

# Análisis de señal DBL en MATLAB

I. Brittez, J. Gómez Tantarelli

*Análisis de sistemas y señales*

*Facultad de Ingeniería, UNLP, La Plata, Argentina.*

**Resumen**— En el presente informe se trabajará con el sistema de comunicaciones de *Doble Banda Lateral* (DBL), con ayuda del sistema de computo numérico *MATLAB* se procesará una señal de este tipo.

## I. INTRODUCCIÓN

El informe analiza una señal emulada, que combina dos señales con distintas frecuencias de portadora. El objetivo es explicar las herramientas utilizadas para la recuperación de los audios y mostrar el poder de la Transformada Discreta de Fourier como herramienta de trabajo.

## II. MARCO TEÓRICO

### II-A. Transformada discreta de Fourier (TDF)

Herramienta matemática que transforma una secuencia finita de números reales o complejos en una representación, también discreta y finita, en frecuencia (también conocida como *espectro*). Se define como:

$$X[k] = TDF\{x\}[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n]e^{-j2\pi n/N}, 0 \leq k \leq N-1 \quad (1)$$

en donde  $N$  es la cantidad de muestras del vector  $x$ .

Esta transformada es comúnmente utilizada en el procesamiento digital de señales y en otros campos, interesados en las componentes frecuenciales de señales muestreadas.

### II-B. FFT

Algoritmo computacional, reconocido en el ámbito del procesamiento de señales por su capacidad para el cálculo eficiente de TDF.

### II-C. Filtro

En el ámbito de las señales, un filtro se encarga de atenuar una parte específica de una señal. Existen distintos filtros según el tipo de respuesta y de diseño. Los más conocidos, en base a la respuesta, son los pasa-banda (PB), rechaza-banda (RB), pasa-bajos (LP, por sus siglas en inglés, para diferenciarlo de los pasa-banda) y pasa-altos (PA). También, en función de la respuesta impulsional, existen los IIR (respuesta impulsional infinita) y los FIR (respuesta impulsional finita).

Uno de los parámetros de interés en la construcción de un filtro es el orden del mismo. Este nos indica, entre otras cosas, el nivel de precisión y la complejidad en la construcción que tendrá. A mayor orden, mayor precisión y complejidad.

### II-D. Modulación

Herramienta del procesamiento de señales que traslada el espectro de una señal a donde sea conveniente para continuar con el tratamiento de ella.

### II-E. Frecuencia de portadora ( $f_p$ )

Frecuencia de una señal que lleva (o que porta) información de interés.

### II-F. Frecuencia de muestreo ( $f_s$ )

Es el número de muestras por unidad de tiempo que se toman de una señal continua para producir una señal discreta. Usualmente se mide en Hz.

### II-G. Ruido

En el ámbito de las señales, se considera ruido a cualquier tipo de contaminación o interferencia que impacta negativamente en la visualización, graficación y/o entendimiento de la señal tratada.

## III. ANÁLISIS EN FRECUENCIA

Para el análisis espectral de las señales fue diseñada la función `'fft_kit'` en *MATLAB* (ver Anexo VII-A). Ésta recibe como parámetros el vector al que se desea aplicar la TDF, y la frecuencia a la cual fue muestreado. `'fft_kit'` devuelve el vector transformado, reorganizado de modo que la componente de frecuencia cero se encuentre en el centro del arreglo devuelto; esta es una práctica común que permite una visualización más cómoda y un mejor análisis. Por último, el segundo parámetro de retorno de la función es una secuencia de valores de frecuencia desnormalizada, asociada a la transformada.

## IV. FILTROS

Todos los filtros utilizados en este trabajo fueron generados con la herramienta *fdatool* de *MATLAB* y cuentan con las siguientes características comunes:

- Tipo FIR
- Orden 300
- Cajones en el espectro: Con frecuencia/s de corte ( $f_c$ ) especificada/s en cada caso.

Por ejemplo, en la Fig (1) se puede observar un filtro utilizado en el trabajo. Puede notarse la forma de cajón y la variación en su amplitud, mayormente en un entorno cercano a la frecuencia de corte. Esto está asociado al tipo de respuesta impulsional y al orden del filtro.

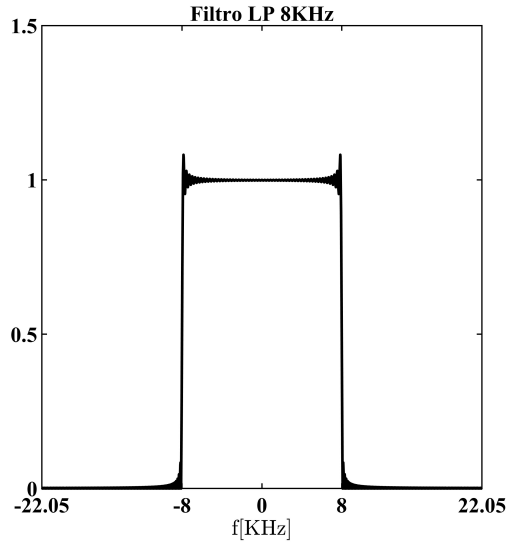


Fig. 1. Filtro pasa-bajos,  $f_c = 8$  kHz

## V. SEÑAL DE AUDIO

El archivo 'DBL.wav' es el audio a procesar. Se sabe que este cuenta con dos señales, que llamaremos  $x_1$  ( $f_{p1} = 8$  kHz) y  $x_2$  ( $f_{p2} = 16$  kHz). El ancho de banda de cada una de ellas es menor a 3, 5 kHz y la señal fue muestreada a 44, 1 kHz (práctica común en el ámbito de las comunicaciones).

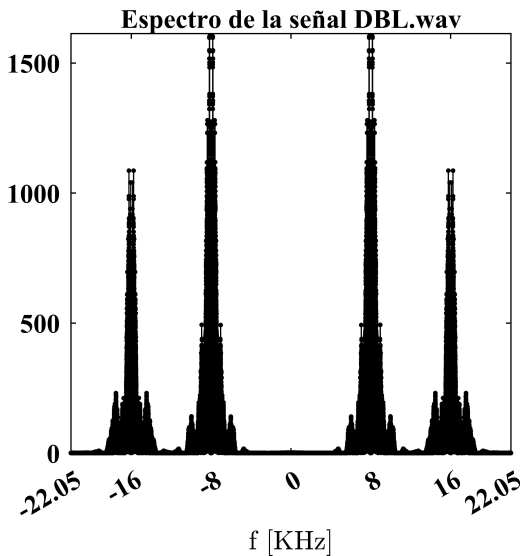


Fig. 2. TDF de la señal

Observando la señal en el dominio de la frecuencia podemos apreciar el espectro de cada uno de los audios, centrado en su respectiva frecuencia de portadora (ver Fig. 2).

## VI. RECUPERACIÓN DE LOS AUDIOS

Las siguientes instrucciones son las seguidas en este trabajo para recuperar cada audio.

1. Aislar el rango de frecuencias asociado con el audio que se quiere recuperar, mediante un filtro PB diseñado específicamente en cada caso.
2. Modular el espectro filtrado, centrando a la señal filtrada en la frecuencia  $f = 0$ . Para ello utilizaremos la siguiente señal moduladora (con la que multiplicaremos a la señal recientemente filtrada):

$$y_d[n] = \cos\left(\frac{2\pi f_p \cdot n}{f_s} + \theta\right) \quad (2)$$

En donde  $f_p$  tomará el valor de  $f_{p1}$  o  $f_{p2}$  según el caso y  $\theta$  es un parámetro variable que puede elegirse según conveniencia.

3. Eliminar las réplicas generadas por la modulación, haciendo uso del filtro LP de la figura 1. De esta forma nos aseguramos de no perder información en el filtrado, ya que el ancho de banda de cada señal de audio que queremos recuperar es menor a 3, 5 kHz.
4. Antitransformar la señal obtenida del punto 3, obteniendo así el audio final.

### VI-A. AUDIO 1

Llamamos "Audio 1", a la señal con contenido espectral sobre  $\pm 8$  KHz. Siguiendo lo comentado en la sección VI aplicamos un filtro PB FIR, con forma de cajón centrado en  $f_{p1} \pm 4$  KHz (ver Fig. (3)), obteniendo un espectro con contenido solo al rededor de la  $f_{p1}$ .

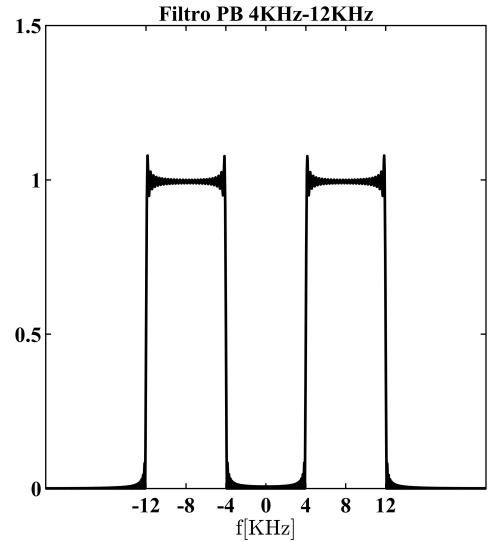


Fig. 3. Filtro pasa-banda para el audio 1.

Posteriormente modulamos nuestro resultado con una señal coseno como la indicada en el punto 2 de la sección VI, utilizando  $f_p = 8$  KHz. En la Fig. (5), se puede observar que la amplitud del espectro centrado en el origen toma valores máximos para una fase de  $\theta = \frac{\pi}{2}$  por lo que modulamos utilizando esa fase.

Una vez modulado aplicamos el filtro LP de  $f_c = 8$  KHz de la Fig. (1) obteniendo nuestra primer señal de audio. Al reproducir la señal con la instrucción *sound* de *MATLAB* se

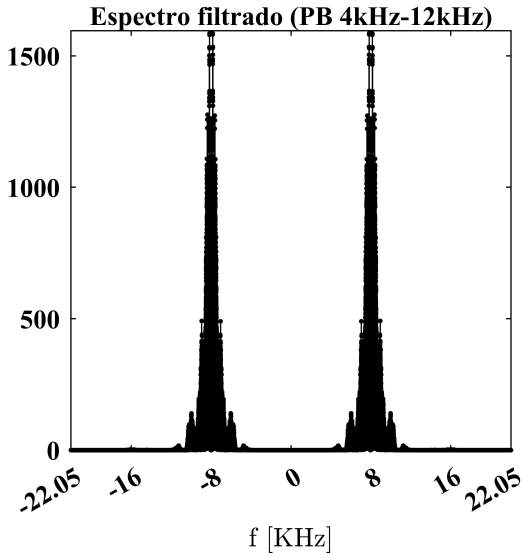


Fig. 4. Espectro DBL.wav filtrado por PB de 4-12KHz

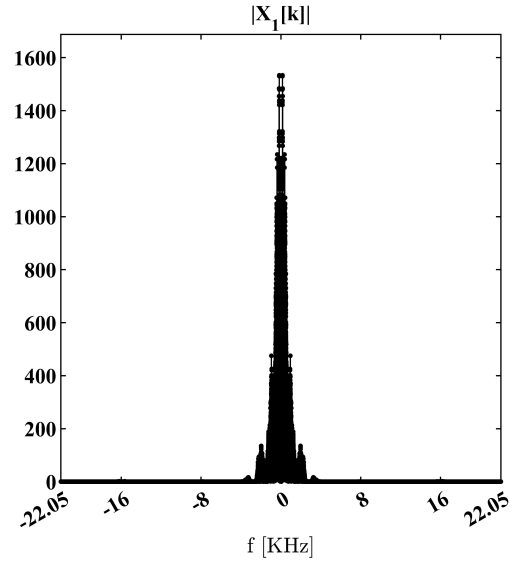


Fig. 6. Módulo del espectro del audio 1

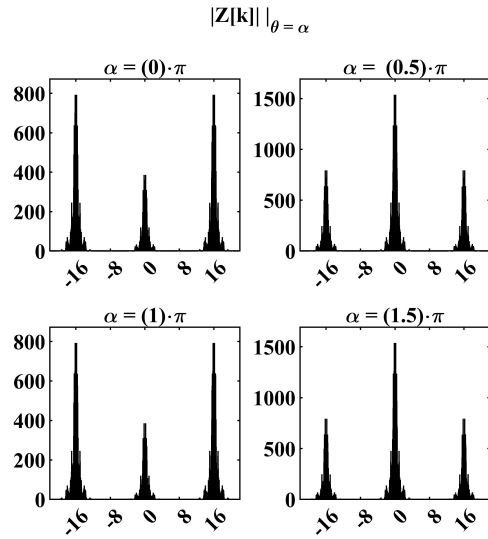


Fig. 5. Comparación de la señal modulada para distintos valores de fase. El eje de abscisas representa frecuencias en KHz

puede escuchar: Cortázar lee a Cortázar: “Viajes”(Historias de Cronopios y de Famas)

## VI-B. AUDIO 2

Repetimos el procedimiento. Filtramos el espectro de la señal inicial (Fig. 2) con el siguiente filtro PB.

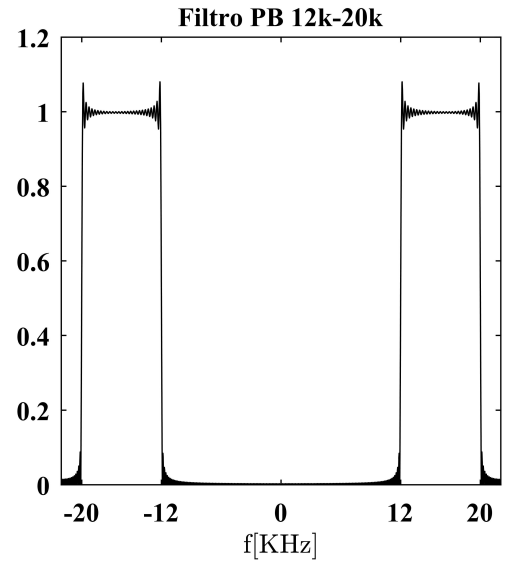


Fig. 7. Filtro pasa-banda para audio 2.

Habiendo conseguido aislar la parte del espectro deseada, modulamos la señal y observamos el efecto de la modulación con distintos valores de  $\theta$ . Tanto en la figura 5 como en la 9 se nota una simetría al sumar (o restar)  $\pi$ . El motivo de esto es el siguiente:

$$|\cos(\alpha)| = |\cos(\alpha \pm \pi)| \quad (3)$$

por lo tanto, dado que la amplitud es la misma y el gráfico refiere al módulo del espectro es esperable que esto suceda.

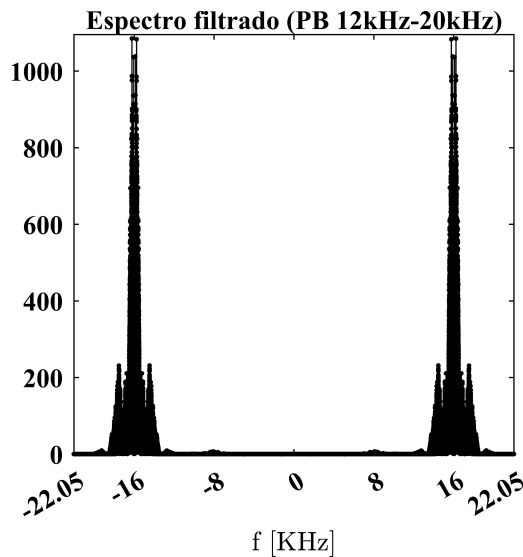


Fig. 8. Espectro de 'DBL.wav' filtrado

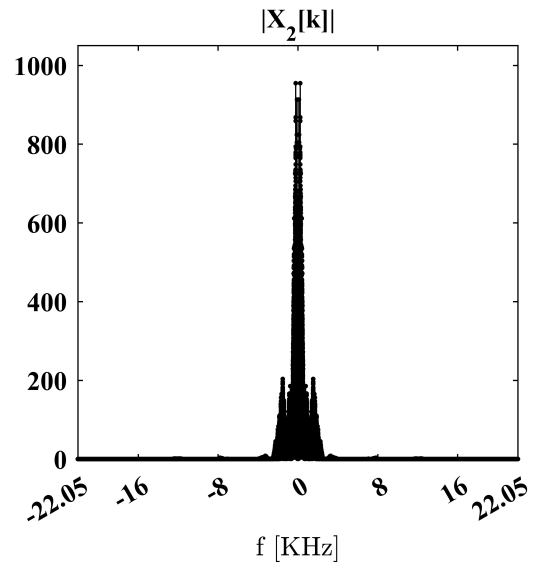


Fig. 10. Módulo del espectro del audio 2

Si se reproduce la señal filtrada (en el dominio del tiempo, la antitransformada de la señal de la Fig. 8), aún no se percibe claramente el mensaje que esta contiene aunque mejoró levemente en relación al audio original. En cambio, si se reproduce el asociado a la modulación, el mensaje es claramente entendible aunque puede apreciarse algo de *ruido* indeseado. Lo mismo sucede si se escucha en el procesado del *audio1*.

Además si se elige otros valores de  $\theta$ , el audio final continua reproduciéndose correctamente pero el volumen es mayor en los valores de  $\theta$  en los que el modulo del espectro es mayor (tanto para *audio1* como para el *audio2*).

## VII. ANEXOS

### VII-A. FUNCIONES

```
function [X_shift, f] = fft_kit(x, fs)
    X = fft(x);

    N = length(X);
    % Si N es par
    if (mod(N, 2) == 0)
        f = (-fs/2 : (fs/N) : ...
            ((N-1)/N)*(fs/2));
    else
        % Si N es impar
        f = (((N-1)/N)*(-fs/2)) : ...
            (fs/N) : ((N-1)/N)*(fs/2);
    end

    X_shift = fftshift(X);
end
```

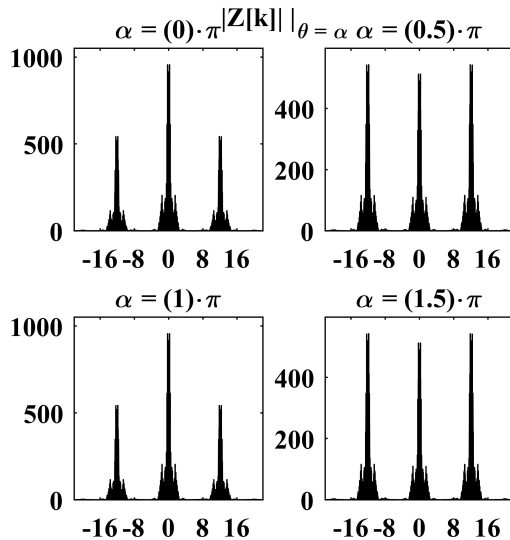


Fig. 9. Comparación de la señal modulada para distintos valores de  $\theta$ . El eje de abscisas representa frecuencias en KHz

Por último, eligiendo arbitrariamente  $\theta = 0$ , filtramos el espectro con el LP de la Fig 1. Obtenemos así la replica centrada.

Si se reproduce el audio asociado, puede oírse claramente un fragmento de “No te salves”, en la voz de Mario Benedetti.