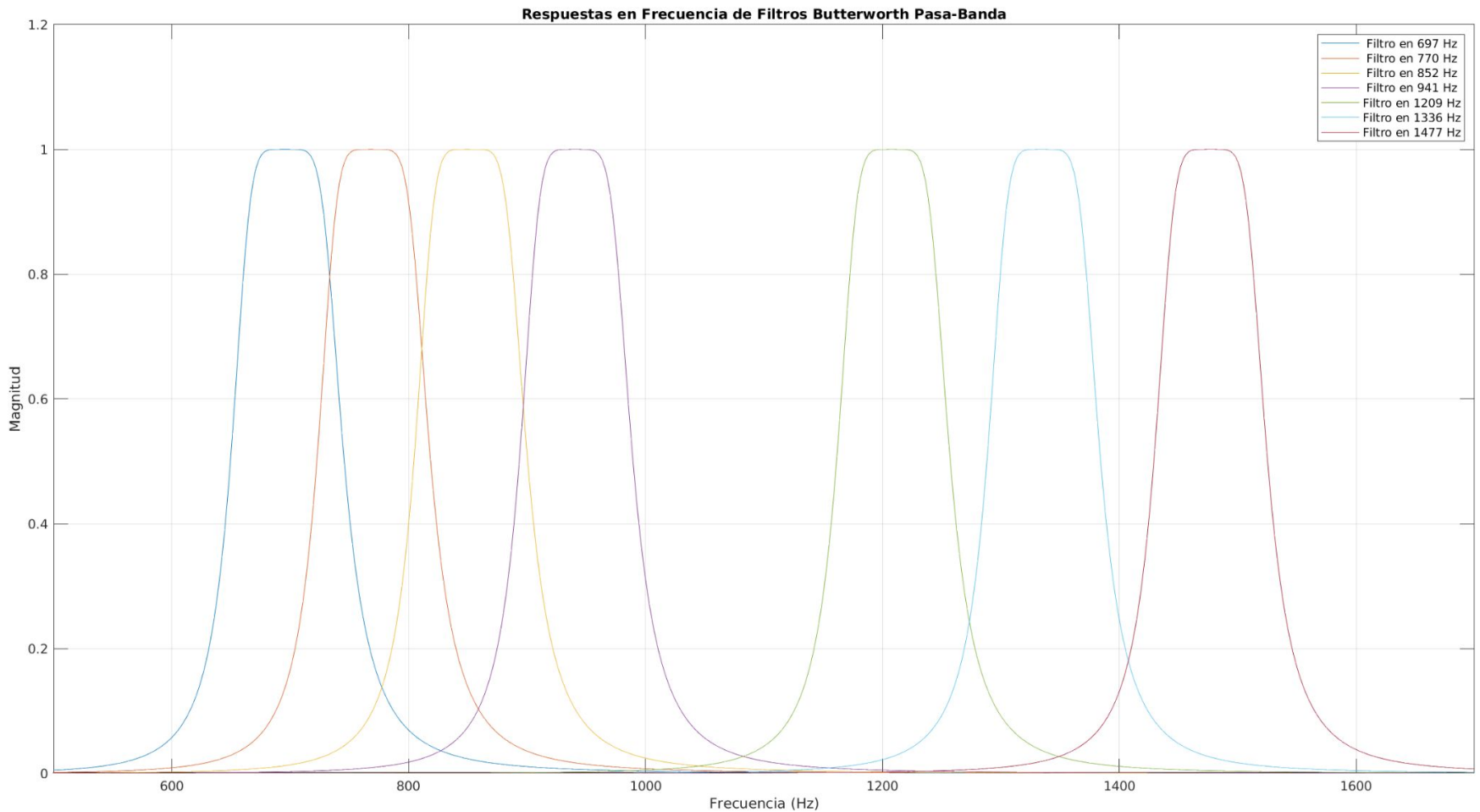
Matriz de Codificación

	1209[Hz]	1336[Hz]	1477[Hz]
697[Hz]	1	2	3
770[Hz]	4	5	6
852[Hz]	7	8	9
941[Hz]		0	

La codificación se basa en la suma de un tono inferior y un tono superior. La decodificación se basa en aislar los tonos para identificarlos

Banco de filtros

Respuesta en frecuencia de filtros pasa-banda





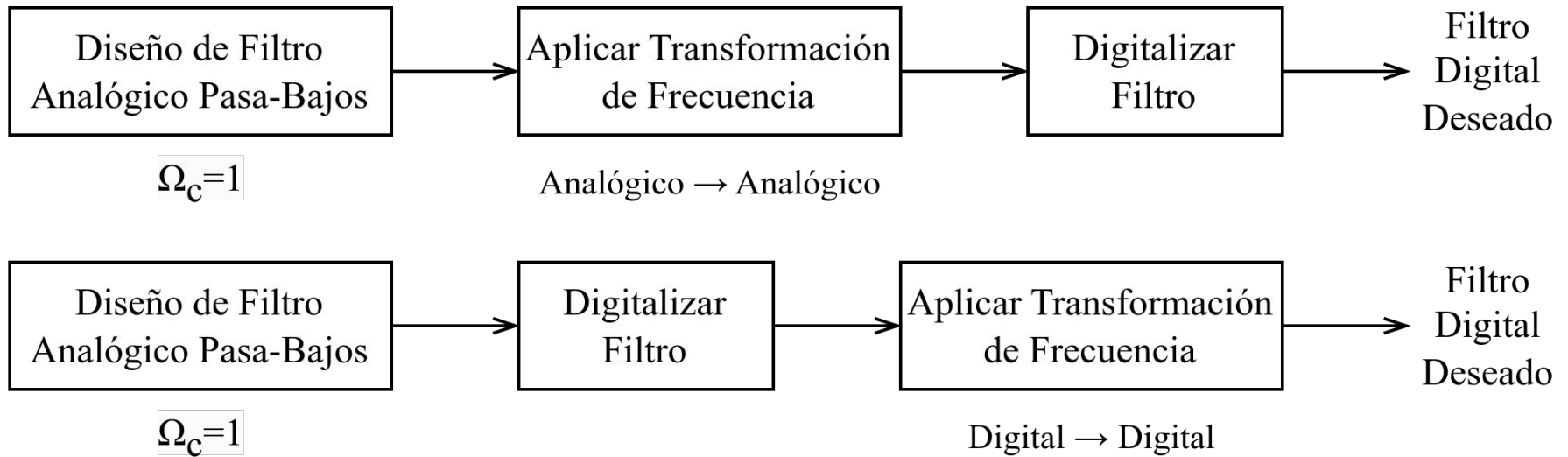
03

Filtros Digitales

Explicación del marco teórico del desarrollo

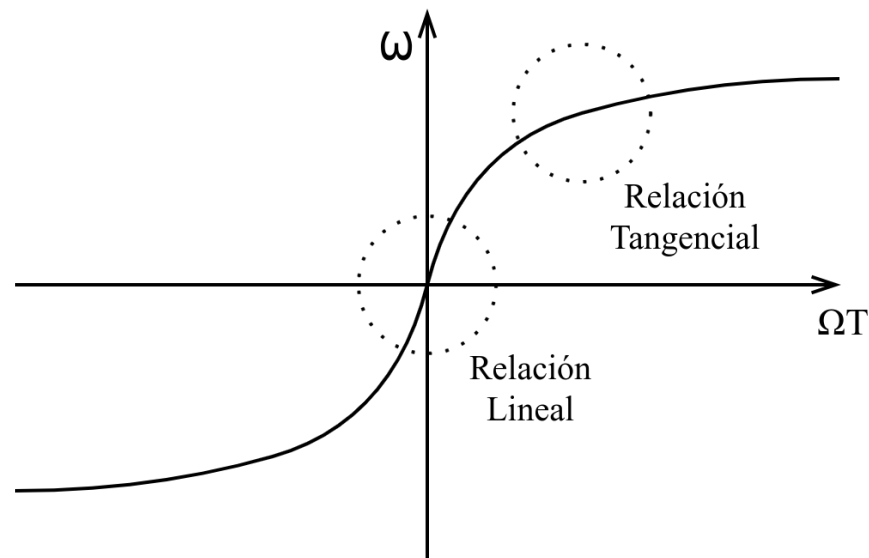
Procedimiento

- Tipo de filtro
 - Butterworth Pasa-Banda
- Transformación
 - Bilineal \rightarrow Pre-Warping



Pre-Warping

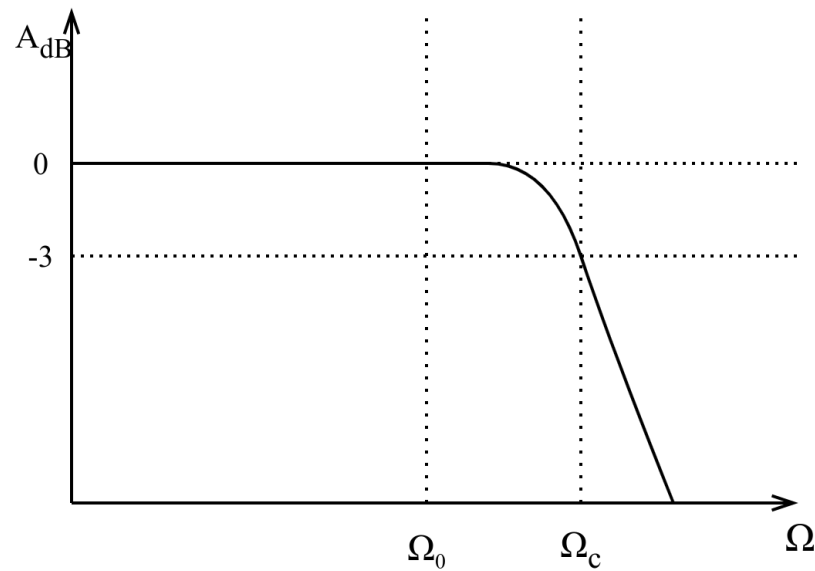
Compensación de distorsión no lineal



$$\Omega = \frac{2}{T} \tan \left(\frac{\omega T}{2} \right) = 2f_s \tan \left(\pi \frac{f}{f_s} \right)$$

Diseño de filtro analógico

Filtro Butterworth Pasa-Bajos

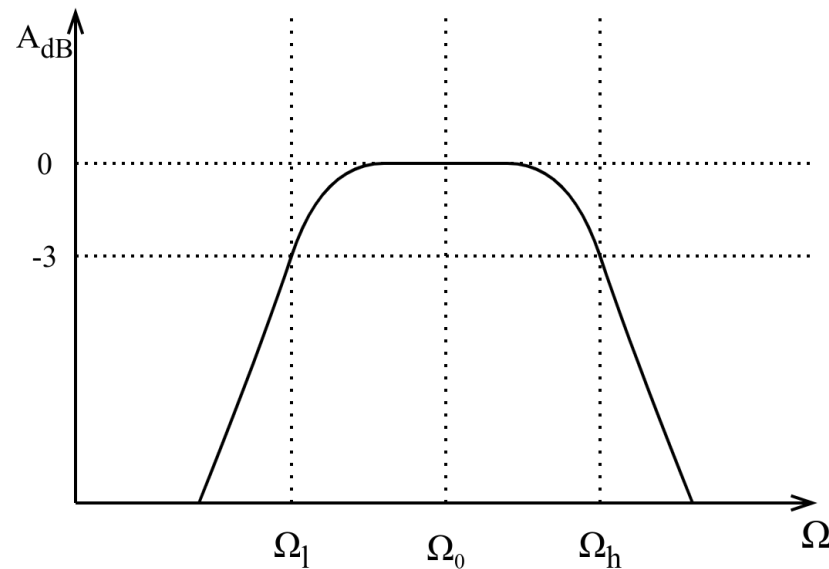


$$H(s) = \frac{1}{(s + 1)}$$

Transformación de frecuencia

Filtro Pasa-Bajos \rightarrow Filtro Pasa-Banda

$$s \rightarrow \frac{s^2 + \Omega_l \Omega_h}{s(\Omega_h - \Omega_l)}$$



Transformación Bilineal

Filtro Analógico → Filtro Digital

$$H(s) = \frac{(\Omega_h - \Omega_l)s}{s^2 + (\Omega_h - \Omega_l)s + \Omega_h\Omega_l} = \frac{BW s}{s^2 + BW s + \Omega_0^2}$$

$$s = \frac{2}{T} \frac{(1 - z^{-1})}{(1 + z^{-1})}$$

$$H(z) = H(s) \Big|_{s = \frac{2}{T} \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}}}$$

Resultados

Ejemplo: Filtro Pasa-Banda centrado en 697[Hz]

$$\Omega_h = 2f_s \tan \left(\pi \frac{f_c + 60}{f_s} \right) = 4761,01 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$

$$\Omega_l = 2f_s \tan \left(\pi \frac{f_c - 60}{f_s} \right) = 4005,15 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$

Filtro Analógico

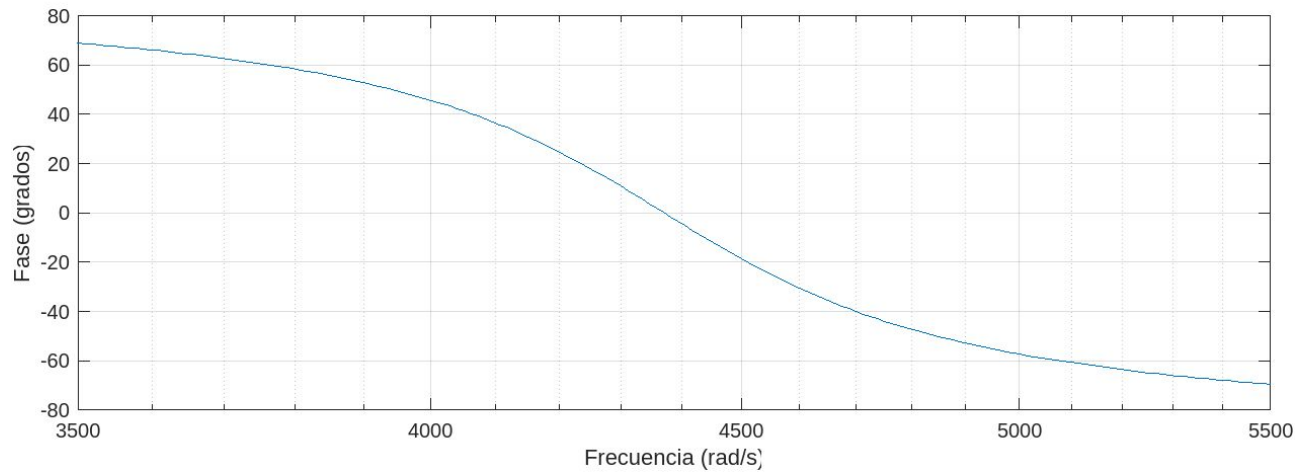
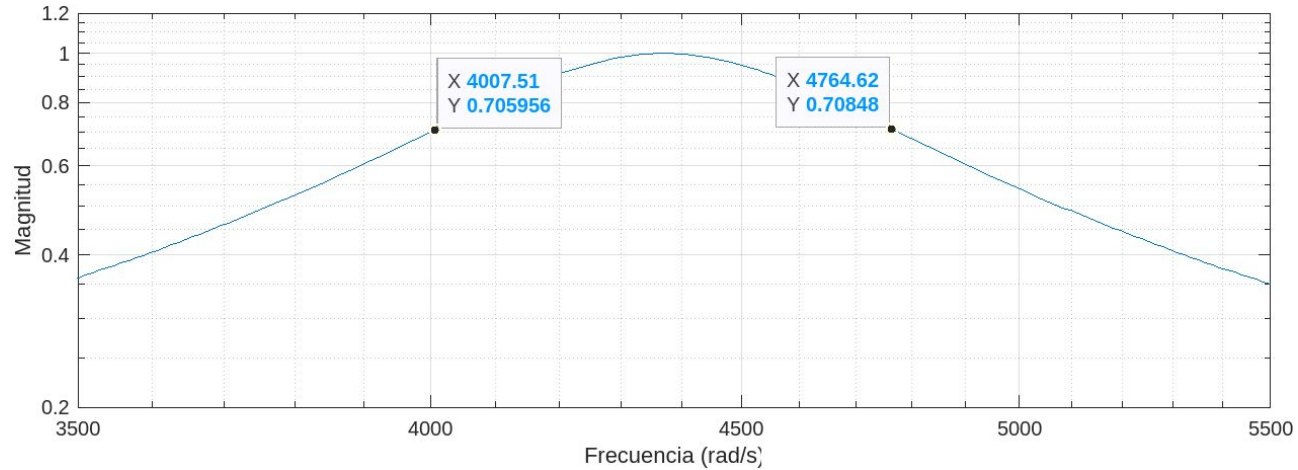
$$H(s) = \frac{s}{0,00132s^2 + s + 25220}$$

Filtro Digital

$$H(z) = \frac{8,49 \times 10^{-3} - 8,49 \times 10^{-3}z^{-2}}{1 - 1,97z^{-1} + 0,98z^{-2}}$$

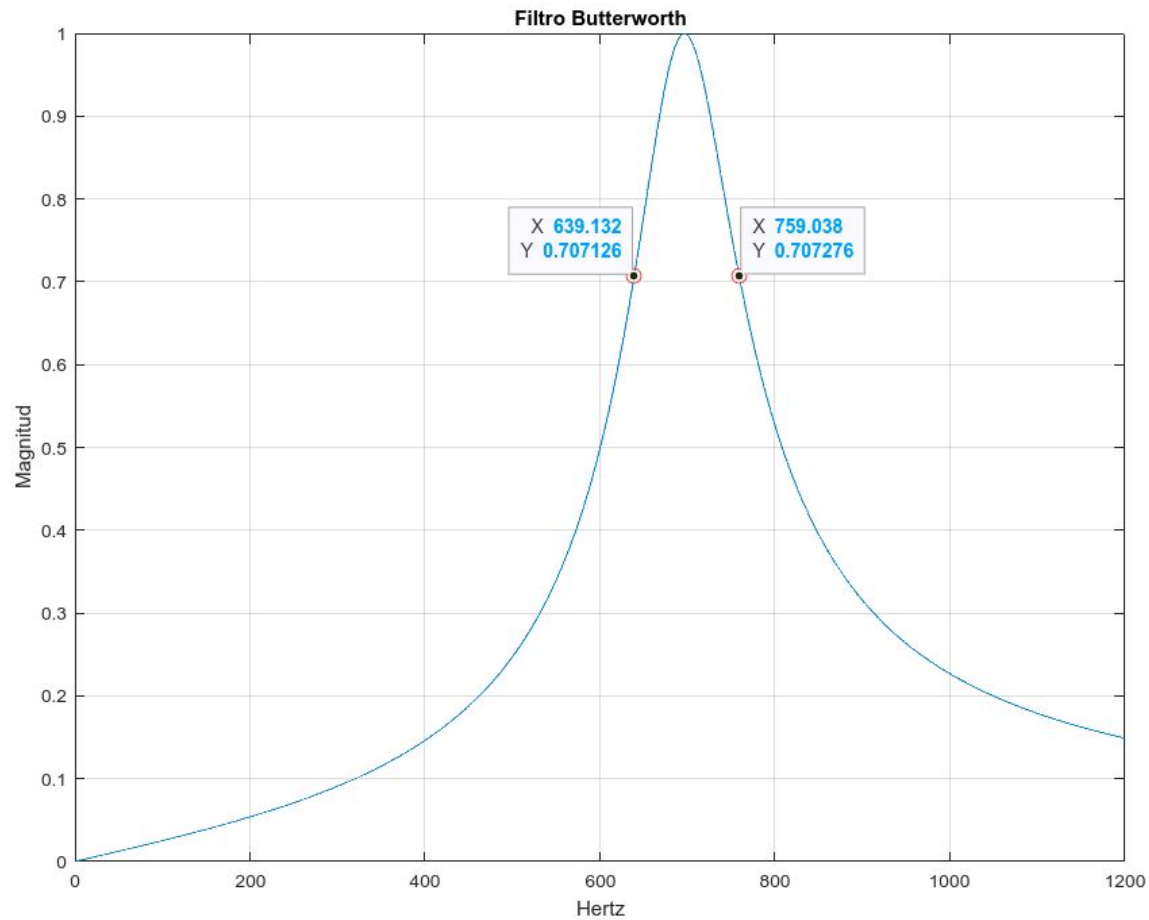
Resultados

Ejemplo: Filtro Pasa-Banda centrado en 697[Hz]



Resultados

Ejemplo: Filtro Pasa-Banda centrado en 697[Hz]



Resultados

Ejemplo: Filtro Pasa-Banda centrado en 697[Hz]

Polos y ceros (Plano S)

$$p_1 = -379 + 4,35 \times 10^3 j$$

$$p_2 = -379 - 4,35 \times 10^3 j$$

$$c = 0$$

Puntos a la izquierda del eje imaginario

Polos y ceros (Plano Z)

$$p_1 = 0,987 + 0,0981j$$

$$p_2 = 0,987 - 0,0981j$$

$$c_1 = 1$$

$$c_2 = -1$$

Módulo menor a la unidad

Puntos dentro del círculo unitario



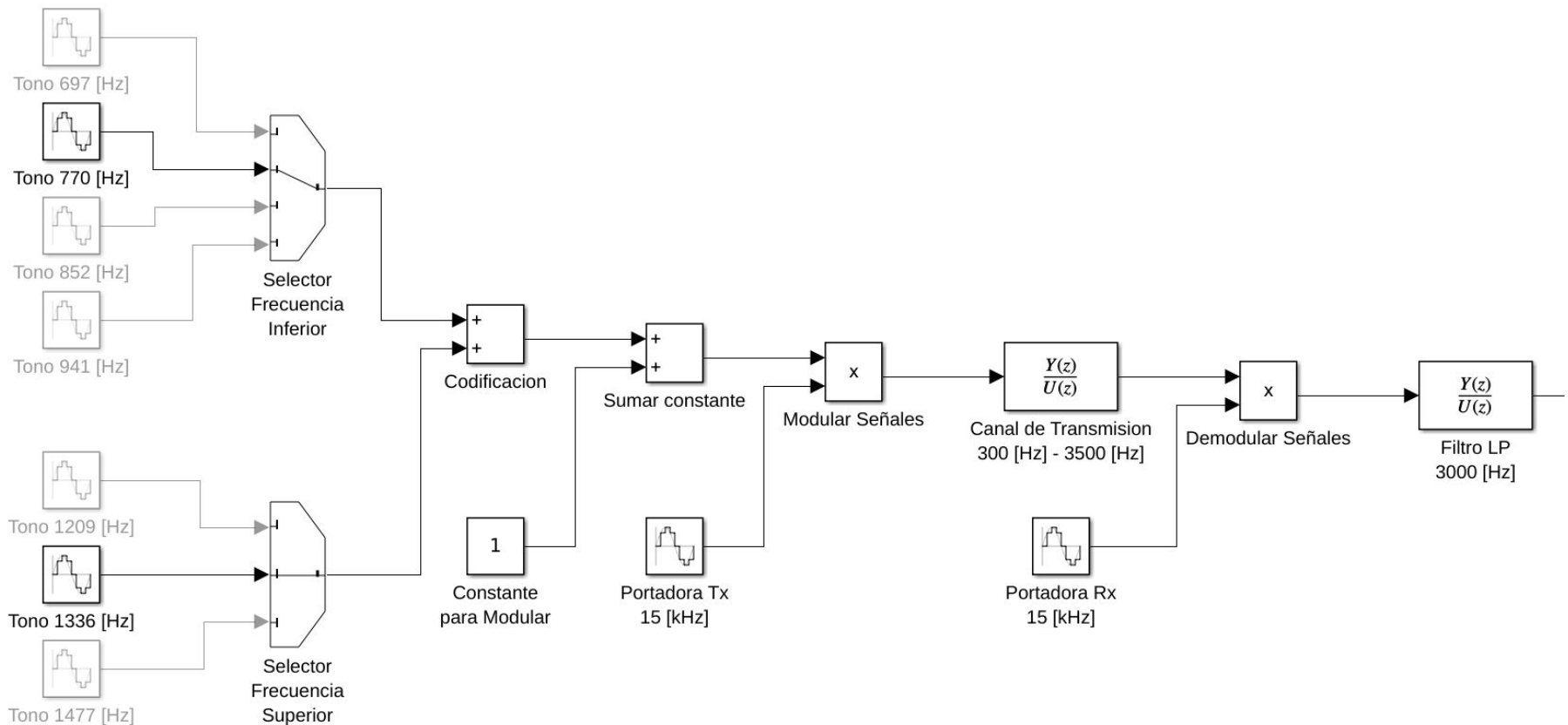
04

Desarrollo

Implementación del prototipo y simulación con MATLAB

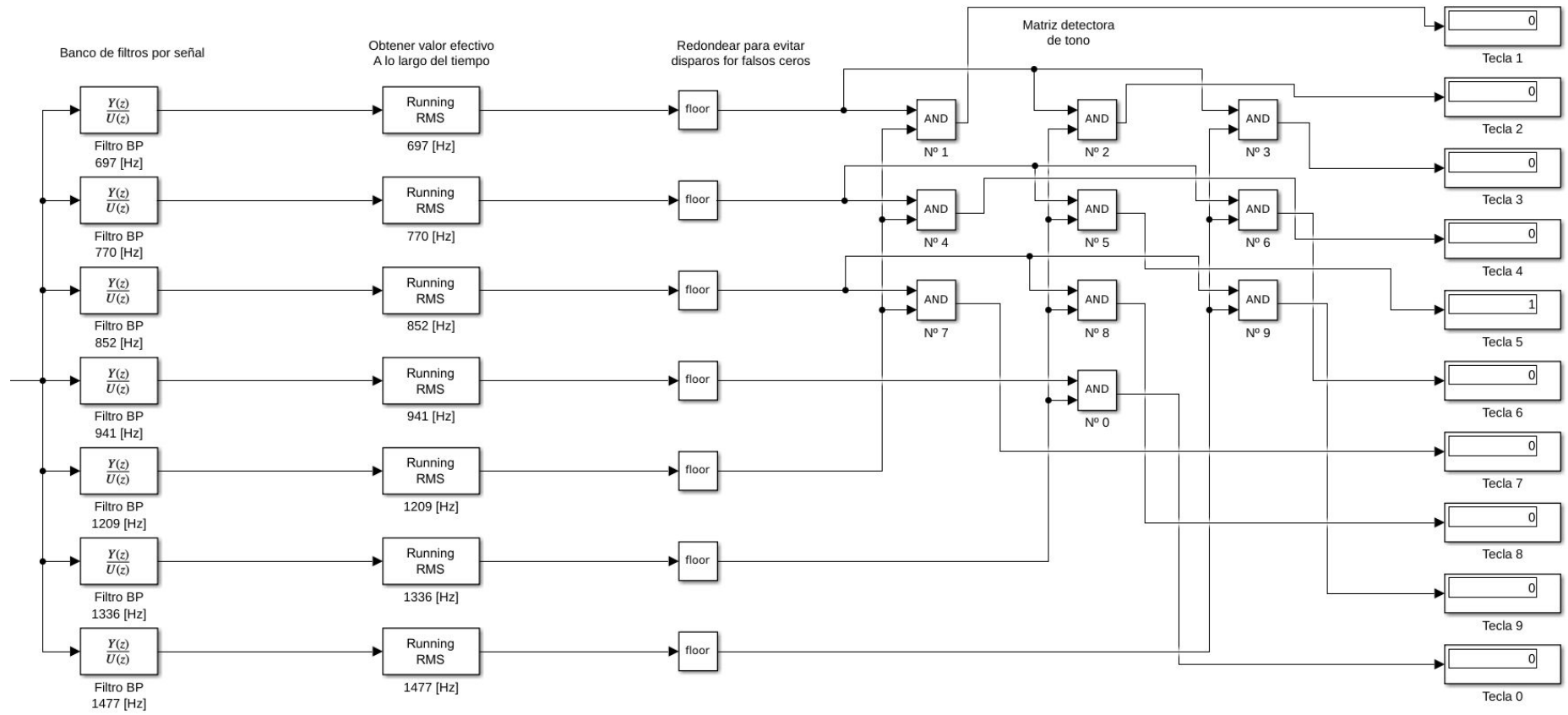
Simulación: 1º Etapa

Codificación → Modulación → Transmisión → Demodulación



Simulación: 2º Etapa

Banco de filtros → RMS → Truncamiento → Matriz Decod.



Caso 1:

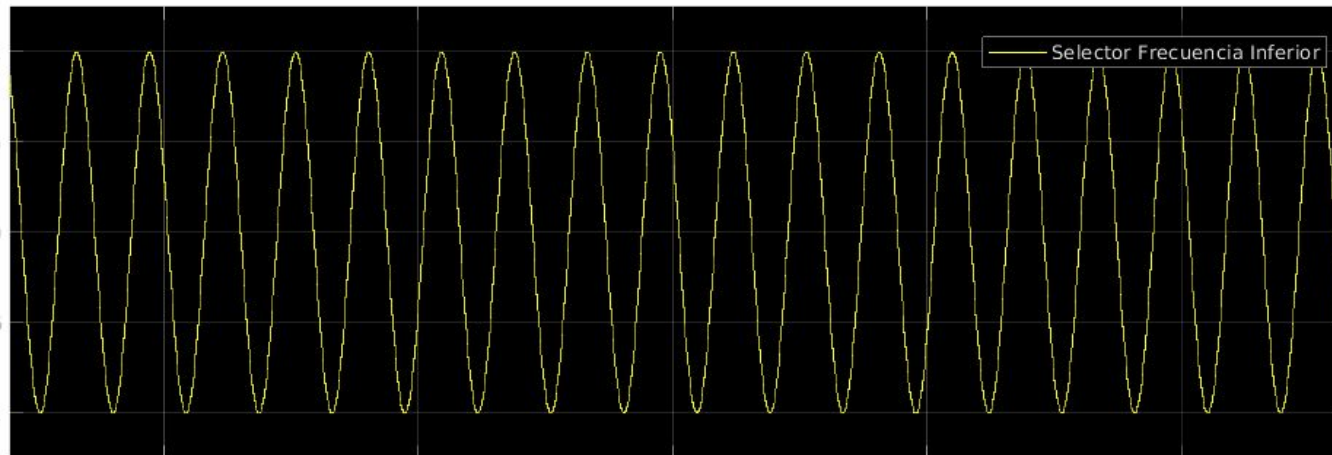
Canal ideal

Ancho de banda extendido

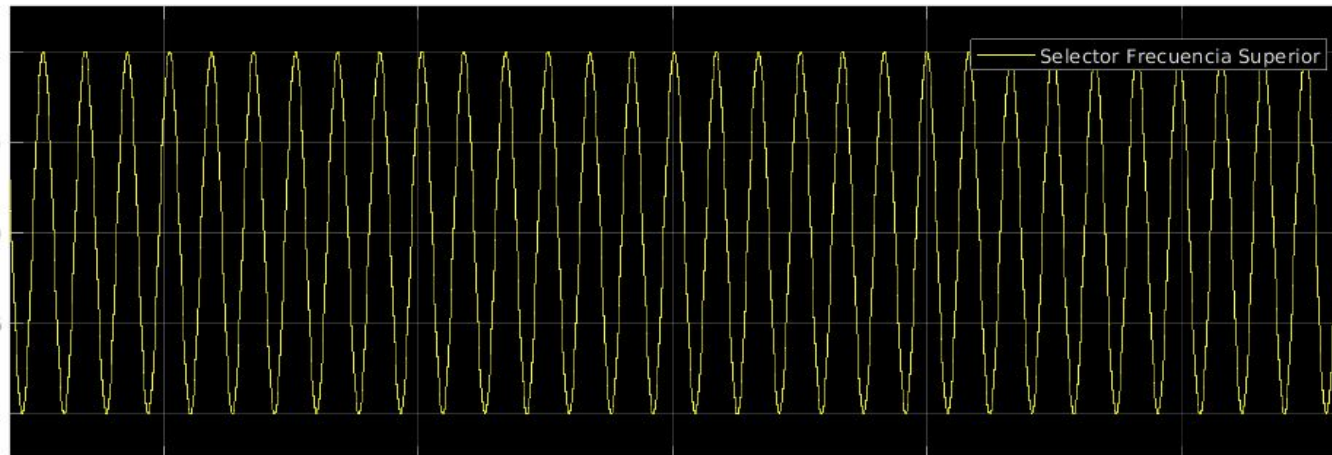
AWG-24 de menos de 200 [m] de largo

$BW = 1 \text{ MHz}$

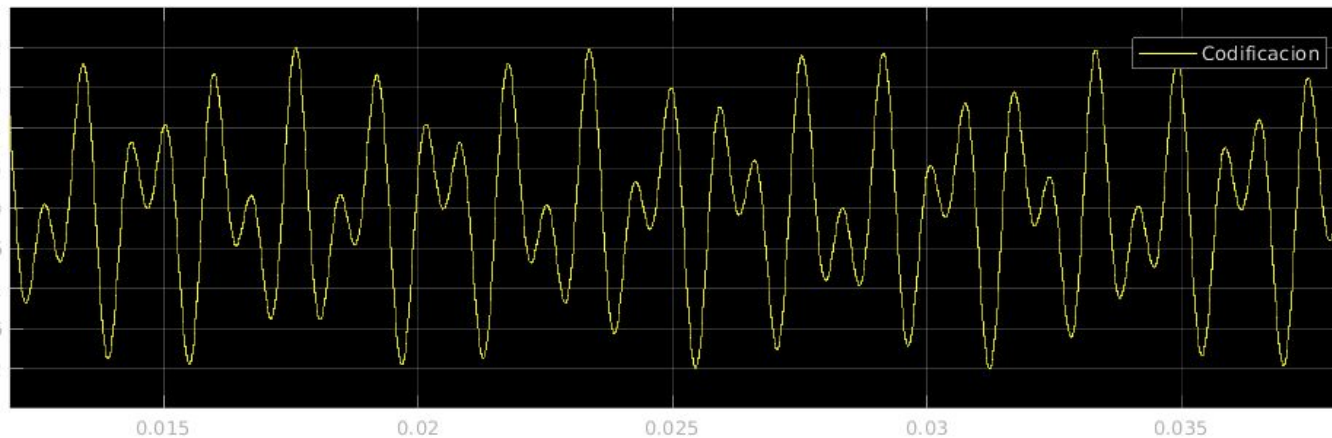
$BW' = [0 \text{ Hz}; 20 \text{ kHz}]$



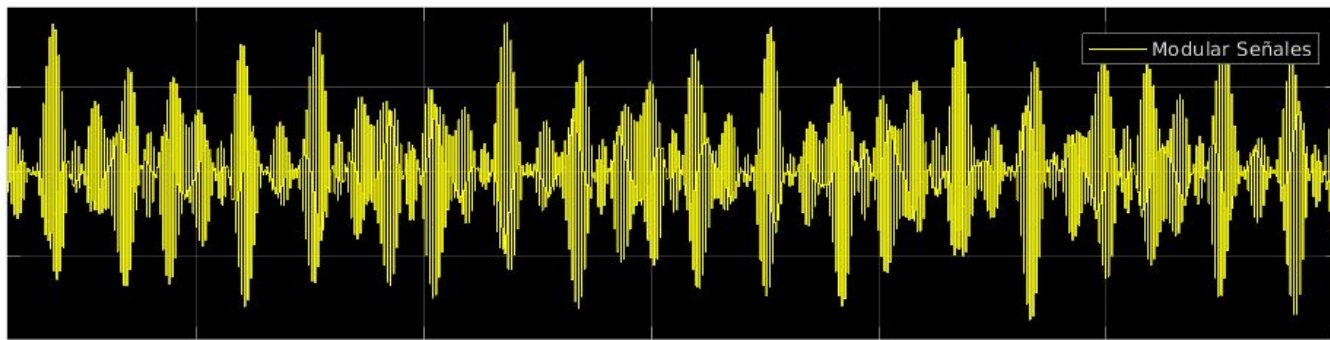
Tono inferior
697 [Hz]



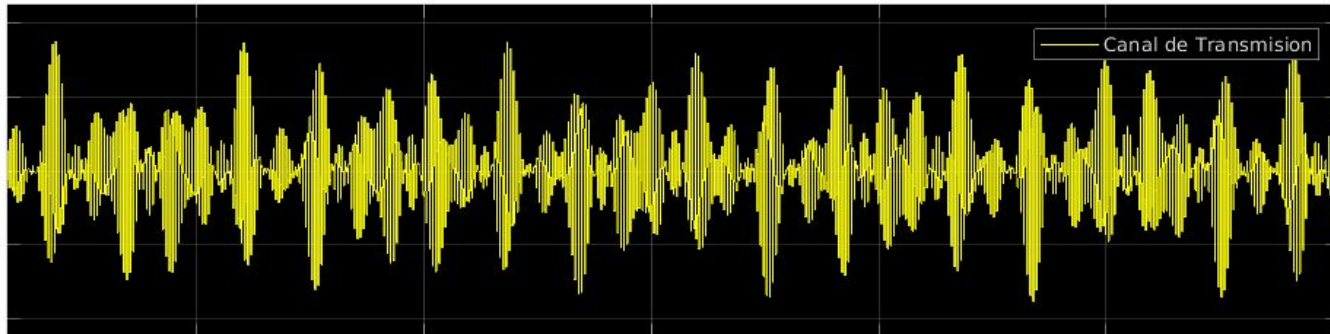
Tono superior
1209 [Hz]



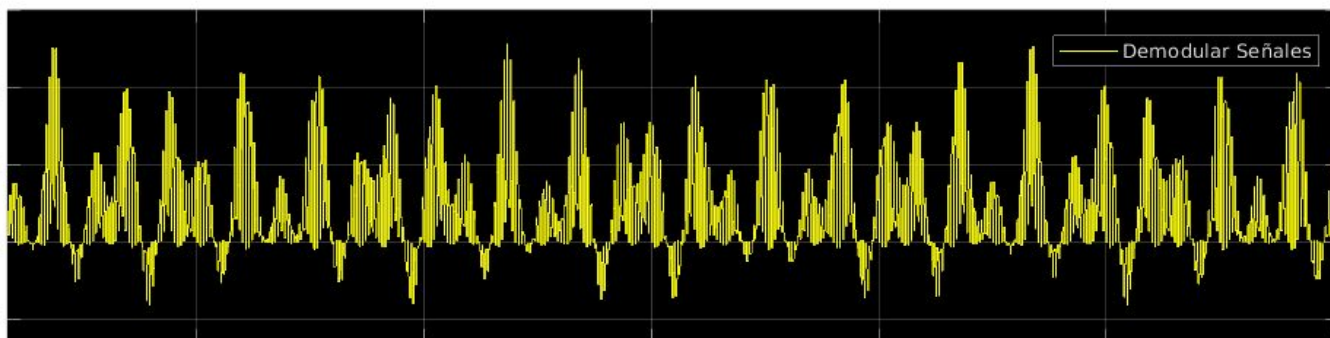
Señal
codificada



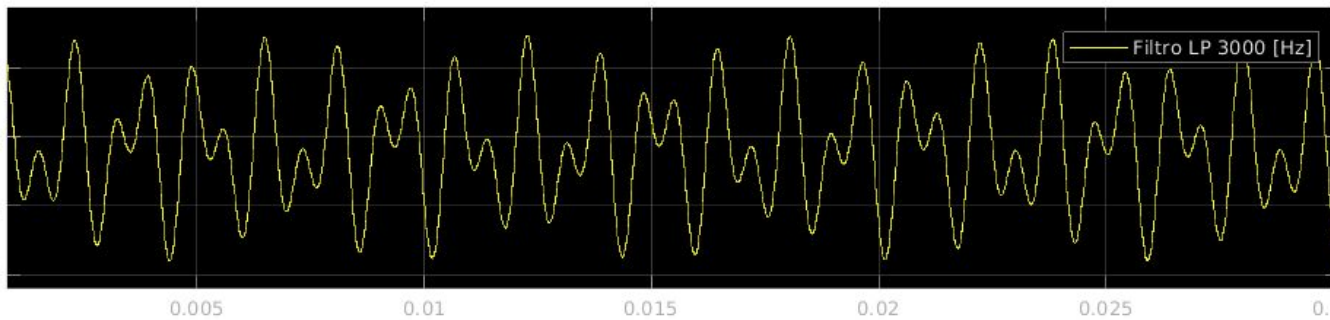
Señal
Modulada



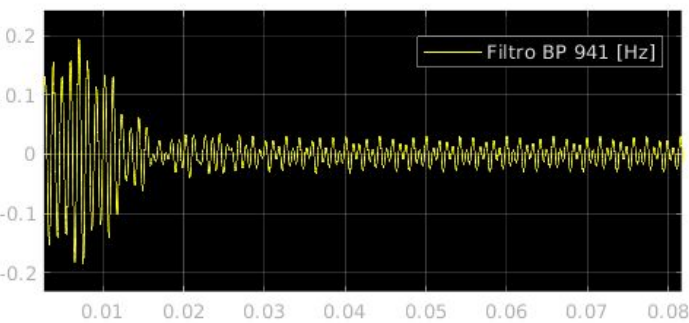
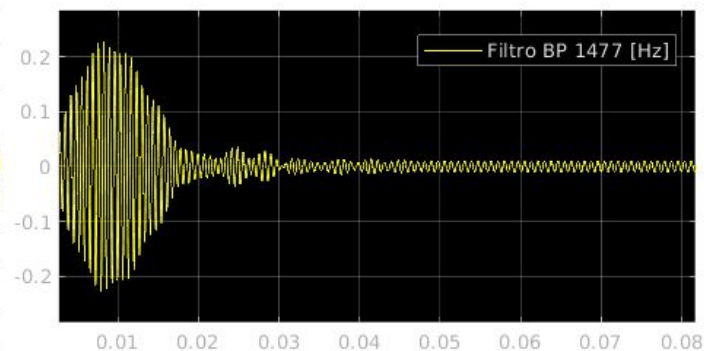
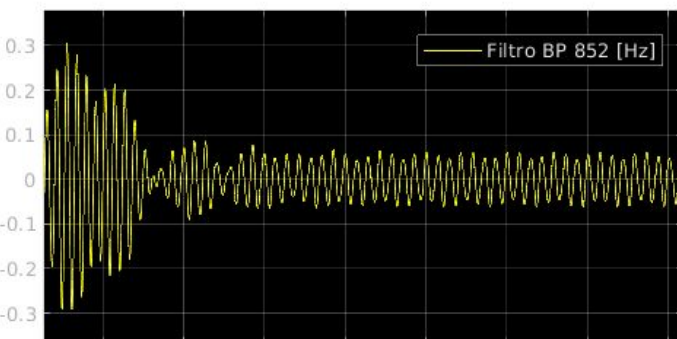
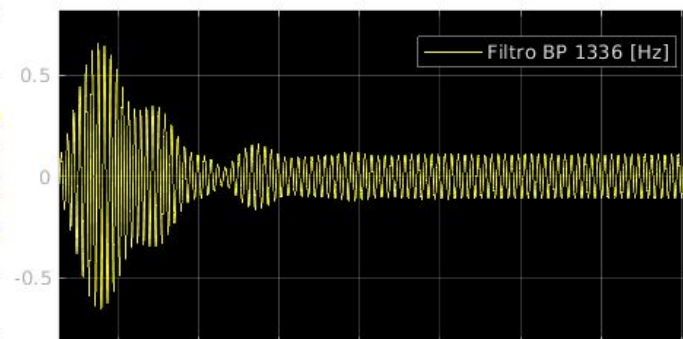
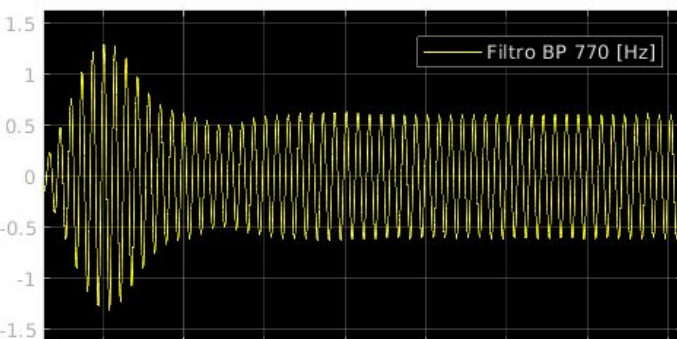
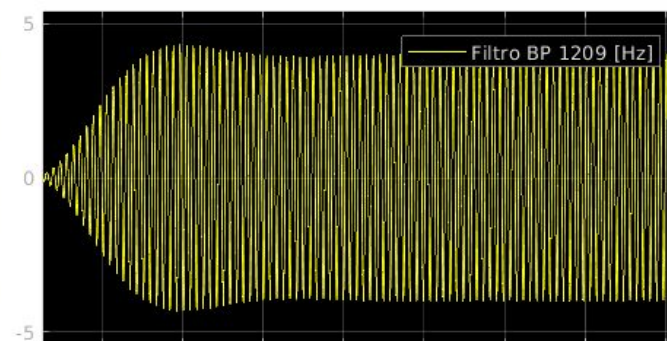
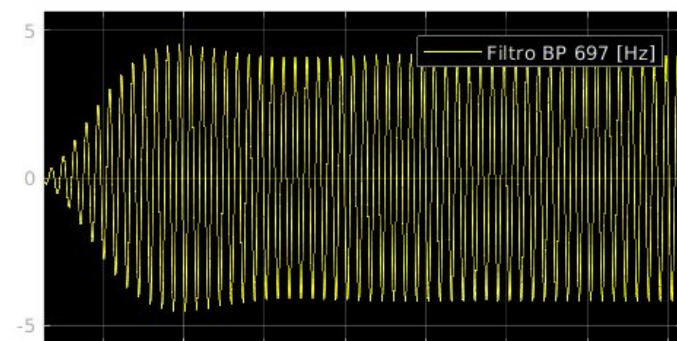
Señal a través
del canal



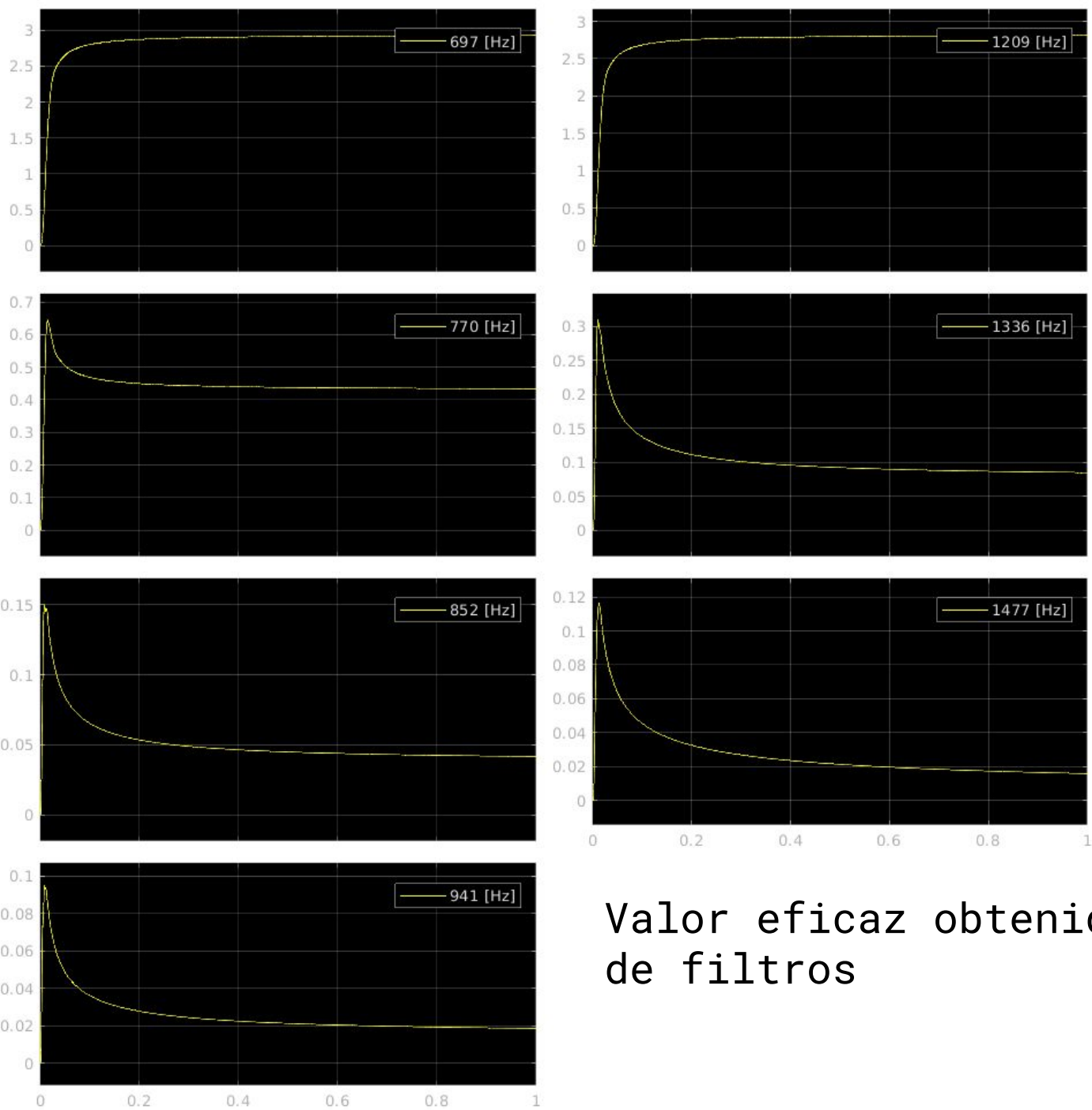
Señal
Demodulada



Señal sin
Portadora

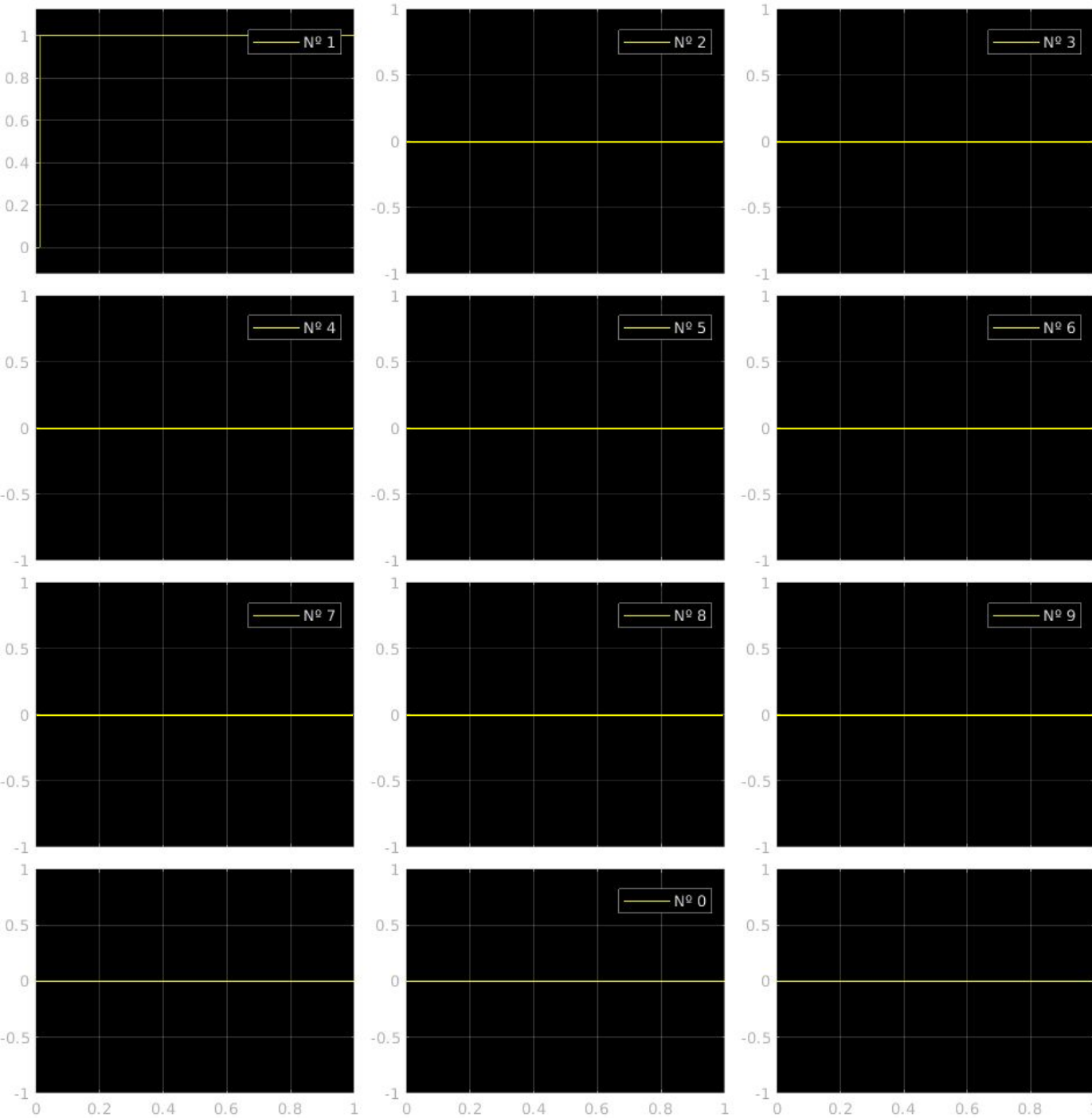


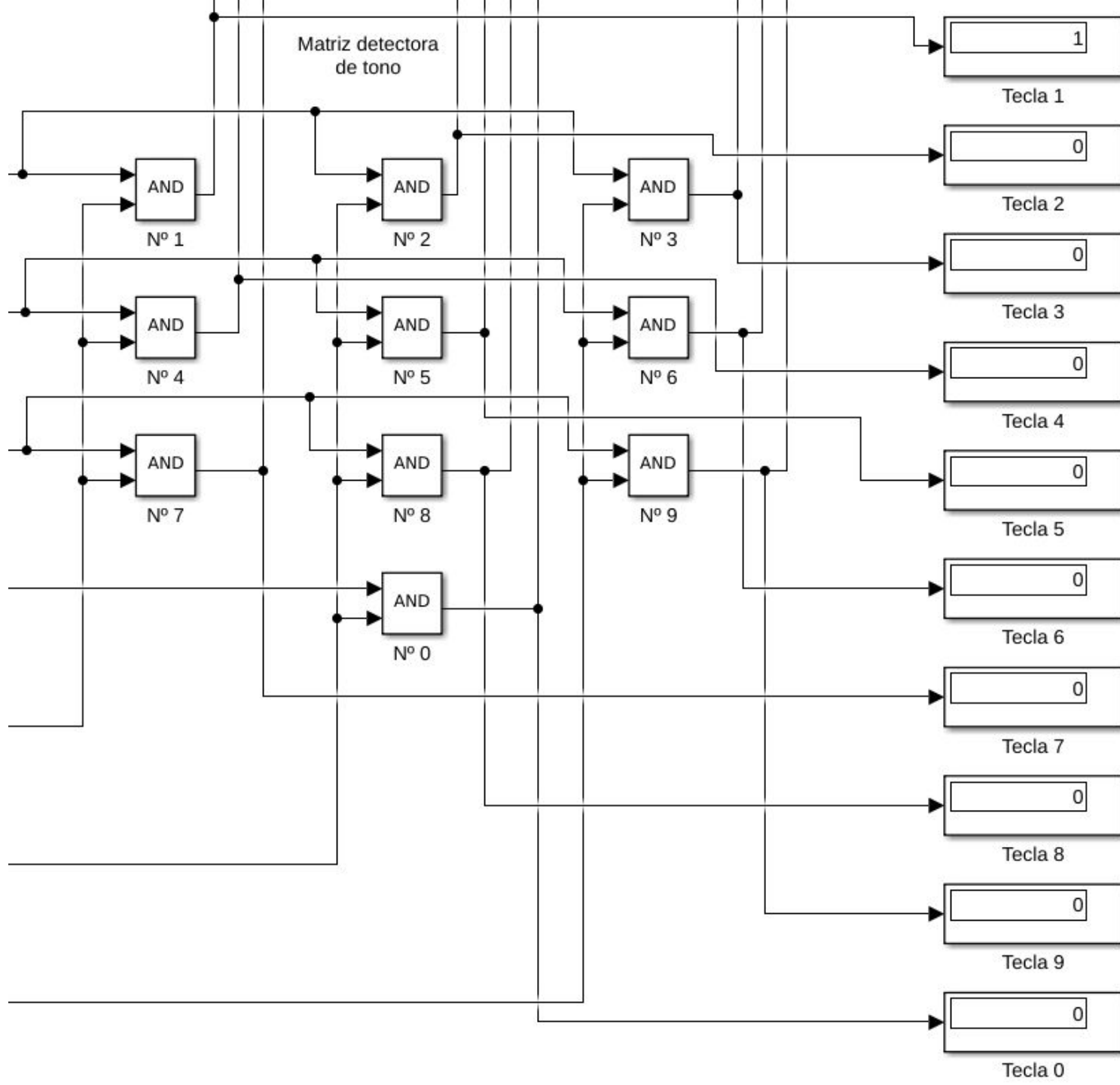
Respuesta de los filtros a la
señal recibida



Valor eficaz obtenido del banco de filtros

Respuesta de la Matriz decodificadora





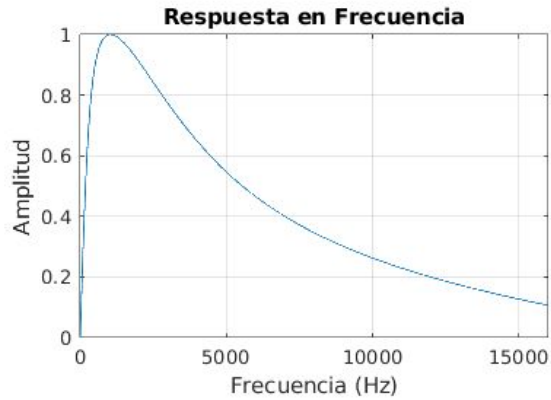
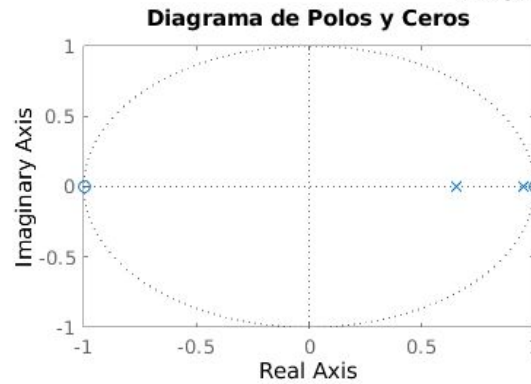
Caso 2: Canal real

Ancho de banda reducido

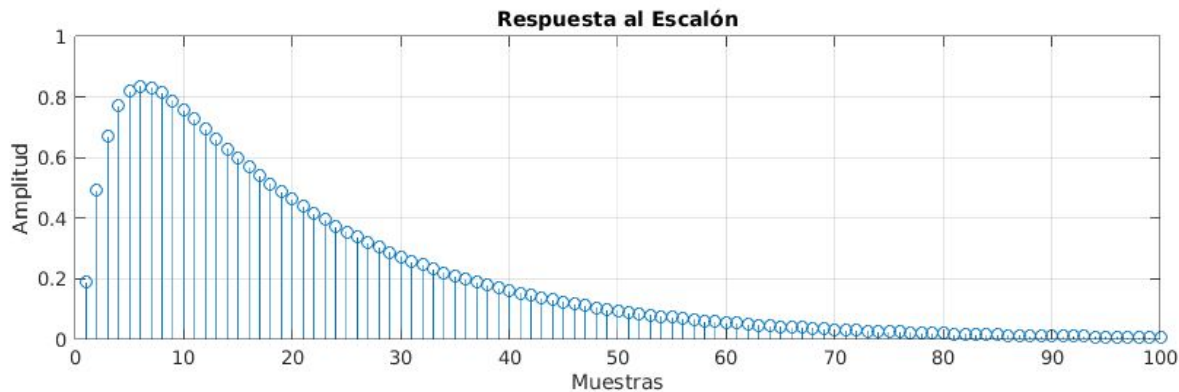
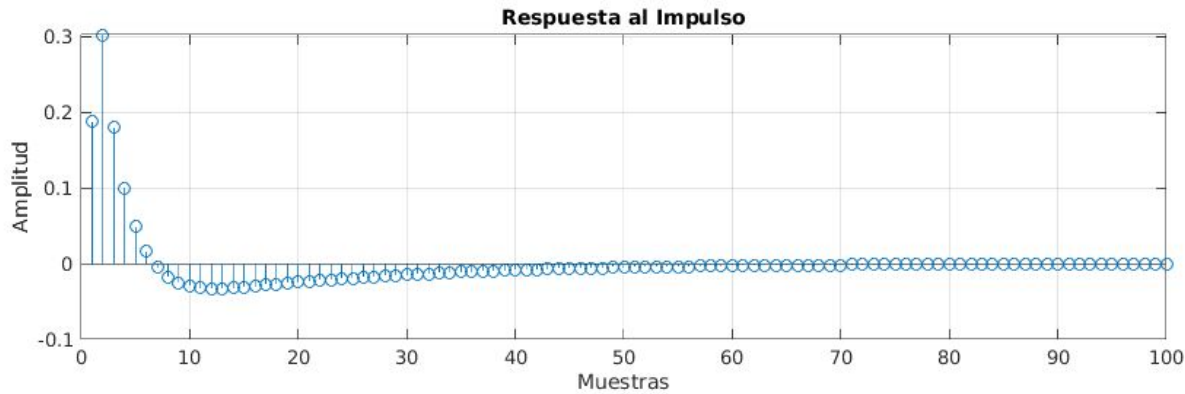
Cable telefónico

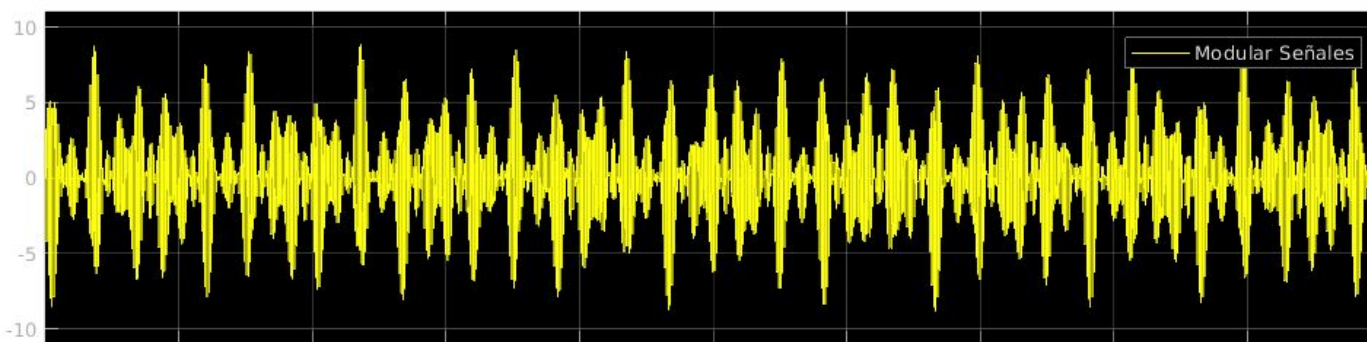
$BW = [300 \text{ Hz} ; 3500 \text{ Hz}]$

Análisis del Filtro

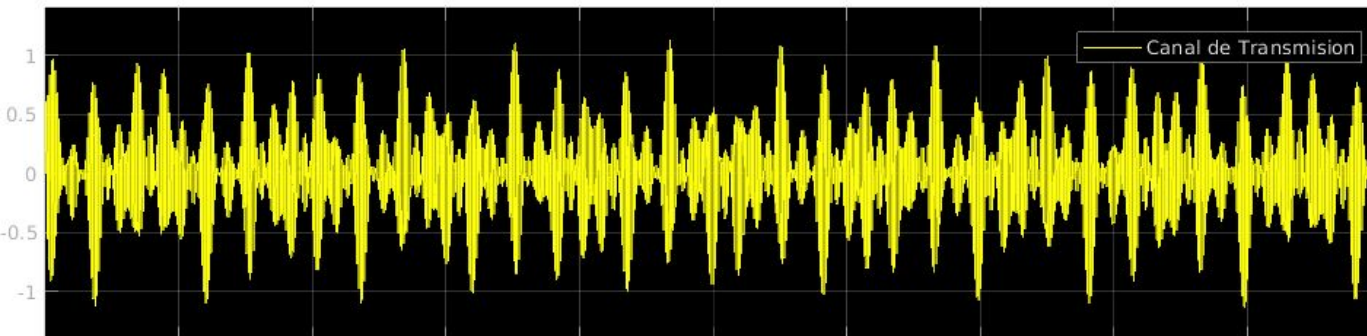


Análisis de
estabilidad del
filtro BP
representativo
del canal de
transmisión

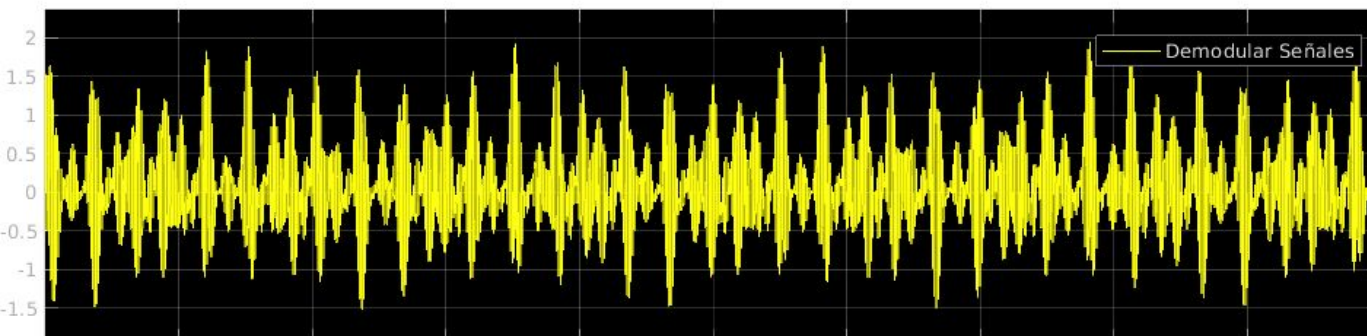




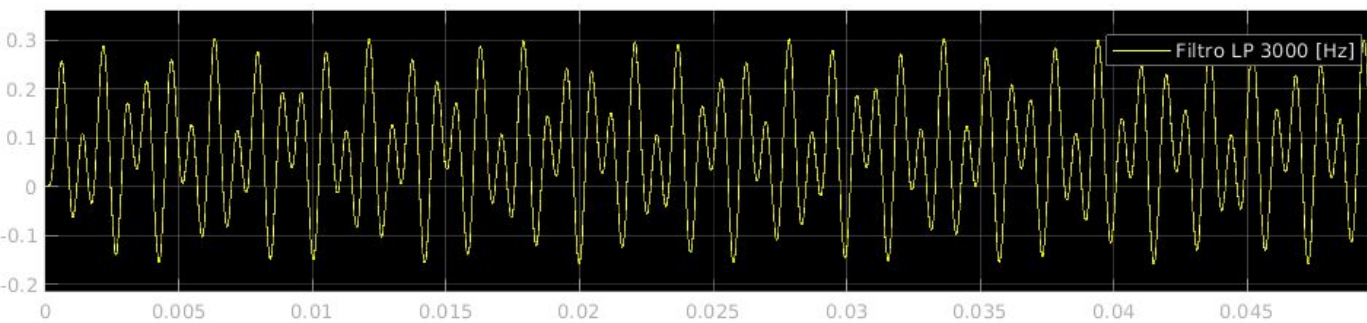
Señal
Modulada



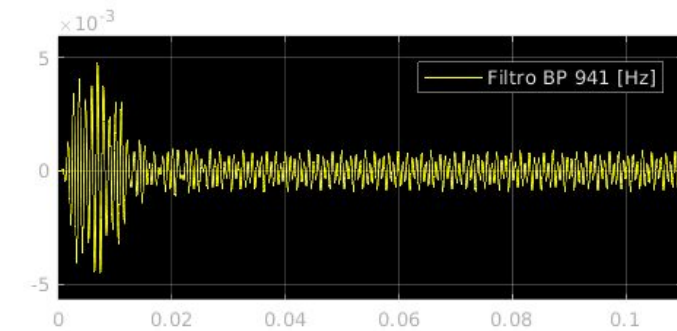
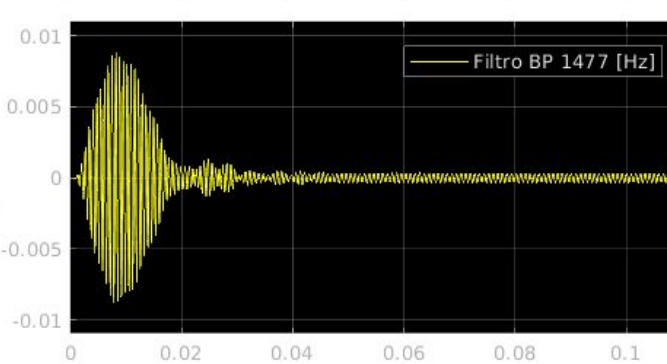
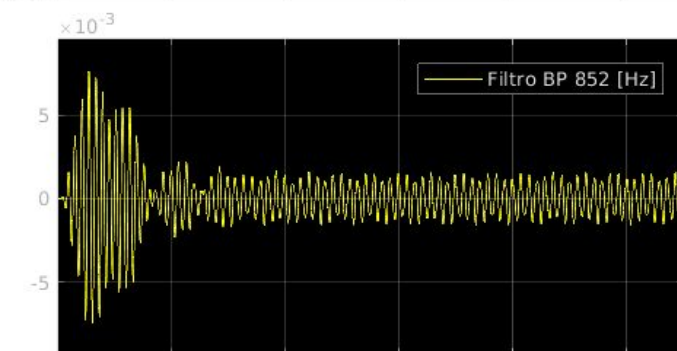
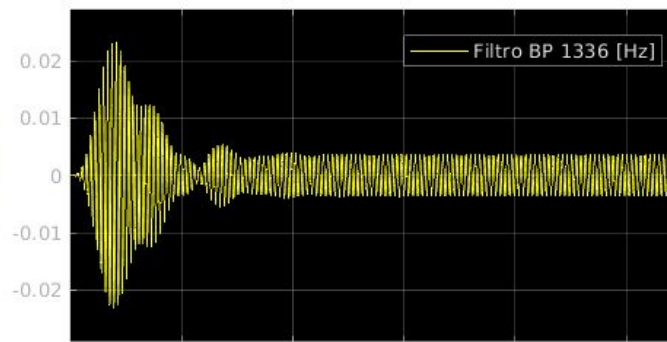
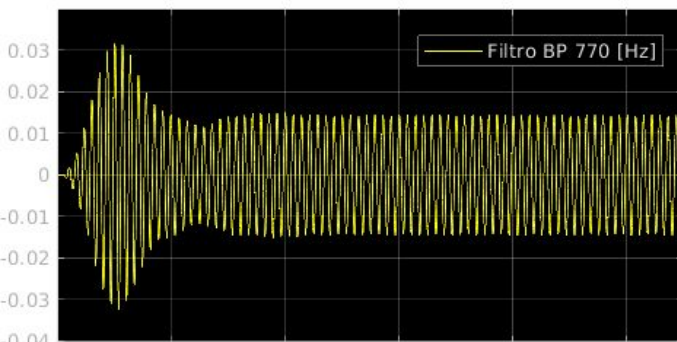
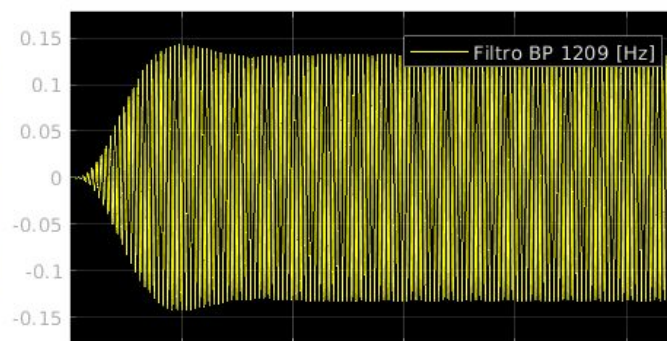
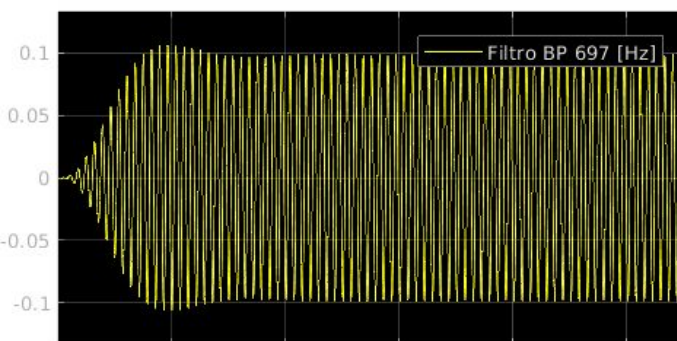
Señal a través
del canal



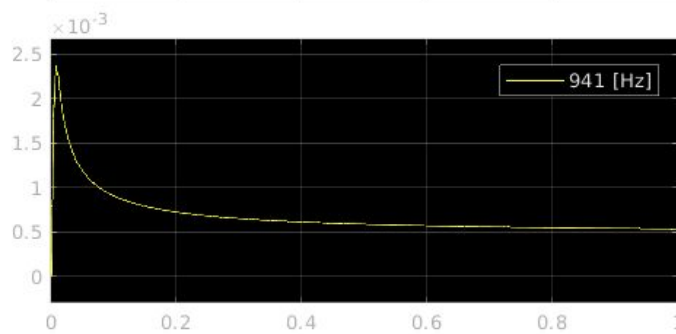
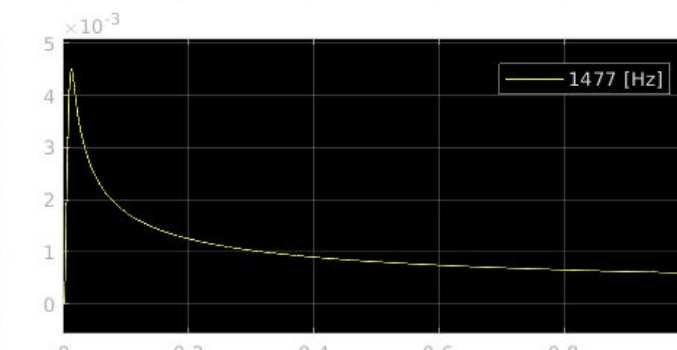
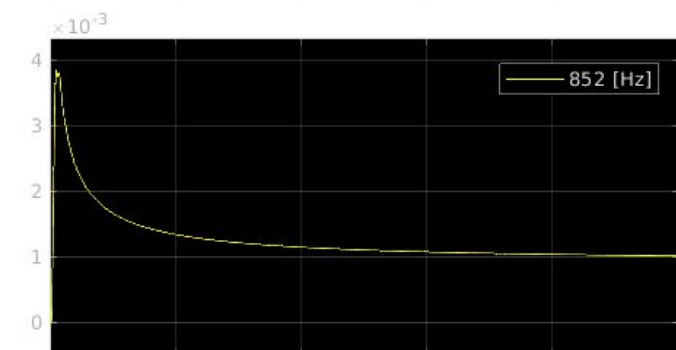
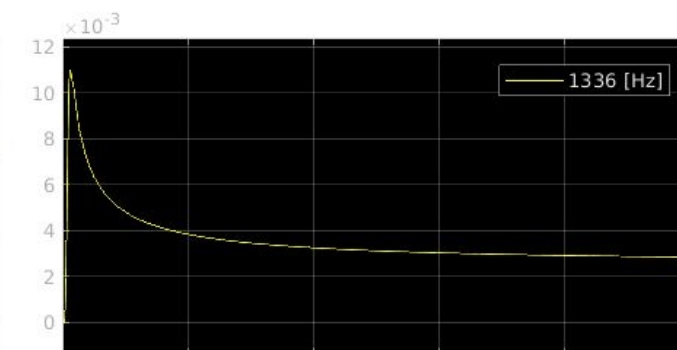
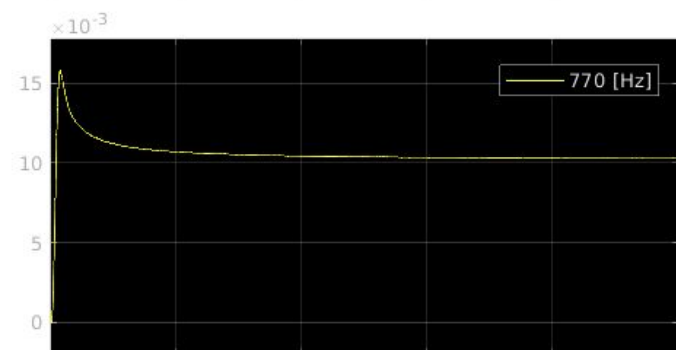
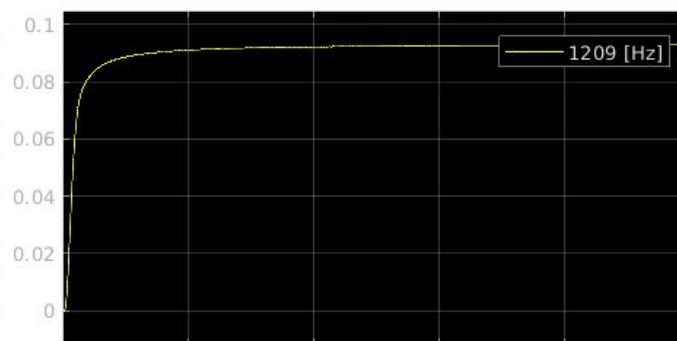
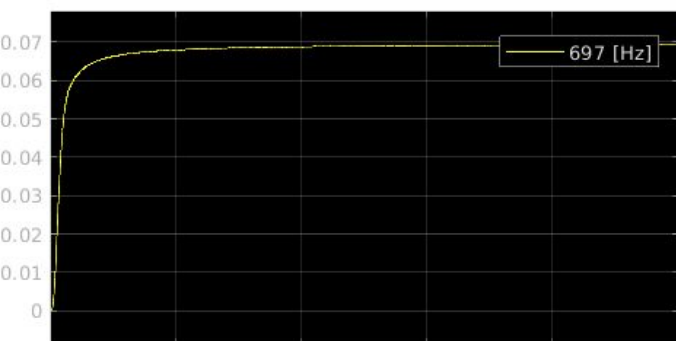
Señal
Demodulada



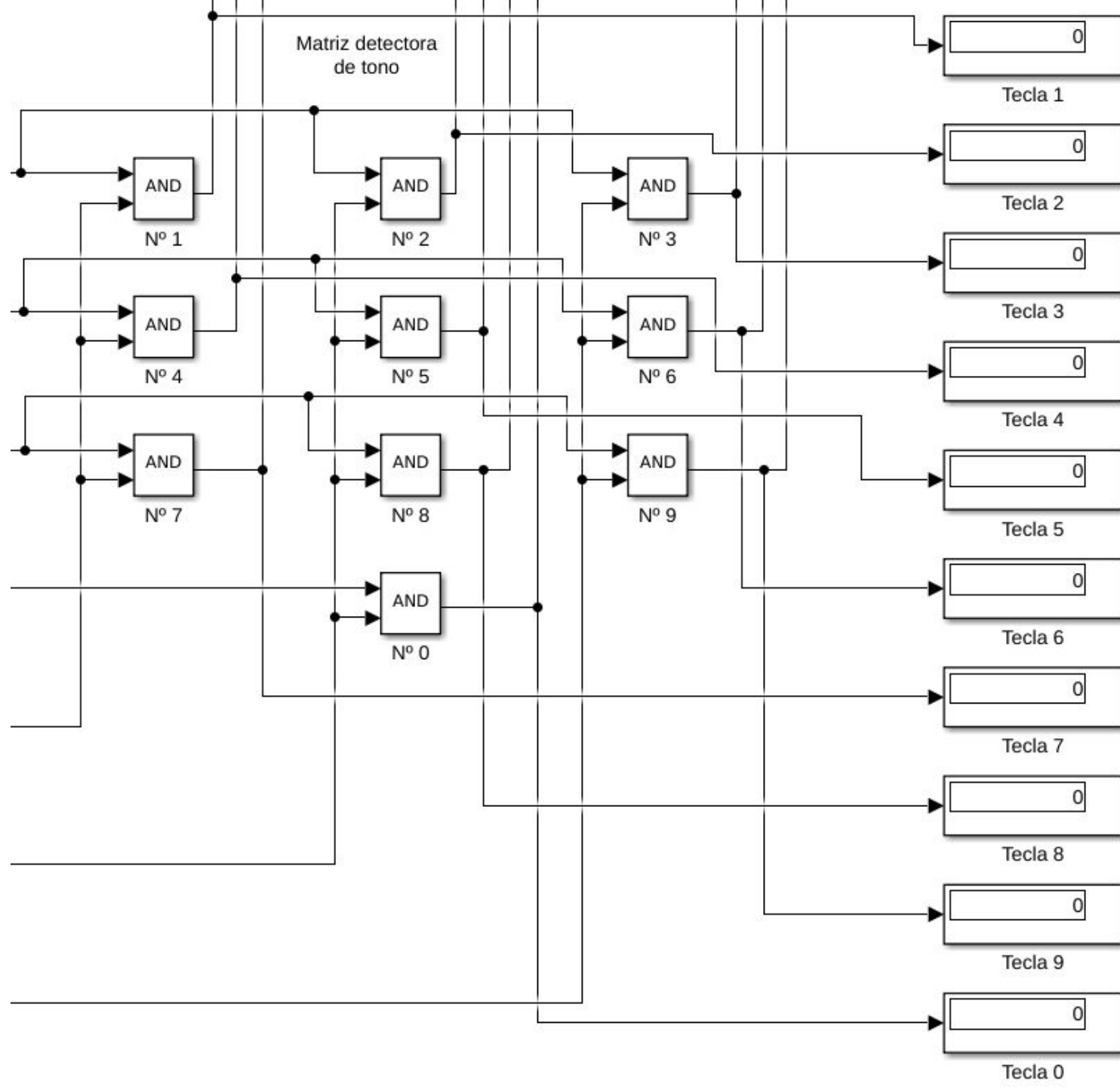
Señal sin
Portadora



Respuesta de los filtros a la
señal recibida



Valor eficaz obtenido del banco de filtros



Caso 3:

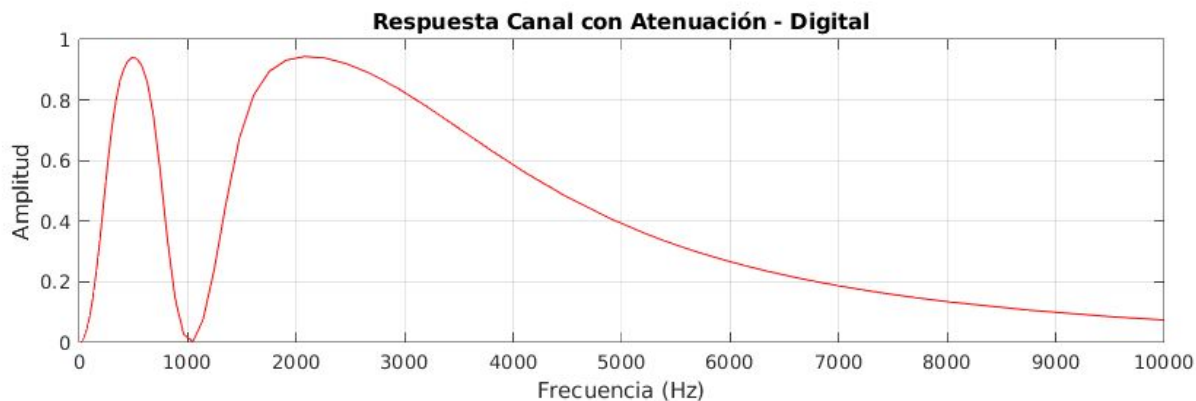
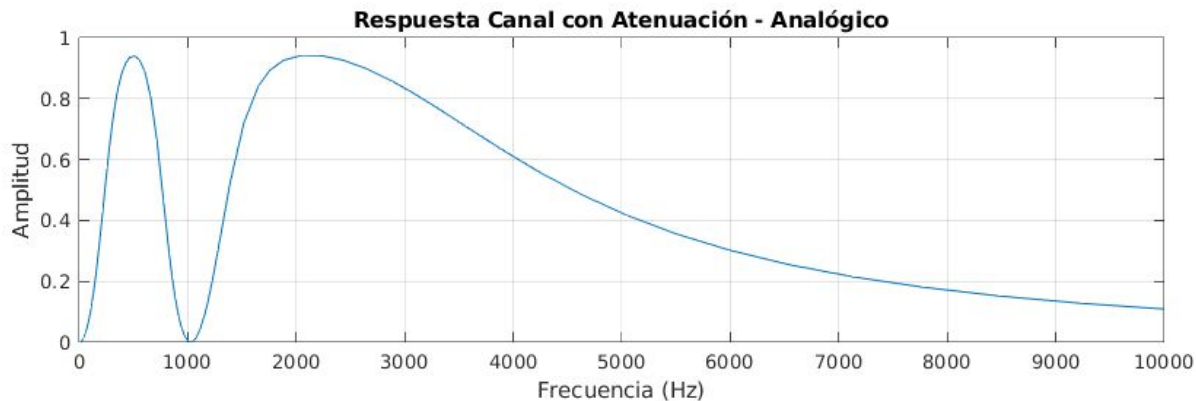
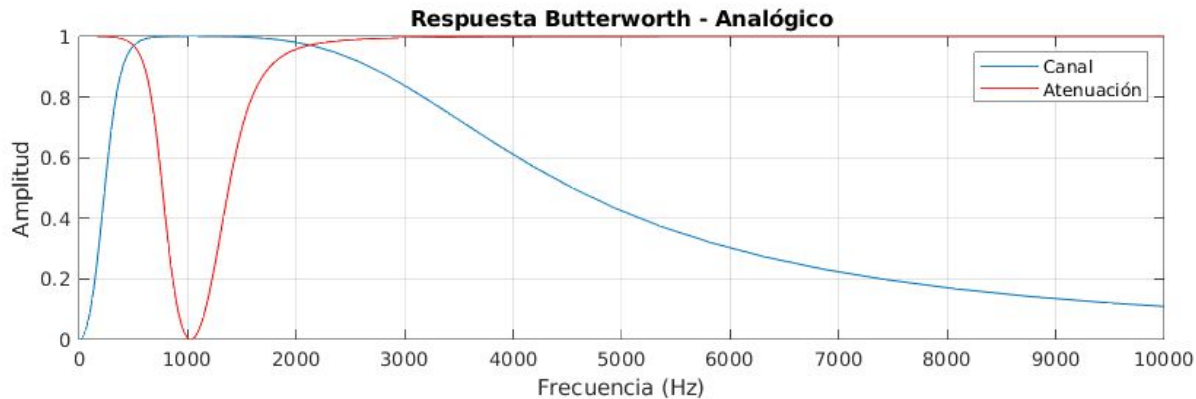
Canal defectuoso

Ancho de banda con atenuaciones

BW = [300 Hz ; 3500 Hz]

Presenta zonas con atenuaciones

Análisis del Canal con Atenuación en Frecuencia

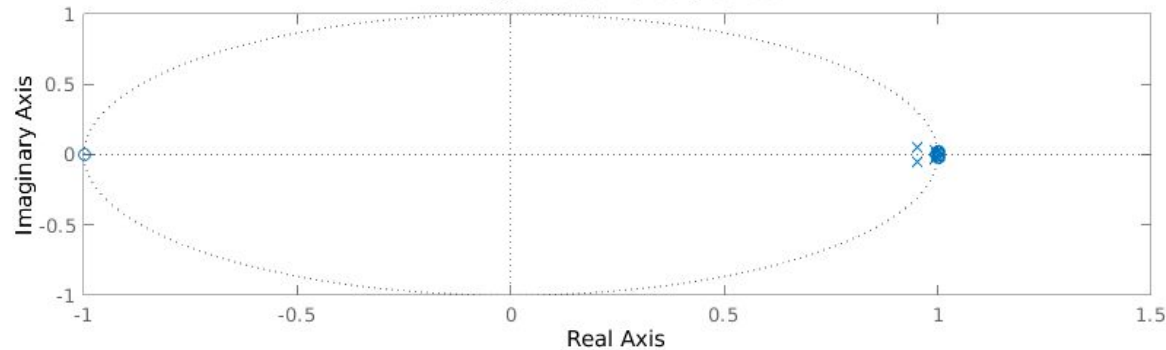


Respuesta en frecuencia del filtro BP representativo del canal de transmisión

Frecuencias previamente mapeadas con Pre-Warping

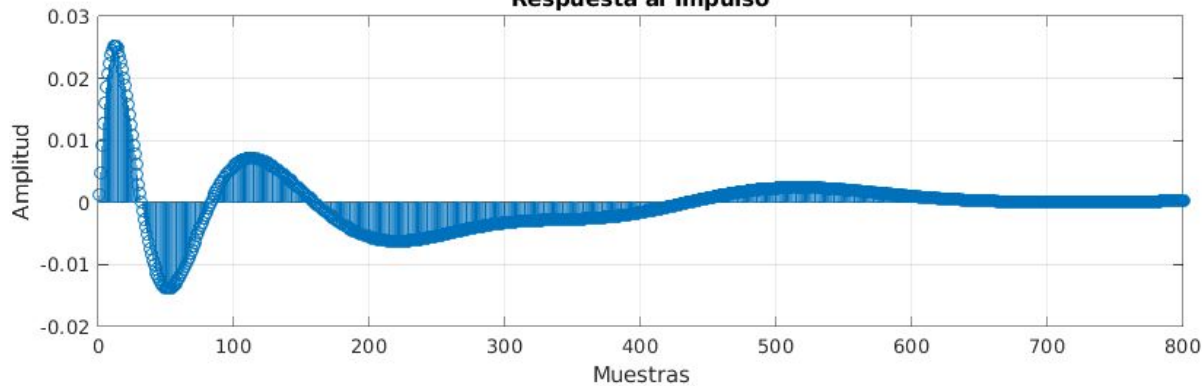
Se aplica la Transformación Bilinear

Estabilidad del Canal con Fallas
Diagrama de Polos y Ceros

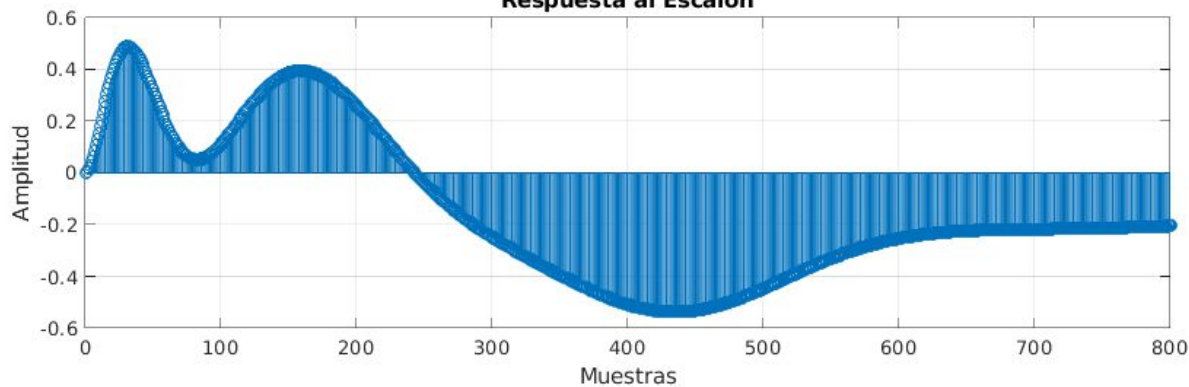


Análisis de estabilidad del filtro BP representativo del canal de transmisión

Respuesta al Impulso

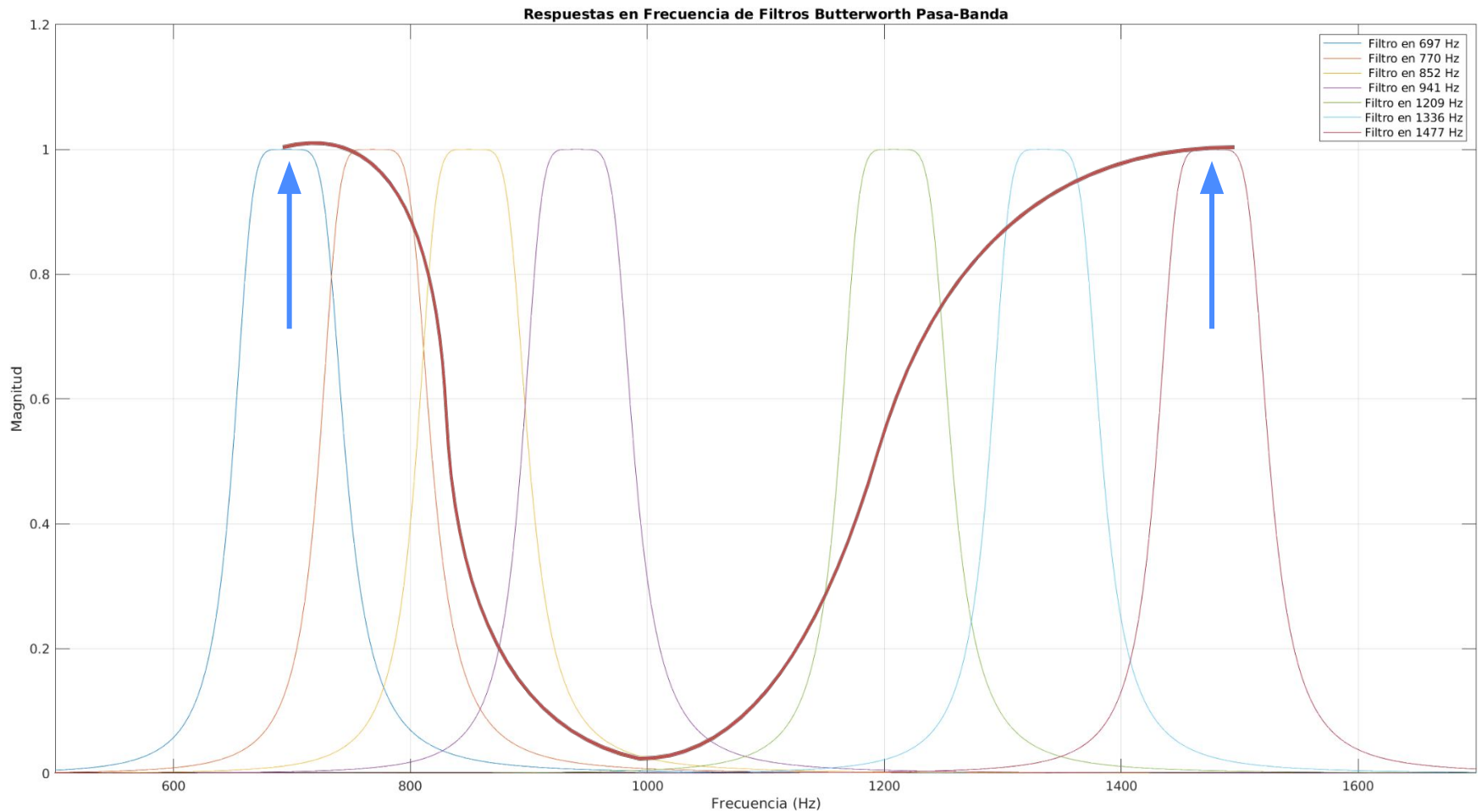


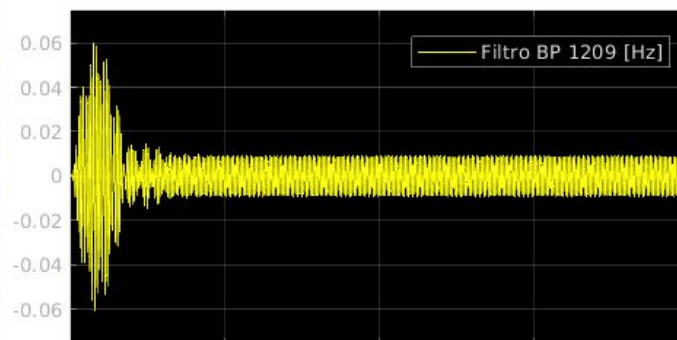
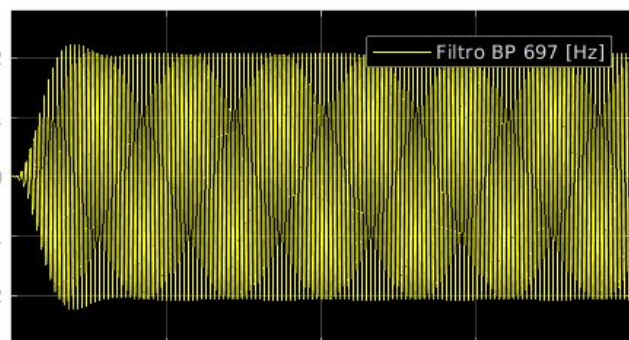
Respuesta al Escalón



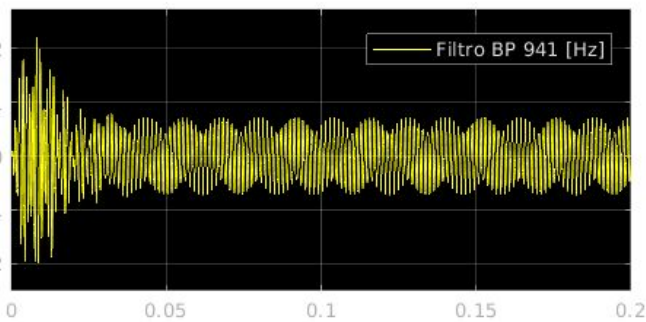
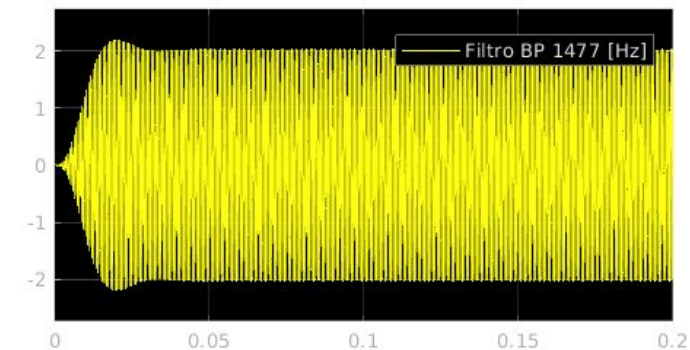
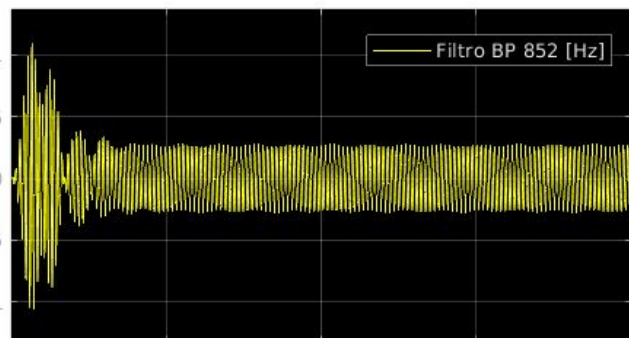
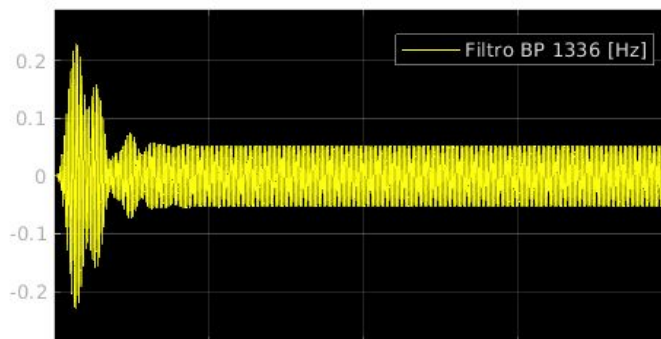
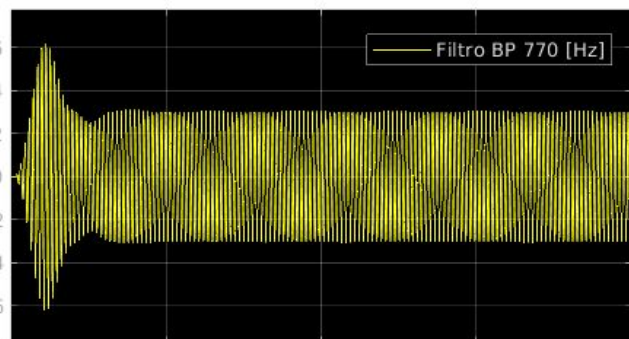
Análisis del espectro: Tecla 3

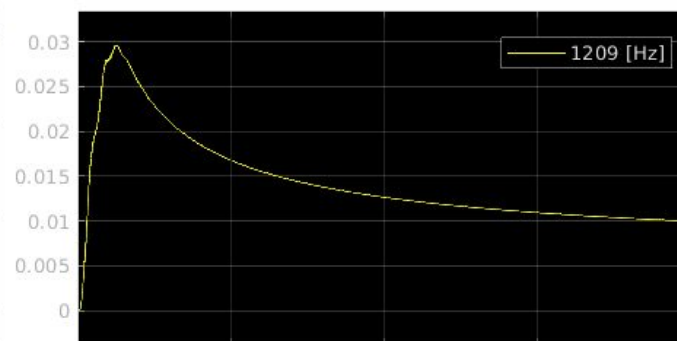
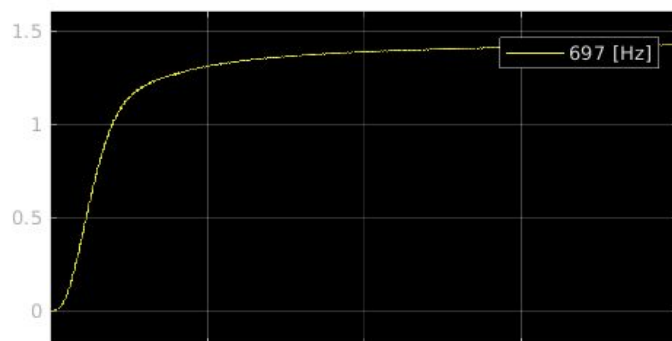
Tonos ubicados en los extremos de la banda de rechazo



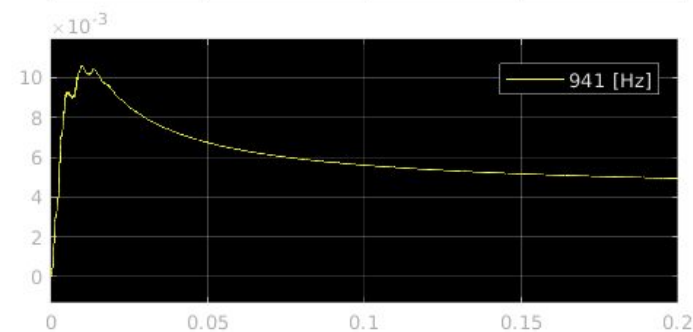
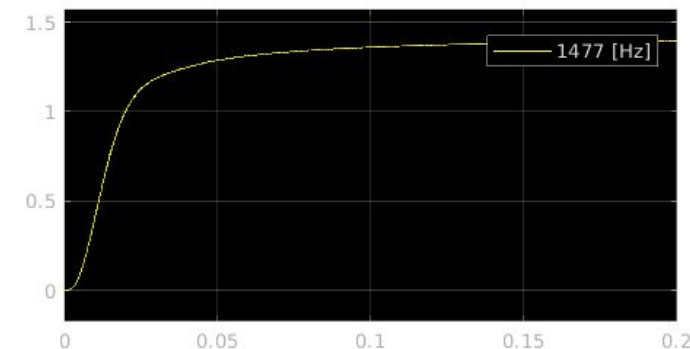
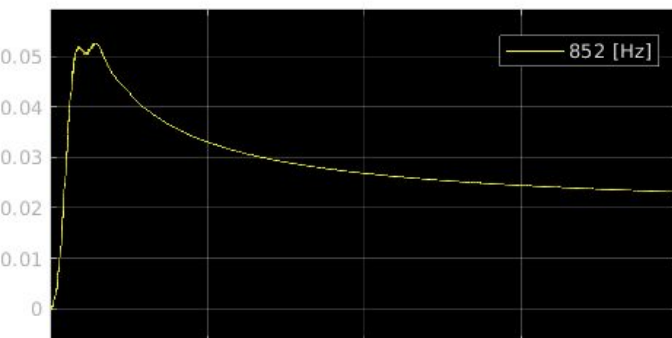
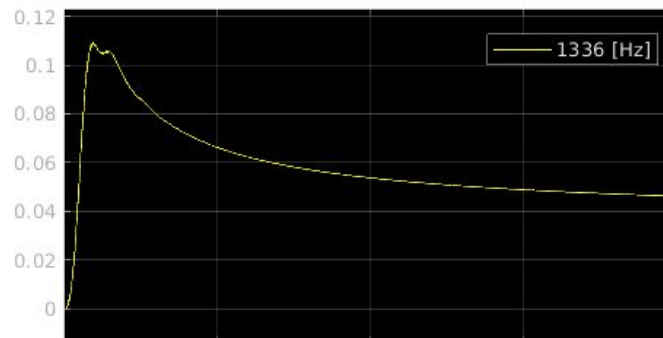
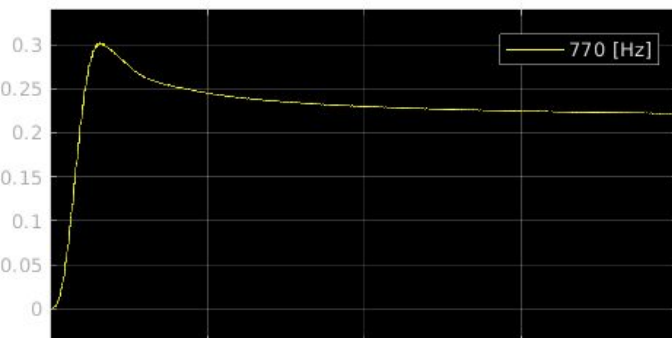


N° 3:
f_inf: 697[Hz]
f_sup: 1477[Hz]





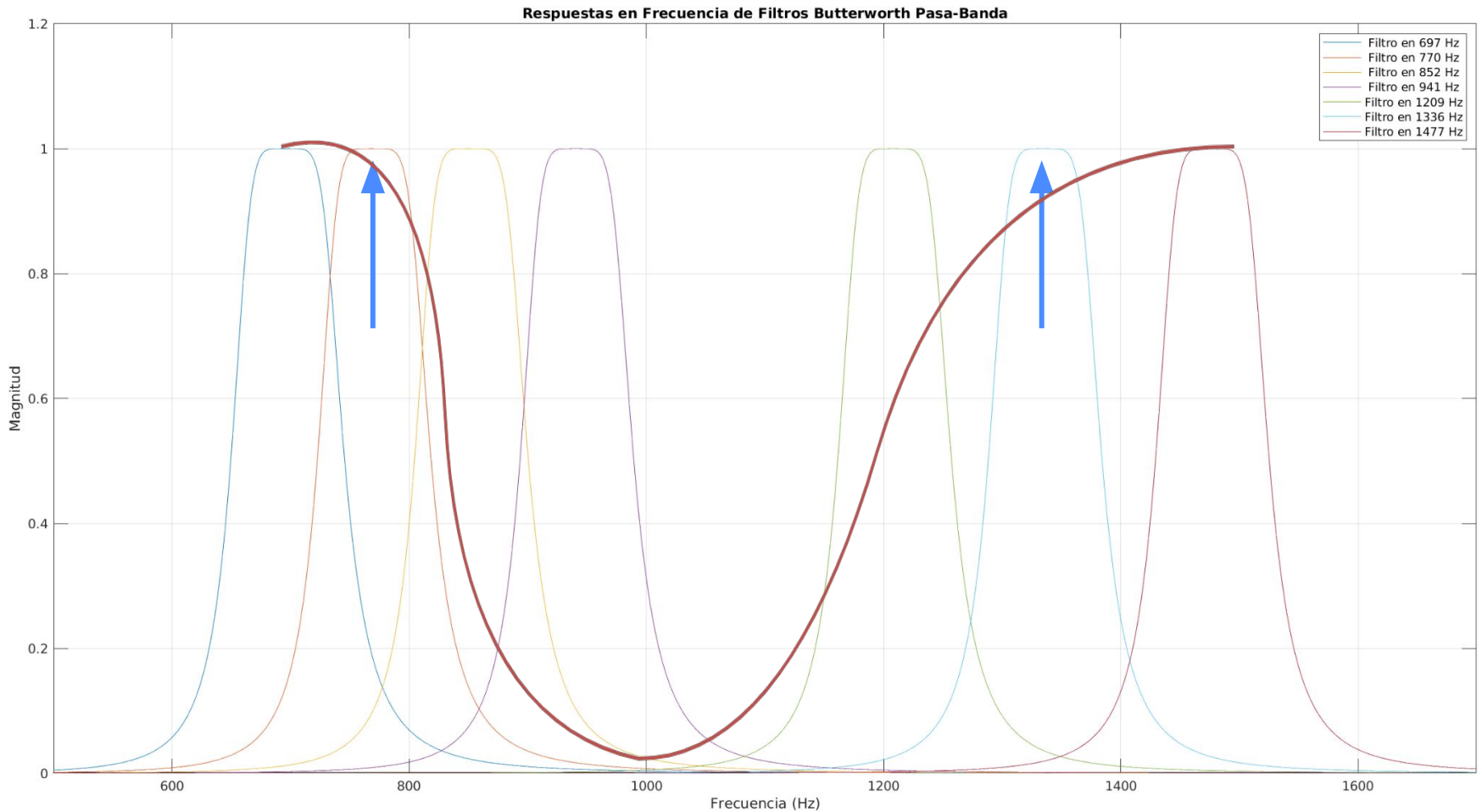
Nº 3:
f_inf: 697[Hz]
f_sup: 1477[Hz]

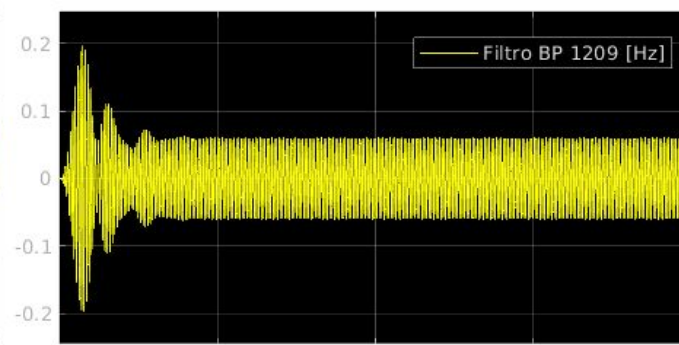
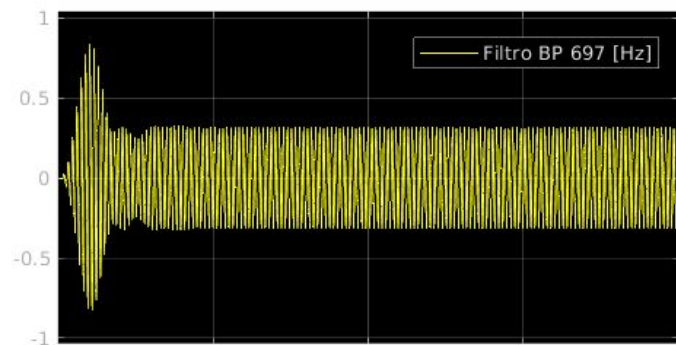


Ambos RMS son mayores a la unidad. Se reconoce la activación de la tecla 3.

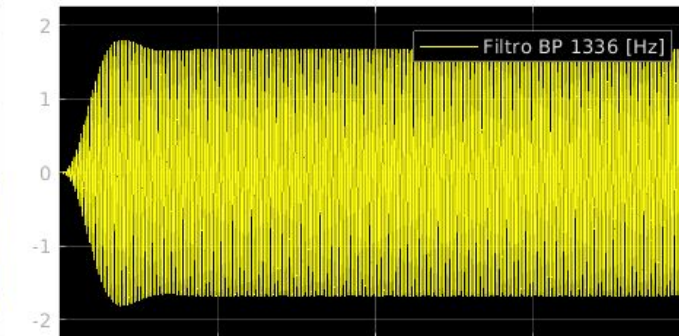
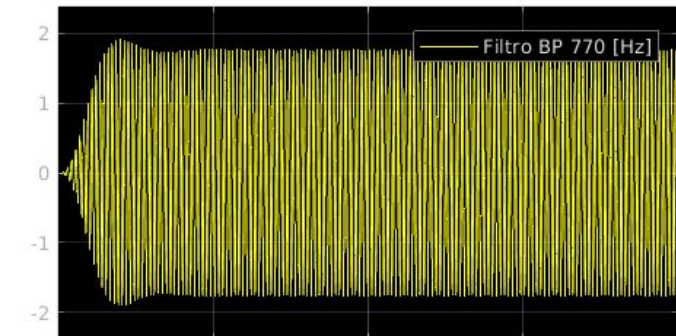
Análisis del espectro: Tecla 5

Tonos alejados de los extremos de la banda de rechazo

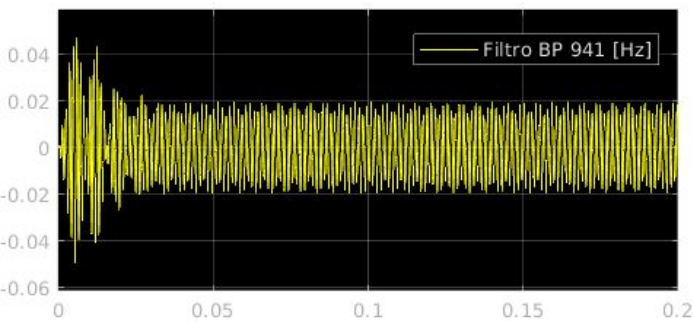
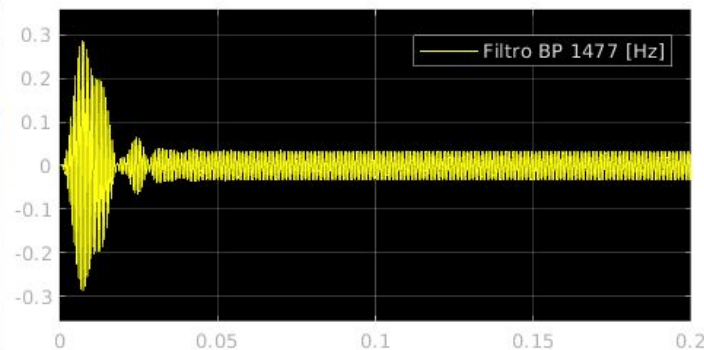
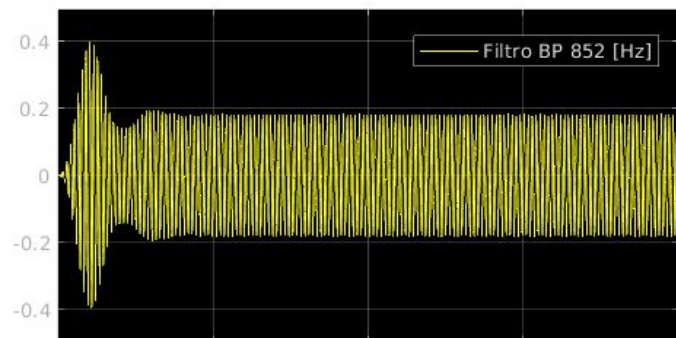




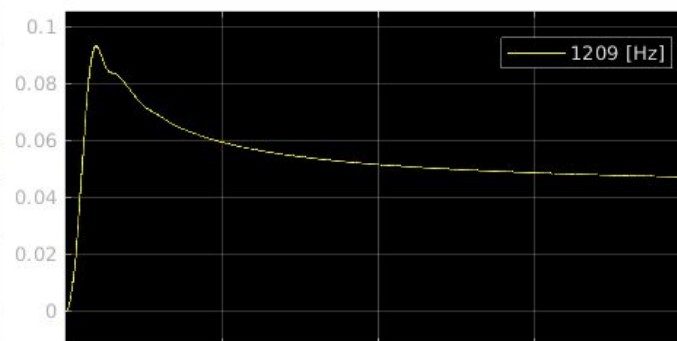
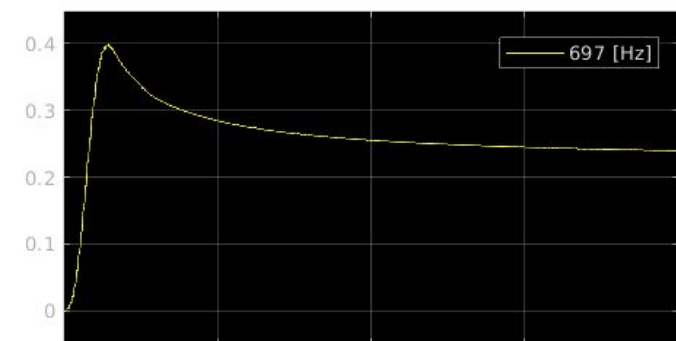
Nº 5:
f_inf: 770[Hz]
f_sup: 1336[Hz]



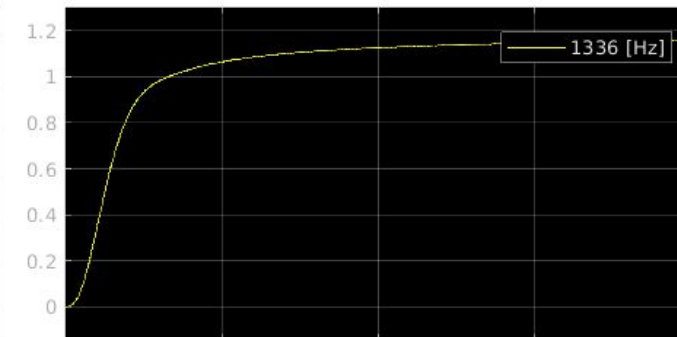
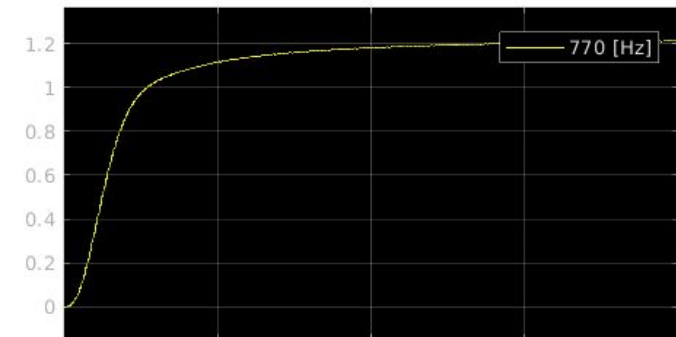
Se puede notar
una atenuación
significativa



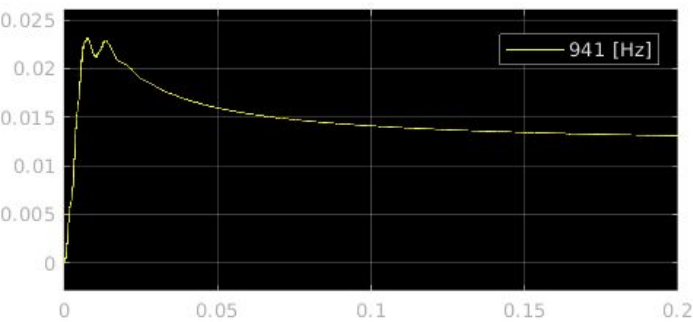
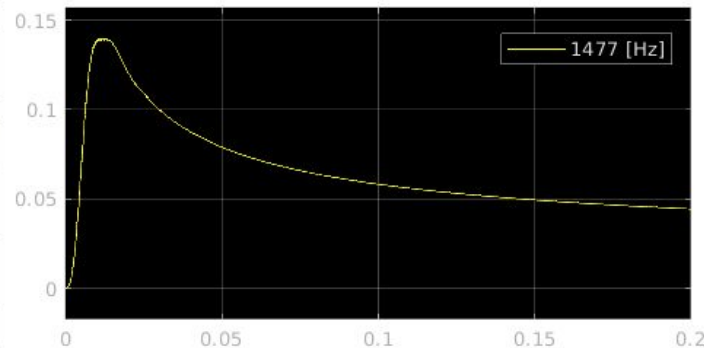
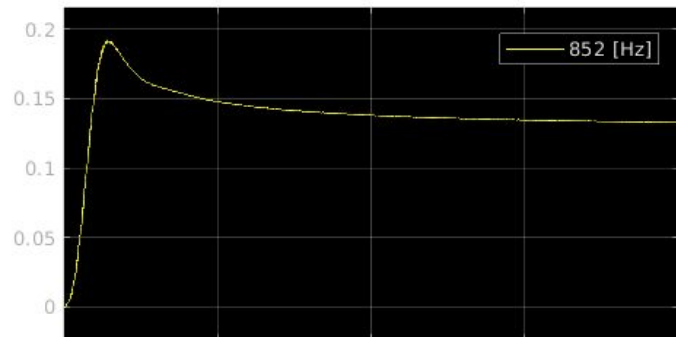
Offset=0



Nº 5:
f_inf: 770[Hz]
f_sup: 1336[Hz]



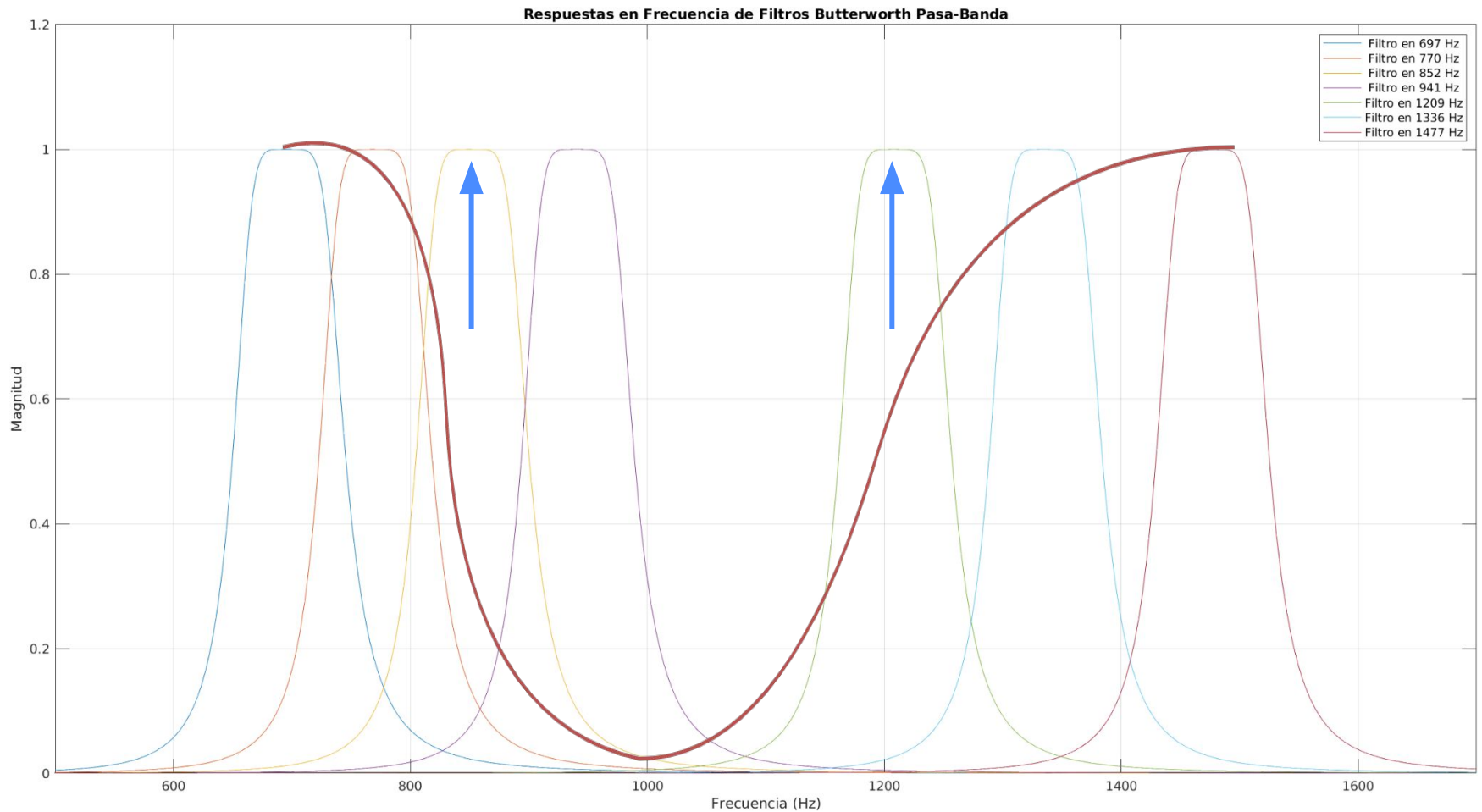
Se puede notar
una atenuación
significativa

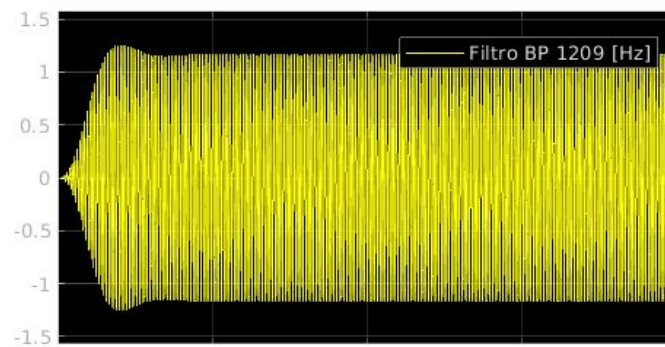
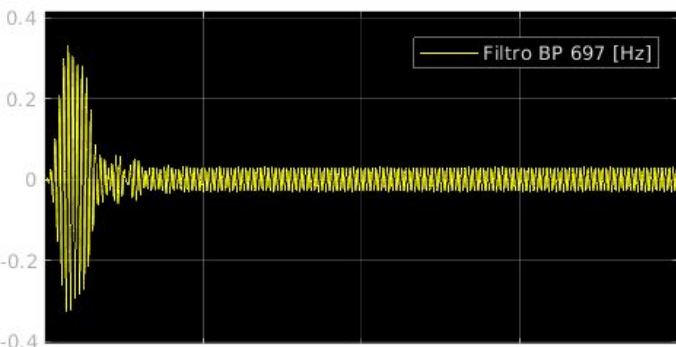


Ambos RMS son mayores a la
unidad. Se reconoce la
activación de la tecla 5.

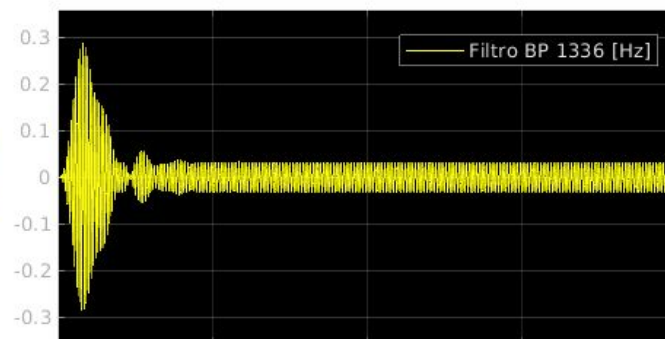
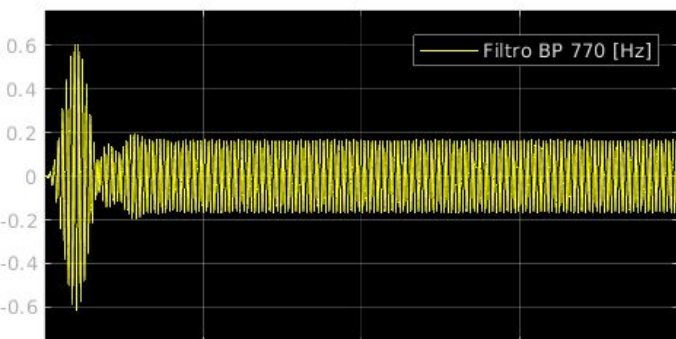
Análisis del espectro: Tecla 7

Tonos cercanos al centro de la banda de rechazo

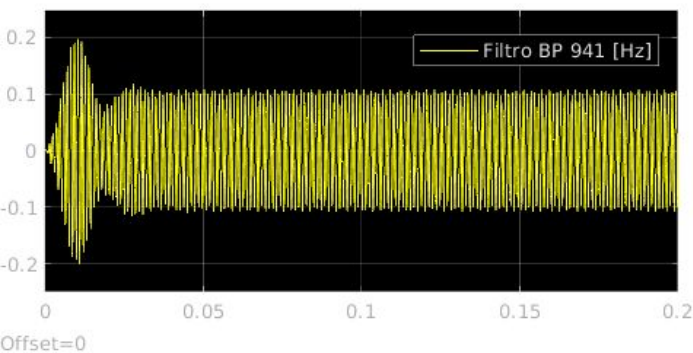
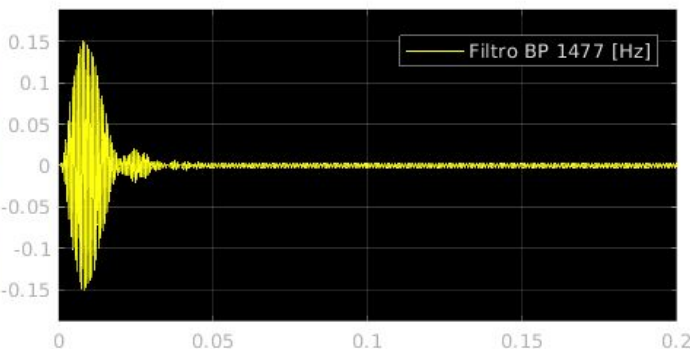
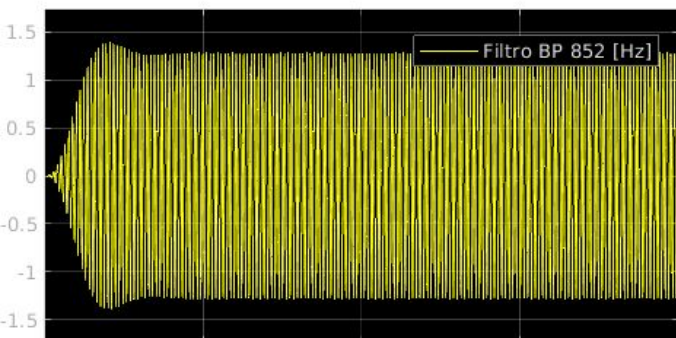


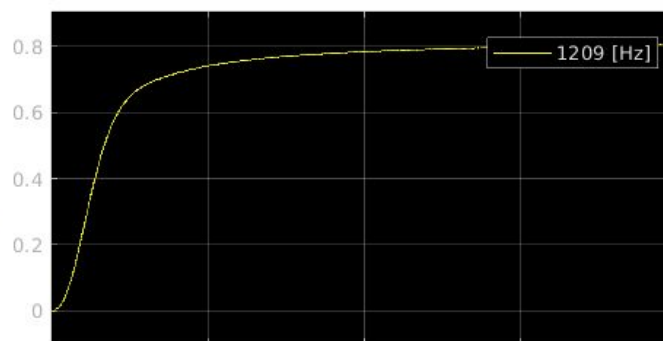
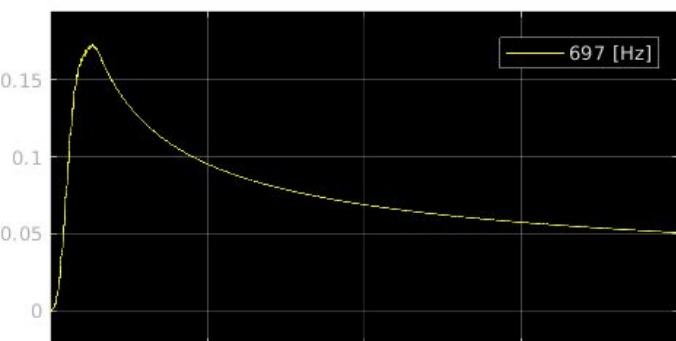


Nº 7:
f_inf: 852[Hz]
f_sup: 1209[Hz]

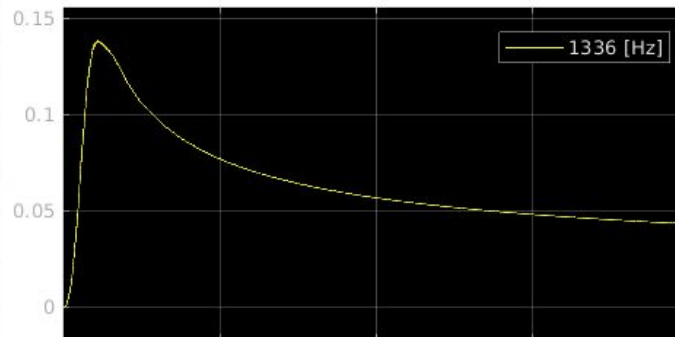
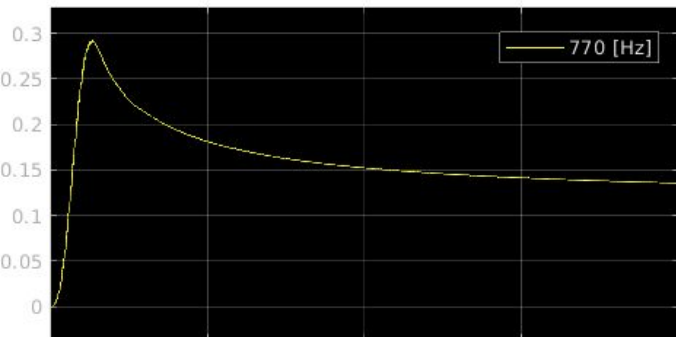


La atenuación
es mucho mayor

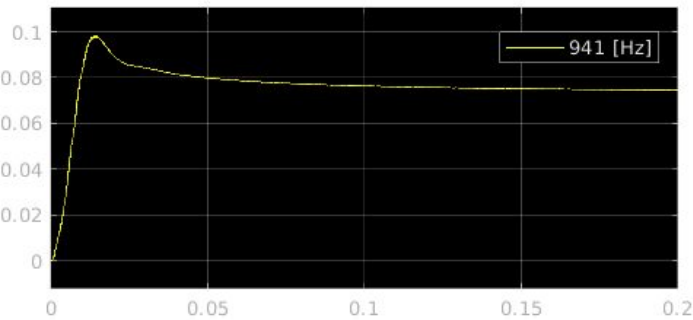
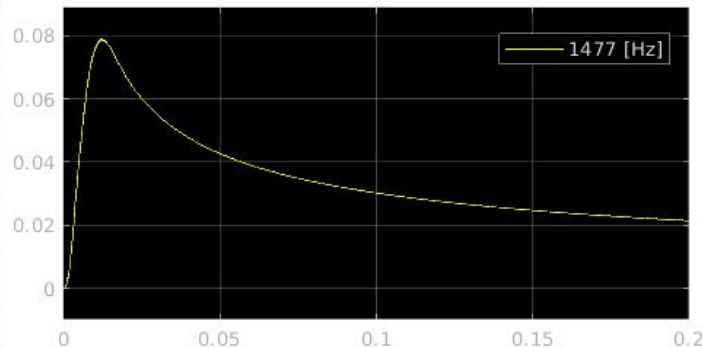
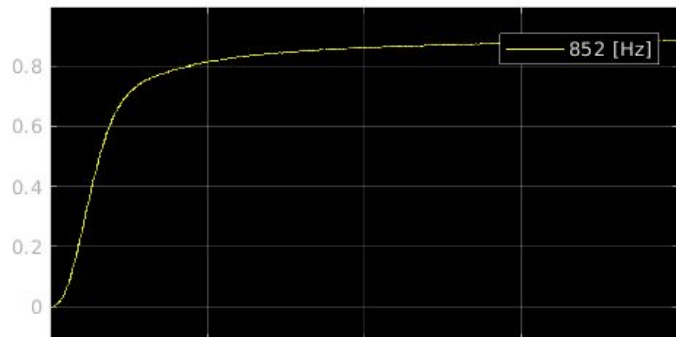




Nº 7:
f_inf: 852[Hz]
f_sup: 1209[Hz]



La atenuación
es mucho mayor



Ambos RMS son menores a la
unidad. No se reconoce la
activación de la tecla 7.



05

Conclusiones

Análisis de los resultados, aplicaciones del sistema y
conceptos adquiridos

Acerca de...

- Resultados
 - Implementar una solución real
 - Adaptable a distintos medios de transmisión
- Aplicaciones
 - Sistemas de alarma y seguridad, Automatización industrial, Domótica
- Problemáticas
 - Ajustes según la aplicación del sistema
 - Simulink limita el orden de los filtros
- Conceptos
 - Criterios de ingeniería
 - Diseño e implementación de filtros digitales

¡Gracias!

¿Alguna pregunta?