



# Sistemas y Señales I

## Trabajo Práctico N° 3 Análisis Frecuencial de Señales

### Problemas a incluir en el Informe del TP

**Autores:** Cátedra SyS-I

Junio de 2021

## Problemas a incluir en el Informe del TP

### Problema 1: Procesamiento de una señal ADSL

El objetivo de este problema consiste en aplicar filtros en el dominio frecuencial para separar las distintas bandas de frecuencia de una señal de ADSL. Se pretende además recuperar la señal de voz transmitida.

#### Introducción

ADSL son las siglas en inglés de *Asymmetric Digital Subscriber Line*, o en castellano “Línea Digital Asimétrica de Abonado”. Esta es una tecnología en particular de las diferentes tecnologías existentes de DSL (Línea Digital de Abonado), la cual permite una mayor tasa de transmisión de datos que en el caso de los antiguos módems telefónicos mediante el uso de frecuencias superiores a las del canal telefónico. Adicionalmente los sistemas de ADSL permiten simultáneamente transmitir información de datos y voz en distintas bandas de frecuencia.

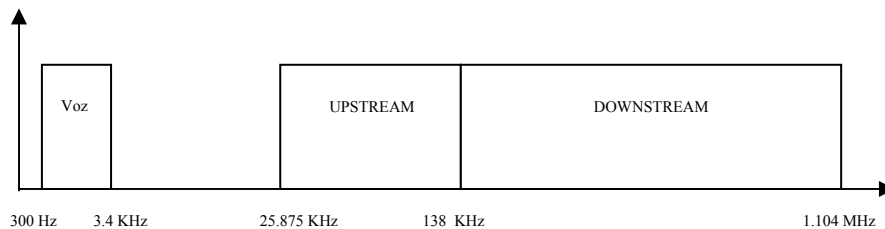


Figura .1: Bandas de Frecuencia para ADSL.

En la Figura 1 se muestran las bandas de frecuencias utilizadas en el sistema de ADSL. El rango de frecuencias utilizado (0 a 1.104 MHz) se divide en 256 canales de 4.3125 KHz. Generalmente los canales del 1 al 6 (hasta 25.875 KHz) se utilizan sólo para telefonía analógica (señal de voz). Los canales 7 al 31 (hasta 138 KHz) se utilizan para enviar datos (**UPSTREAM**) mientras que los canales del 32 al 256 (hasta 1.104 MHz) se reservan para la recepción de datos (**DOWNSTREAM**).

- El archivo `datosADSL.mat` contiene una señal de ADSL compuesta por: señal de voz en el rango [0.3 – 3.4] KHz, señal de datos UPSTREAM en el rango [25.875 - 138] KHz y señal de datos DOWNSTREAM [138 – 1104] KHz. Cargue la señal `datosADSL.mat` en el espacio de trabajo de Matlab (para ello debe usar el comando `load`). ¿Cuál es la mínima frecuencia de muestreo para la señal de ADSL dada? Justifique su respuesta. Utilice este valor de frecuencia de muestreo para graficar la señal temporal con las unidades apropiadas en los ejes.
- Con el valor de frecuencia de muestreo del punto anterior obtenga el espectro de amplitud de la señal completa. Grafique utilizando frecuencias continuas en [Hz] en el eje de abscisas.
- En el dominio de la transformada de Fourier, extraiga las diferentes partes que componen la señal de ADSL:
  - Señal de voz
  - Canal UPSTREAM
  - Canal DOWNSTREAM

Grafique los espectros anteriores en una misma figura, haciendo uso del comando `subplot`. Reporte el intervalo de muestras de la DFT que corresponden a la señal de voz.

- Calcule la transformada inversa de Fourier correspondiente sólo a la señal de voz.  
Observación: tenga en cuenta que la función `ifft` de Matlab asume que el espectro se encuentra definido entre  $[0\ 2\pi]$ .
- Utilizando el comando `soundsc` de Matlab reproduzca la señal de voz calculada en d. Preste especial atención a la frecuencia de muestreo necesaria para la reproducción correcta de la señal. Realice la reproducción con las siguientes frecuencias de muestreo:
  - Frecuencia calculada en a.
  - Mitad del valor en i..
  - Doble del valor en i..

Indique, justificando su respuesta, cual es la frecuencia correcta de reconstrucción de la señal.

## Problema 2: Análisis frecuencial utilizando ventanas

El uso de la Transformada de Fourier es de fundamental importancia para el análisis frecuencial de señales. Sin embargo, si se calcula la transformada de Fourier de una porción de larga duración de la señal, se pierde la información temporal de su contenido frecuencial, es decir, se conoce el contenido armónico de la señal pero no se puede especificar en qué momento está presente cada armónico.

En las aplicaciones en las cuales se requiere conocer la información frecuencial en función del tiempo de la señal, se suele realizar un análisis de Fourier de tiempo corto. Para ello se divide la señal en segmentos de corta duración denominados *frames*. Un *frame* es una porción de  $L$  muestras sucesivas de una señal de longitud  $M$ , que se obtiene a partir de aplicar una ventana a la señal y desplazarla temporalmente. En la Figura 2, se divide una señal de longitud  $M$ , en  $N$  *frames* de longitud  $L$ . De esta manera, calculando la Transformada de Fourier a cada *frame* se puede conocer la evolución del contenido armónico de la señal en el tiempo. Esta técnica se denomina Transformada de Fourier en Tiempo Corto (*Short-Time Fourier Transform*).

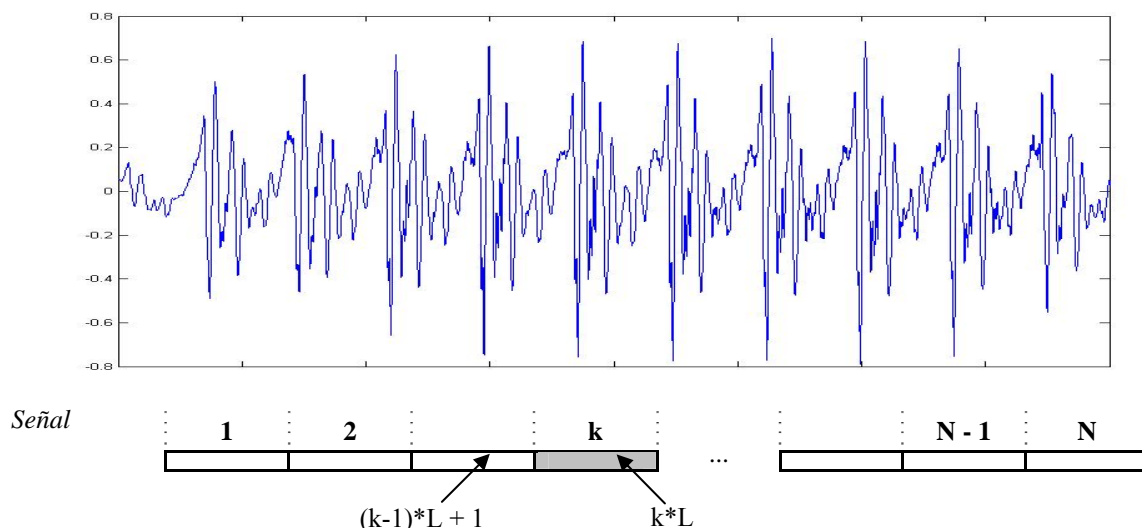


Figura. 2. División en frames de una señal.

## Sistema de Marcación por Tonos

En el sistema de marcación por tonos utilizado en telefonía, también llamado sistema multifrecuencial o DTMF (Dual-Tone Multi-Frequency), cuando un usuario pulsa en el teclado de su teléfono la tecla correspondiente a un dígito que quiere marcar, se envían dos tonos de distinta frecuencia (uno por columna y otro por fila de acuerdo a la Tabla 1).

Tabla 1: Frecuencias asociadas a cada dígito del sistema DTMF.

		$F_H$ [Hz]			
		1209	1336	1477	1633
$F_L$ [Hz]	697	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>A</b>
	770	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>B</b>
	852	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>C</b>
	941	<b>*</b>	<b>0</b>	<b>#</b>	<b>D</b>

Así, la señal generada al presionar un dígito, tendrá dos componentes y una forma genérica:

$$x(t) = A \sin(2\pi F_L t) + A \sin(2\pi F_H t) \xrightarrow{F_s} x(n) = A \sin(2\pi f_L n) + A \sin(2\pi f_H n)$$

Luego, la central telefónica detecta las frecuencias contenidas en la señal y determina el dígito que se marcó. En los casos en que las frecuencias  $F_L$  y  $F_H$  difieren de sus valores nominales, indicados en la Tabla 1, en  $\pm 1.8\%$ , la central telefónica descarta el dígito enviado.

El objetivo de este problema es analizar el contenido frecuencial de una señal asociada al marcado de un número telefónico, por medio de la Transformada de Fourier en Tiempo Corto, para identificar el número telefónico marcado, determinando cada uno de los dígitos que lo componen.

- a. Use la función Matlab `wavread` para cargar el archivo “*tonos.wav*” que contiene la señal de audio a analizar.  
Sintaxis: `[Y, Fs, Nbits] = wavread('tonos.wav');`  
 Donde  $Y$  son las muestras de la señal,  $F_s$  la frecuencia muestreo y  $Nbits$  la cantidad de bits por muestra utilizados.
- b. Con la ayuda de las funciones `fft` y `fftshift` de Matlab compute la DTFT de la señal  $Y$  completa y grafique el espectro de amplitud en función de la frecuencia en tiempo continuo asociada, en el rango entre  $[-F_s/2, F_s/2]$ . Indique si es posible o no determinar el número marcado a partir del espectro de amplitud de la señal completa.
- c. Realice una función que tome como argumentos de entrada dos frecuencias,  $F_1$  y  $F_2$  ( $F_1 < F_2$ ), y como argumento de salida la variable `digito`, correspondiente al dígito identificado. Para ello compare  $F_1$  con cada una de las frecuencias  $F_L$  y  $F_2$  con cada una de las frecuencias  $F_H$ . En caso de que alguna de las frecuencias estuviera fuera del rango ( $F_L \pm 1.8\%$  y  $F_H \pm 1.8\%$ ), la variable de salida debe ser `digito=[]`.
- d. Realice un script que:
  - i. Divida la señal en *frames* con una duración de 450mseg, tal que la longitud del *frame* resulta  $L = (450e-3) \cdot F_s$  muestras.
  - ii. Para cada *frame*, calcule la DTFT, determine automáticamente las dos frecuencias de mayor amplitud y calcule las frecuencias en tiempo continuo asociadas (en Hz) (para ello puede utilizar la función `max` de Matlab). Utilice la función del ítem c. para determinar el dígito correspondiente a este *frame*.
  - iii. Una vez procesados todos los *frames*, muestre en pantalla el número identificado.
- e. Suponga ahora que la señal se envía a través de un canal de transmisión con una respuesta al impulso  $h(n)$ , como se indica en la Figura 3.

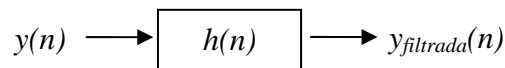


Figura .3. Canal de transmisión.

El canal de transmisión es modelado con una estructura FIR (Finite Impulse Response) de fase lineal y de longitud 80. Obtenga la respuesta al impulso del canal a partir del comando `h=fir1(80,0.325)` y filtre la señal contenida en el archivo “*tonos.wav*”. Luego, determine nuevamente el número telefónico marcado a partir de la señal filtrada. Compare los resultados con los obtenidos en el ítem d. y extraiga conclusiones. **Ayuda:** grafique la respuesta en frecuencia del canal.