

Análisis de Tesitura usando filtros Butterworth

Barrera Juan, Serna Andrés, Hernandez Andrés
jbarreraro, ansernam, anhernandezdu @unal.edu.co
Universidad Nacional de Colombia

Resumen—El documento describe el proceso realizado y los resultados obtenidos al analizar la tesitura en distintas voces mediante filtros Butterworth usando Matlab.

Palabras Clave—Filtros, Digitales, Butterworth, Tesitura, Voz

I. INTRODUCCIÓN

El problema del seguimiento del tono se ha estudiado ampliamente en la comunidad de investigación del habla. En música, el término tesitura (Proveniente del italiano *tessitura*) hace referencia a la zona de la extensión de sonidos de frecuencia determinada que es capaz de emitir una voz humana o un instrumento musical. Se suele indicar señalando el intervalo de notas comprendido entre la nota más grave y la más aguda que un determinado instrumento o voz es capaz de emitir [2].

En la voz humana se distingue entre la tesitura y la extensión vocal. La extensión vocal, es decir, la extensión sonora de la voz, es el marco de frecuencias realizables, sin considerar volumen ni calidad del sonido. En voces sanas, comúnmente es de dos octavas o más. El término tesitura se usa para denominar la parte de la extensión vocal en la cual se pueden realizar sonidos controlables y utilizables musicalmente.

Según Peter-Michael Fischer, la tesitura de un cantante comienza una cuarta justa (cinco semitonos) por encima de su nota más grave posible (su «cero fónico») y llega hasta una cuarta por debajo de la nota más aguda de la voz («límite fónico») [4].

II. MARCO TEÓRICO

La fuente de voz humana puede operar en diferentes modos de oscilación, que son los llamados registros vocales. El objetivo de este

proyecto es realizar un análisis comprensible de la voz, con lo que es posible evaluar ciertas cualidades vocales que permiten identificar la tesitura de la voz analizada.

Un correcto análisis del rango vocal está conformado por dos procesos principales: digitalización de la señal de audio y análisis espectral de la señal digitalizada. Concretamente, este proyecto se encuentra enfocado en el análisis espectral de la señal digitalizada. Para poder analizar las frecuencias presentes dentro de una señal a lo largo del eje temporal o espacial, es necesario utilizar la FFT, es decir, la transformada rápida de Fourier, para posteriormente realizar el filtrado de las señales y obtener su respectivo espectrograma [5].

III. DETALLE EXPERIMENTAL

Se realizaron varios tipos de filtros digitales usando el software de Matlab destinado a análisis de señales (*Signal Analyzer* y *Filter Designer*), con el fin de determinar cual tendría mejor aplicación en el proyecto basado en la respuesta a la frecuencia de estos.

El proceso que se realizó para el estudio de la tesitura en diferentes voces fue, en primer lugar se importaron los audios que se querían analizar usando la función *audioread*, esta función crearía dos vectores uno con la amplitud de la señal para cada instante de tiempo y otro con la frecuencia de muestreo del audio. Posteriormente se realizó una transformada de Fourier usando la función *fft* para que así fuera posible analizar dicha señal en el dominio de la frecuencia. Finalmente, la señal sería pasada por los distintos tipos de filtros descritos a continuación.

Los filtros digitales pasabanda se hicieron usando la instrucción *designfilt*, variando sus métodos de diseño o *DesignMethod* como :

filtro butterworth, con la instrucción 'butter'; y filtros chebyshev usando las instrucciones 'cheby1' y 'cheby2'. Esto principalmente para definir que tipo de filtro tendria una mejor aplicacion dentro del proyecto.

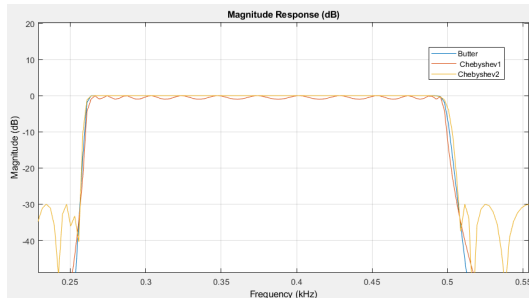


Figura 1. Respuesta en frecuencia de filtros Butterworth y Chebyshev. Fuente Propia.

En primer lugar, se plantearon los filtros para las tesituras 'Bajo', 'Tenor' y 'Soprano', cuyos rangos de frecuencia son (82-396) Hz, (261-497) Hz y (261-1046) Hz respectivamente [1], también se realizaron pruebas para determinar que orden del filtro seria apropiado. Finalmente se caracterizaron los distintos tipos de filtros usando su función de transferencia, su diagrama de polos y ceros, su diagrama de Bode y su respuesta en frecuencia.

III-A. Filtro "Bajo"

Como se mencionó anteriormente, esta tesitura abarca un rango de frecuencia desde los 82 hasta los 396 Hz. Se diseño un filtro Butterworth de orden 4 cuya caracterización es la siguiente:

- Función de transferencia

$$H(s) = \frac{0,01641s^4 - 0,03281s^2 + 0,01641}{s^4 - 3,359s^3 + 4,8s^2 + 0,672}$$

- Respuesta en frecuencia

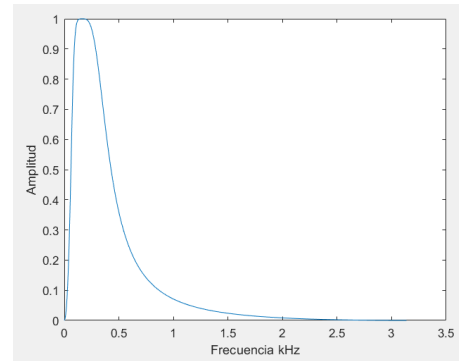


Figura 2. Respuesta en frecuencia del filtro Bajo. Fuente propia

- Diagrama de polos y ceros

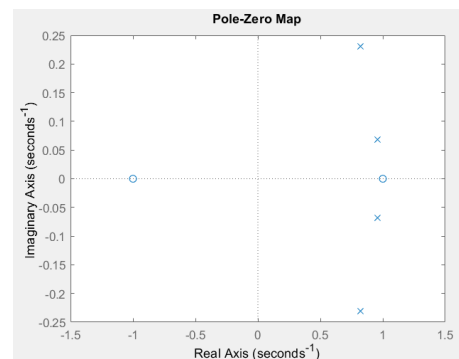


Figura 3. Diagramas de polos y ceros filtro Bajo. Fuente propia

- Diagrama de Bode

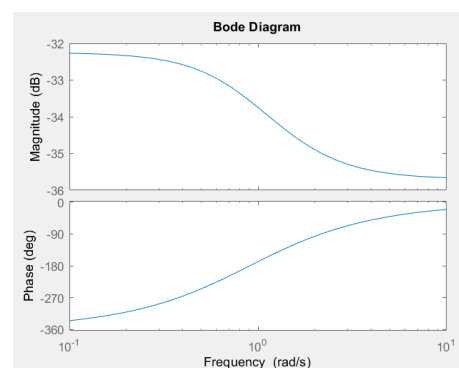


Figura 4. Diagrama de Bode filtro Bajo. Fuente propia

III-B. Filtro "Tenor"

Para la realización de este filtro se tiene que las frecuencias de corte para el filtro pasa banda deben ser 261- 497 Hz aproximadamente, con lo cual se diseñaron varios filtros pasabanda utilizando varios métodos de diseño como

los mencionados antes, donde se obtuvo la función de transferencia y la siguiente gráfica de respuesta en frecuencia de cada filtro.

- Función de Transferencia

$$H(s) = \frac{0,001s^6 - 0,029s^4 + 0,0029s^2 - 0,001}{s^6 - 5,3s^5 + 11,9s^4 - 14,7s^3 + 10,4s^2 - 4s + 0}$$

- Respuesta en Frecuencia

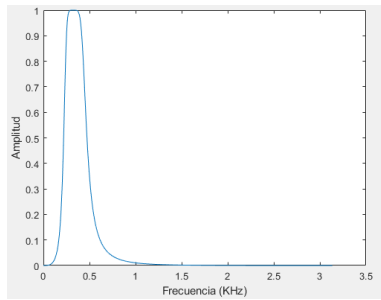


Figura 5. Respuesta en Frecuencia filtro Tenor. Fuente Propia

- Diagrama de Polos y Ceros

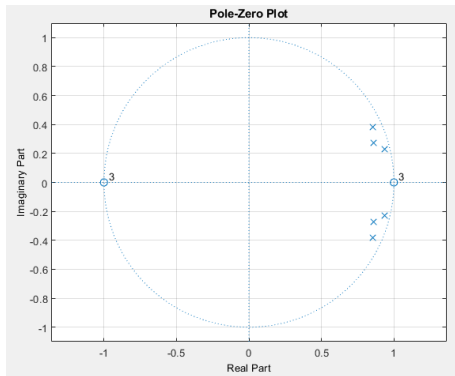


Figura 6. Diagrama Polos y Ceros Filtro Tenor. Fuente Propia.

III-C. Filtro "Soprano"

En este filtro pasabanda se emplea un rango de frecuencias entre 261 y 1046 Hz, el cual es el rango o registro vocal más alto para los humanos [1]. Una vez identificado el rango de frecuencias a analizar, se diseñó un filtro Butterworth de orden 4 con su respectiva caracterización. A partir de esta, se obtuvo:

- Función de transferencia

$$H(s) = \frac{0,081s^4 - 0,163s^2 + 0,081}{s^4 - 2,71s^3 + 2,96s^2 - 1,59s + 0,373}$$

- Respuesta en frecuencia

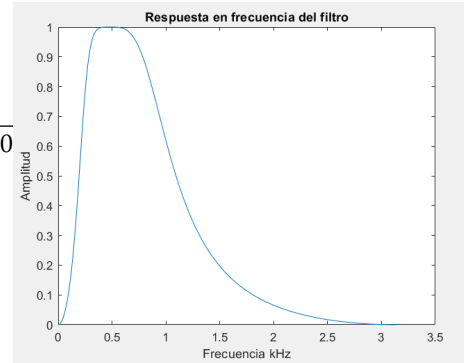


Figura 7. Respuesta en frecuencia del filtro Soprano. Fuente propia

- Diagrama de polos y ceros

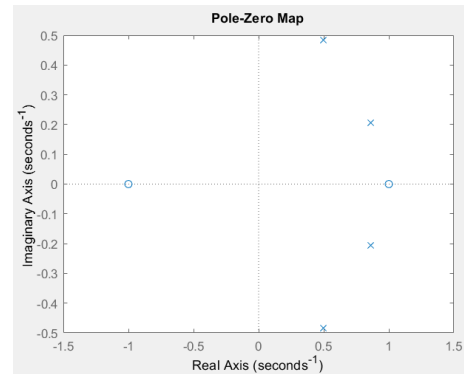


Figura 8. Diagramas de polos y ceros filtro Soprano. Fuente propia

- Diagrama de Bode

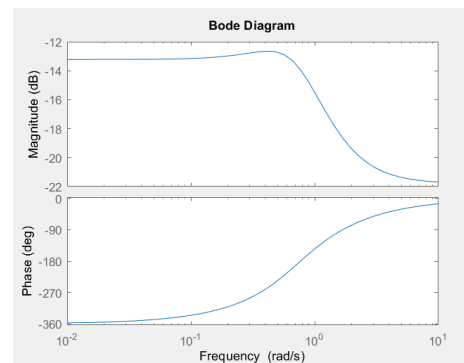


Figura 9. Diagrama de Bode filtro Soprano. Fuente propia

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A partir de las simulaciones planteadas anteriormente se obtuvieron los resultados

que se presentan a continuación. Para bajo:

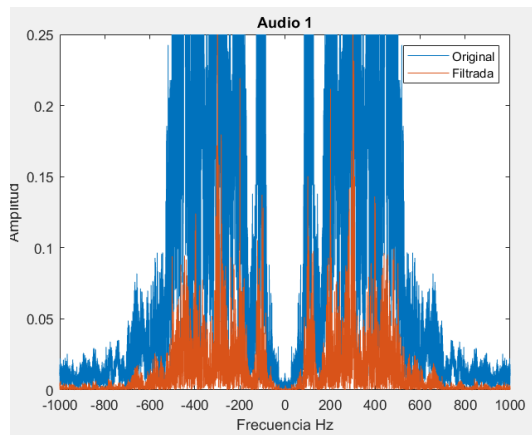


Figura 10. Análisis audio 1 en el filtro Bajo. Fuente propia

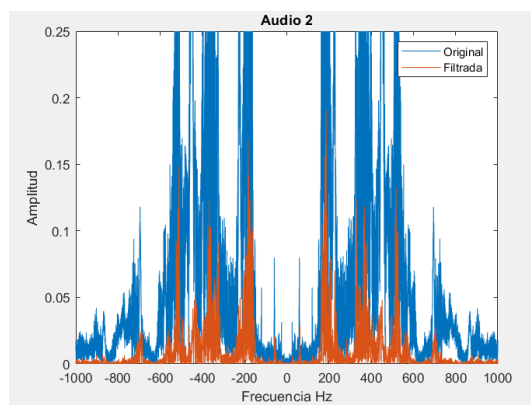


Figura 11. Análisis audio 2 en el filtro Bajo. Fuente propia.

Para Soprano:

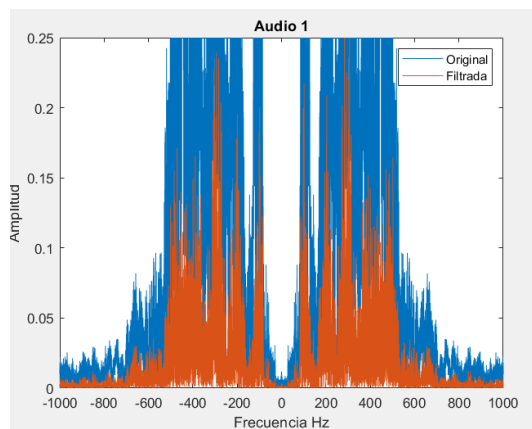


Figura 12. Análisis audio 1 en el filtro Soprano. Fuente propia

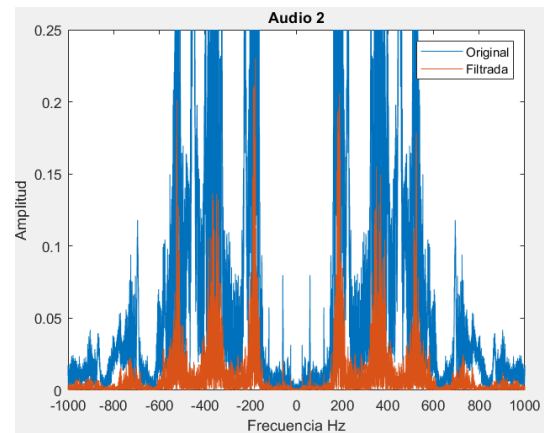


Figura 13. Análisis audio 2 en el filtro Soprano. Fuente propia.

Luego de obtener la señal filtrada, es posible observar como en ambos casos esta señal es considerablemente mas tenue que la señal original. Sin embargo, lo realmente importante del análisis, es que para el .Audio 1"se evidencia que la señal filtrada tiene una mayor amplitud e incluso se podría decir que tiene mas participación en este rango de frecuencias, mientras que en el caso del .Audio 2"la participación de la señal filtrada es muy limitada en este rango de frecuencia. Por ende, se concluye que la tonalidad de la voz de la persona que habla en el .Audio 1"se aproxima más a la tesitura "Bajo"que la voz de la persona que habla en el .Audio 2".

Para el filtro Tenor, al usarse sobre los mismos audios se obtuvieron gráficas como las mostradas a continuación:

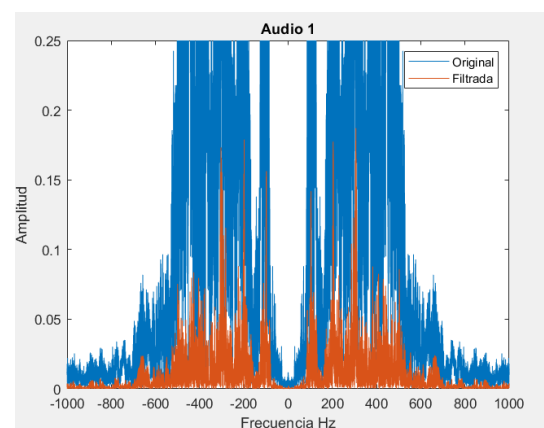


Figura 14. Análisis de audio 1 filtro Tenor.Fuente Propia.

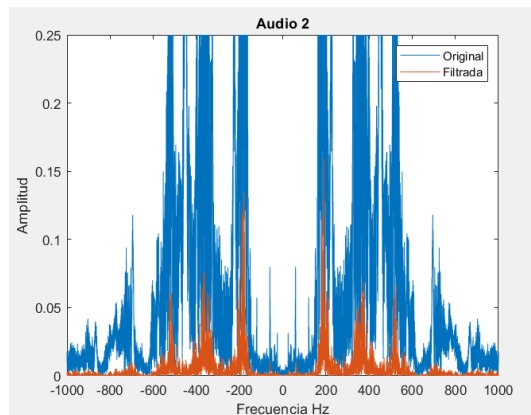


Figura 15. Análisis de audio 2 filtro Tenor. Fuente Propia.

Como se puede ver en la gráfica 14 hay mucha menos participación o, dicho de otra manera, magnitud de la señal con respecto a la original, que en la gráfica de respuesta a la señal usando filtro bajo. Con esto se puede demostrar la correlación entre el audio 1 y una tesitura tipo bajo y no tenor. Por otra parte para el audio 2 también se observa como hay menos picos y de menor magnitud, corroborando el hecho que para este audio habria mas participación para una tesitura tipo bajo o barítono, mas que tenor.

V. CONCLUSIONES

A partir del proyecto realizado y los resultados obtenidos del mismo fue posible obtener las siguientes conclusiones.

- El tipo de aproximación del filtro puede presentar resultados ligeramente diferentes para un mismo uso, por esto resulta conveniente realizar una aproximación del comportamiento de cada filtro y así poder determinar que filtro es más apropiado para su uso.
- Los filtros Butterworth se caracterizan por tener menor sobre impulso que los filtros Chebyshev, pero estos últimos poseen mejores propiedades a la hora de realizar más rápido la atenuación en las frecuencias requeridas.
- Se encontraron relaciones entre el sexo de la persona que genera el sonido analizado y la tesitura de esta de forma coherente a la teoría.

REFERENCIAS

- [1] .Evocanto: Programa de cómputo para analizar la voz cantada mediante técnicas

de procesamiento digital de señales". <https://www.scielo.org.mx/pdf/cys/v15n1/v15n1a5.pdf> (accedido el 5 de diciembre de 2022).

- [2] O. Babacan, T. Drugman, N. d'Álessandro, N. Henrich and T. Dutoit, "A comparative study of pitch extraction algorithms on a large variety of singing sounds," 2013 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 2013, pp. 7815-7819, doi: 10.1109/ICASSP.2013.6639185.
- [3] J. Torres Gomez, A. Rodriguez-Hidalgo, Y. V. Jerez Naranjo and C. Pelaez-Moreno, "Teaching Differently: The Digital Signal Processing of Multimedia Content Through the Use of Liberal Arts," in IEEE Signal Processing Magazine, vol. 38, no. 3, pp. 94-104, May 2021, doi: 10.1109/MSP.2021.3053218.
- [4] P.-M. Fischer, *Die Stimme des Sängers*. Metzler, 1998.
- [5] .Análisis de señales de audio utilizando la transformada de Gabor". Repositorio Institucional Universidad EAFIT. <https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/4612/29>