

Objetivos

Aplicar conceptos de STFT ("La transformada de Fourier a corto plazo") sobre distintos casos prácticos utilizando un generador de señales desde el celular y simulink como herramienta para adquirir y procesar las mismas.

Introducción

La transformada de Fourier a corto plazo (STFT) se utiliza para analizar cómo el contenido de frecuencia de una señal cambia con el tiempo. La STFT de una señal se calcula deslizando una ventana de longitud L sobre la señal y calculando la transformada discreta de Fourier de los datos de ventanas. La ventana salta sobre la señal original a intervalos de R Muestras. Si la longitud de superposición es distinto de cero ($L-R$), la superposición de los segmentos de ventana compensa la atenuación de la señal en los bordes de las mismas.

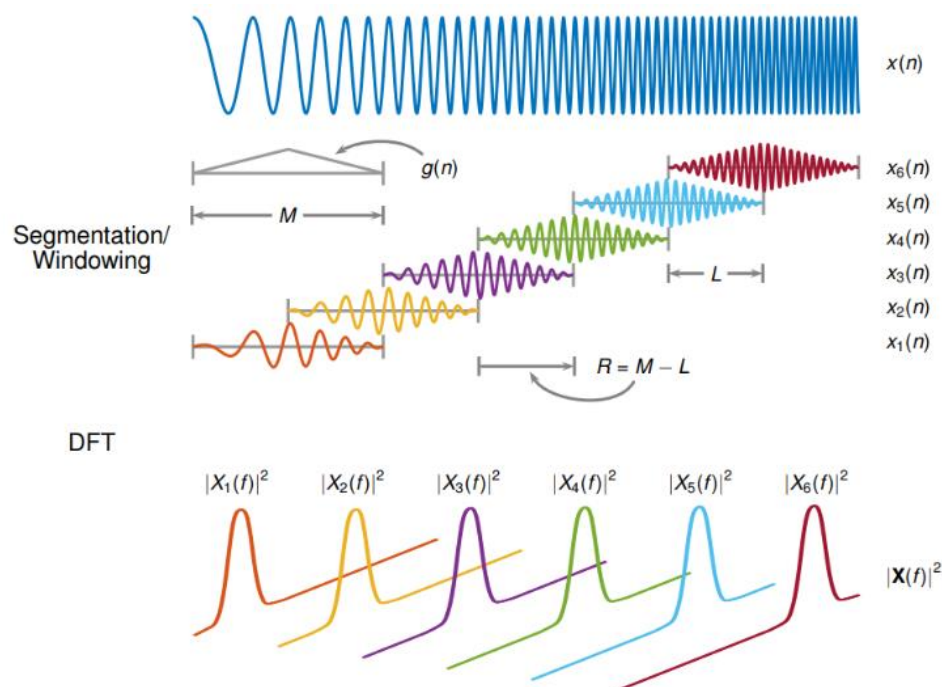
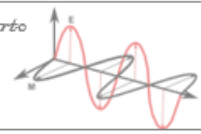
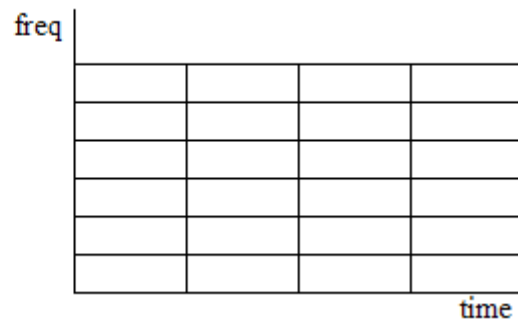
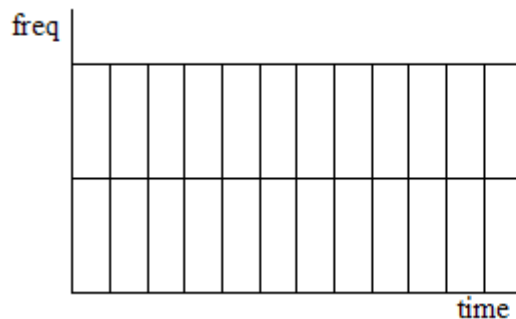


fig 1: Interpretación de STFT

Una de las particularidades de la STFT es que tiene una resolución fija. El ancho de la función de ventanas se relaciona con la forma en que se representa la señal: determina si hay una buena resolución de frecuencia (los componentes de frecuencia se pueden separar entre sí) o una buena resolución de tiempo (el momento en que cambian las frecuencias). Una ventana



amplia ofrece una mejor resolución de frecuencia pero una resolución de tiempo pobre. Una ventana más estrecha ofrece una buena resolución de tiempo pero una resolución de baja frecuencia. Estos se llaman transformaciones de banda estrecha y banda ancha, respectivamente.



Ejemplos:

Dibuje el espectrograma de la señal $x[n]$ que se obtiene utilizando una ventana rectangular de 256 puntos y una DFT de 256 puntos sin solapamiento ($R=256$) siendo $x[n]$:

$$x[n] = \cos\left[\frac{\pi n}{4} + 1000 \sin\left(\frac{\pi n}{8000}\right)\right] \quad 0 \leq n \leq 16000$$

→ Partimos del cálculo de la frecuencia instantánea para $x[n]$.

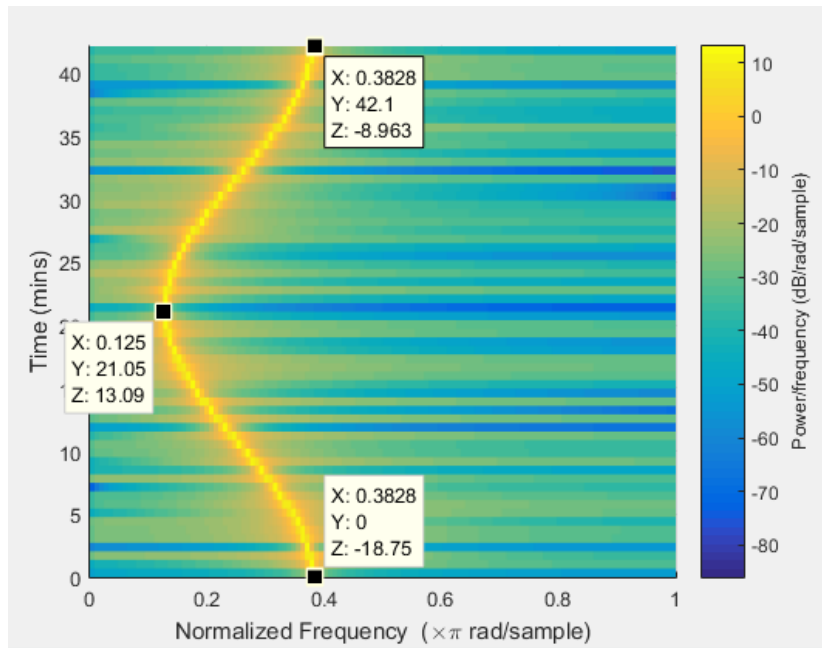
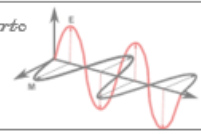
$$\text{frecuencia instantanea: } \frac{\pi}{4} + \left(\frac{1\pi}{8}\right)\cos\left[\frac{\pi n}{8000}\right]$$

→ Armamos la señal en matlab ,aplicamos enventanado y realizamos el espectrograma

```

1 - clear all
2 - clc
3 - close all
4
5 - n=[0:15999];
6 - xn=cos((pi/4).*n + 1000*sin((pi/8000).*n));
7 - Wl=boxcar(256);
8 - L1=256;
9 - R1=256;
10 - N1=256;
11 - figure()
12 - spectrogram(xn,Wl,L1-R1,N1)

```



$$w = \pi/8000$$

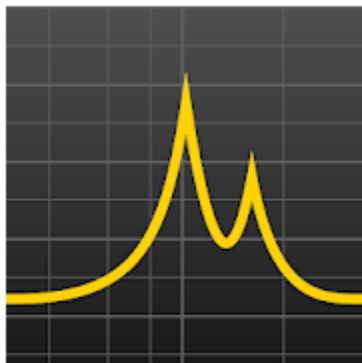
$$N = \lceil 2\pi/w \rceil m - > 16000$$

$$\text{frecuencia instantanea: } \pi/4 + (1\pi/8)\cos[\pi m/8000] \quad \text{resolucion temporal: } 16000/256 = 62.5$$

Ejercicios de Laboratorio

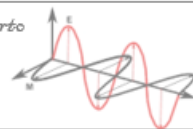
En sus celulares mediante Google play store descargar las siguientes aplicaciones:

Spectroid



Generador de frecuencia

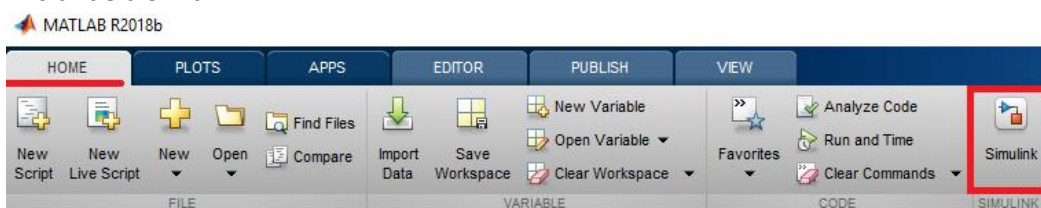




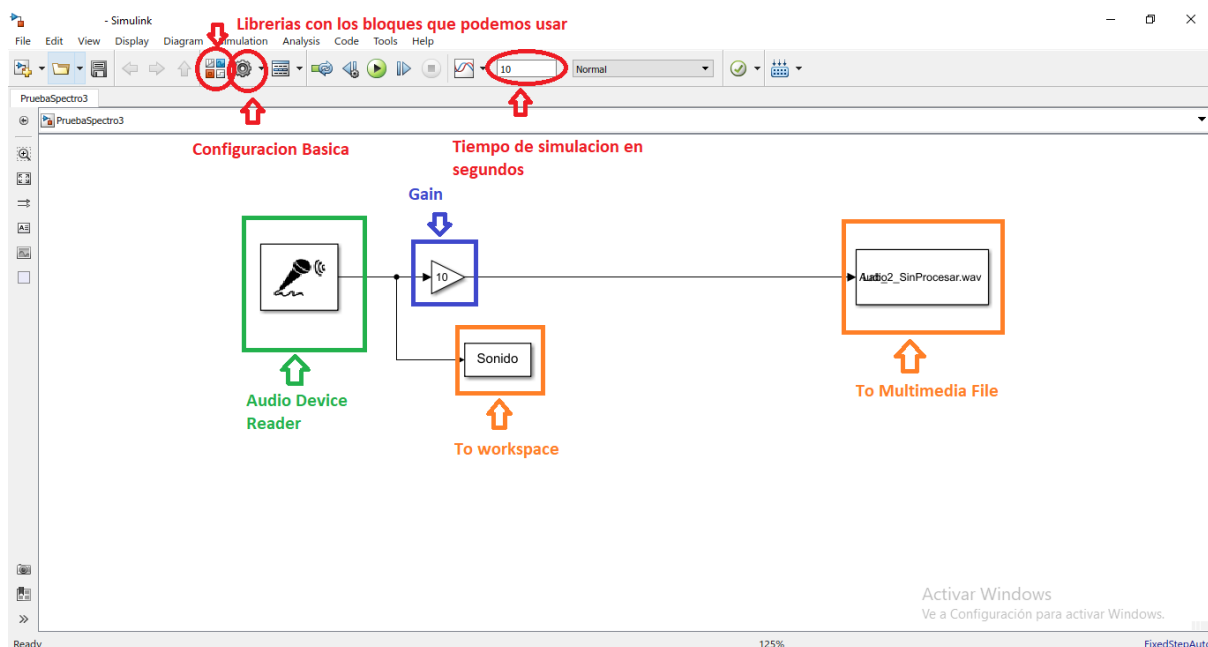
Aclaración antes de comenzar

Para utilizar matlab tenemos tres archivos. El primero “Lab2_sys2.slx” corresponde a un archivo de Simulink que contiene todo el procedimiento de captura de la señal por micrófono y convierte en vectores a las mismas para luego utilizarlas en Matlab. El segundo archivo “Script_Lab2_sys2.m” toma los resultados de la ejecución del primer archivo y gráfica el espectrograma. En este script están individualizadas y presentadas todas las variables para aplicar STFT (tipo de ventana, longitud de ventana, Salto de la ventana , Cantidad de puntos de DFT). Además, se utiliza para su funcionamiento una función definida como “Espectrograma.m”

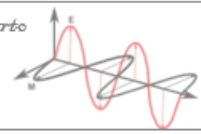
- **Entrando a Simulink**



- **Armando el Esquema**



- **Configuracion Basica**



Configuration Parameters: PruebaSpectro3/Configuration (Active)

Search

Solver

- Data Import/Export
- Math and Data Types
- ▶ Diagnostics
- Hardware Implementation
- Model Referencing
- Simulation Target
- ▶ Code Generation
- ▶ Coverage
- ▶ HDL Code Generation

Simulation time

Start time: 0.0 Stop time: 10

Solver selection

Type: Fixed-step Solver: auto (Automatic solver selection)

▼ Solver details

Fixed-step size (fundamental sample time): 1/44100

Tasking and sample time options

Periodic sample time constraint: Unconstrained

- ☐ Treat each discrete rate as a separate task
- ☐ Allow tasks to execute concurrently on target
- ☐ Automatically handle rate transition for data transfer
- ☐ Higher priority value indicates higher task priority

OK Cancel Help

- Buscando los componentes

- Micrófono

Simulink Library Browser

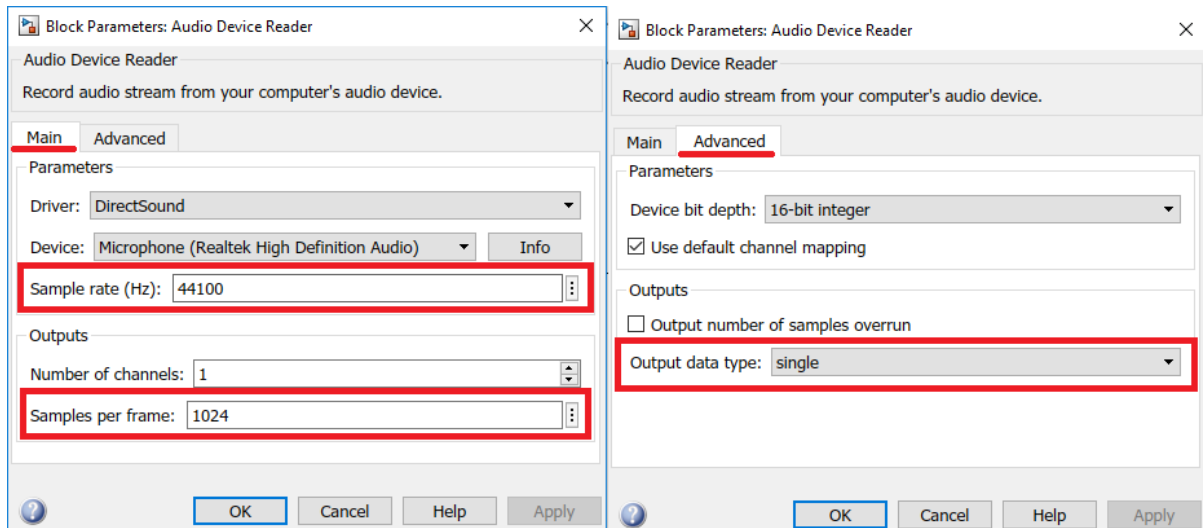
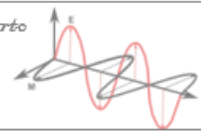
Enter search term

Audio System Toolbox/Sources

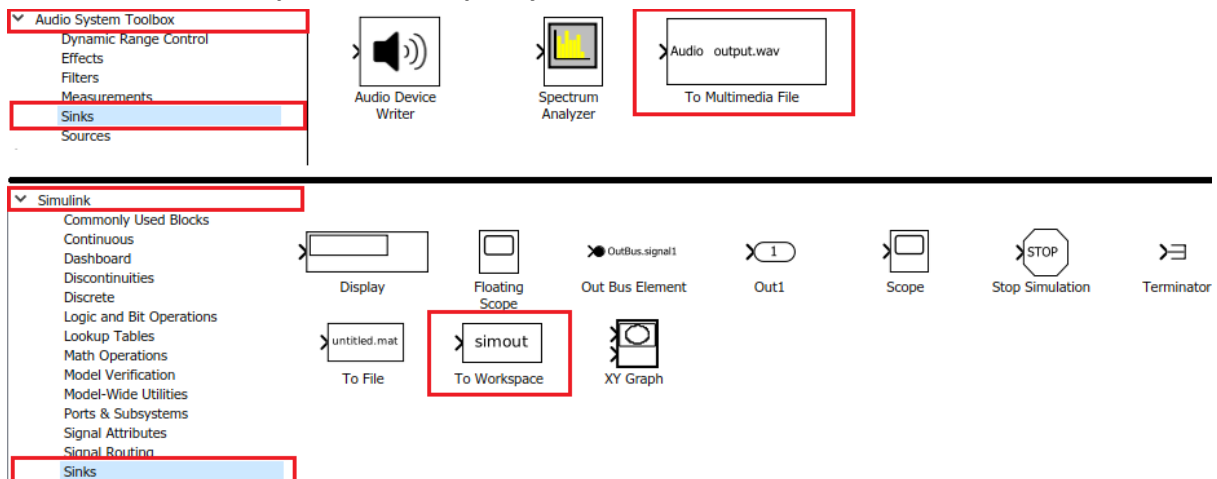
- ▼ Simulink
 - Commonly Used Blocks
 - Continuous
 - Dashboard
 - Discontinuities
 - Discrete
 - Logic and Bit Operations
 - Lookup Tables
 - Math Operations
 - Model Verification
 - Model-Wide Utilities
 - Ports & Subsystems
 - Signal Attributes
 - Signal Routing
 - Sinks
 - Sources
 - String
 - User-Defined Functions
 - > Additional Math & Discrete
 - > Quick Insert
 - > Aerospace Blockset
 - ▼ Audio System Toolbox
 - Dynamic Range Control
 - Effects
 - Filters
 - Measurements
 - Sinks
 - Sources
 - > Automated Driving System Toolbox
 - > Communications Toolbox
 - > Communications Toolbox HDL Support
 - > Computer Vision System Toolbox

Audio Device Reader

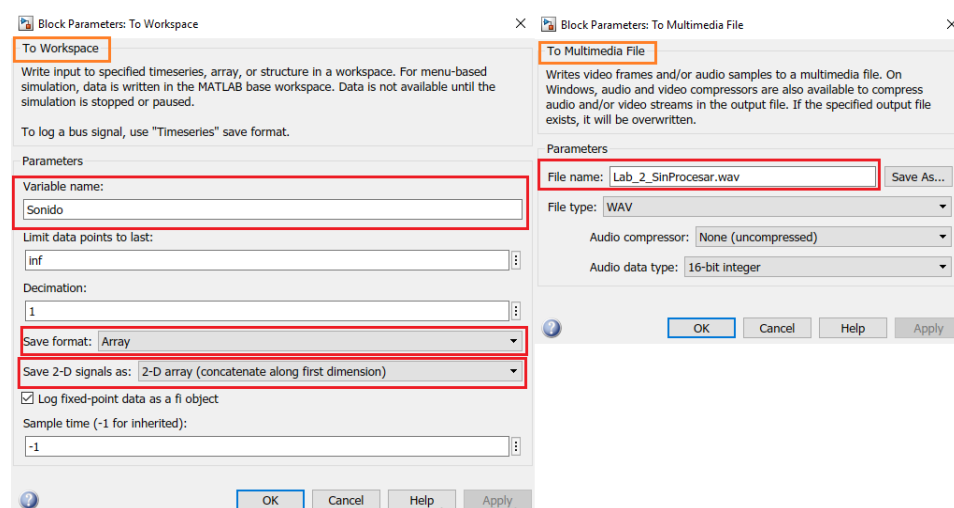
- Configurando el micrófono



● Buscando Bloque de to workspace y to multimedia file



● Configurando to workspace y Multimedia File



Ejercicio 1

Generar mediante la aplicación “*Generador de frecuencias*” un único tono sinusoidal de 600 Hz y luego capturar la señal mediante Matlab (Simulink) para calcular Espectrograma. Elija diferentes tipos de ventana , longitudes , puntos de la DFT y analice los resultados obtenidos y compárelos con los de la aplicación “*Spectroid*”.

Ejercicio 2

Generar mediante la aplicación “*Generador de frecuencias*” tres tonos sinusoidales de 400 Hz , 500 Hz y 600 Hz para luego capturar las señales mediante Matlab (Simulink) y calcular el Espectrograma. Elija diferentes tipos de ventana , longitudes , puntos de la DFT y analice los resultados obtenidos y compárelos con los de la aplicación “*Spectroid*”.

Ejercicio 3

Generar mediante la aplicación “*Generador de frecuencias*” una simulación de las teclas pulsadas en una llamada telefónica para luego capturar las señales mediante Matlab (Simulink) y calcular el Espectrograma. Elija diferentes tipos de ventana , longitudes , puntos de la DFT y analice los resultados obtenidos y compárelos con los de la aplicación “*Spectroid*”.

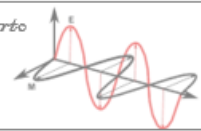
Aplicaciones de la transformada de Fourier dependiente del tiempo en Telecomunicaciones

Esta herramienta es muy útil para analizar las características espectrales de **señales moduladas** en el campo de las telecomunicaciones. En particular, la modulación engloba el conjunto de técnicas (Analógicas y Digitales) que se usan para transportar información sobre una onda portadora, típicamente una onda sinusoidal. De una forma muy sencilla, la modulación consiste en hacer que un parámetro de la onda portadora A (*amplitud*), f_o (*frecuencia*), θ (*fase*) cambie de valor de acuerdo con las variaciones de la señal moduladora $x(t)$, que es la información que queremos transmitir.

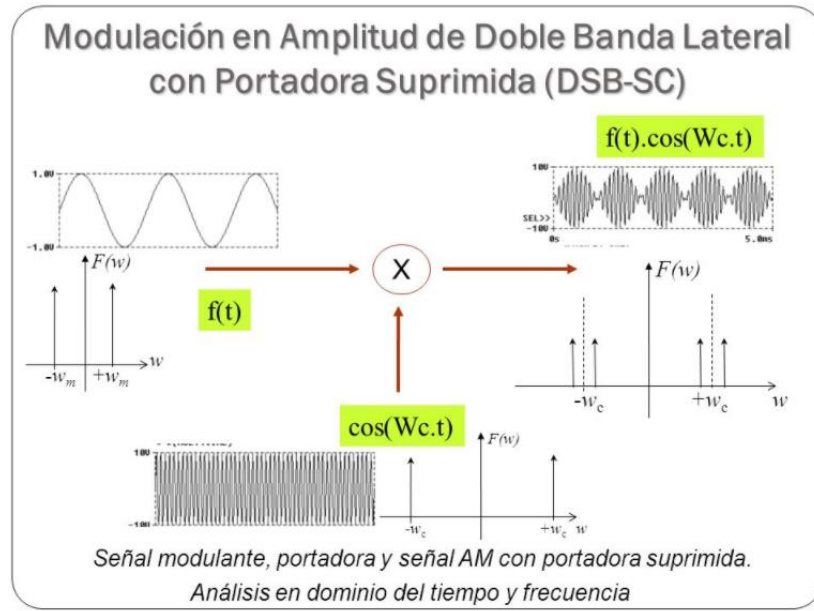
$$S_{port}(t) = A \cdot \cos(2\pi f_o t + \theta)$$

Así, dentro de las técnicas de modulación analógicas más sencillas de entender y estudiar se encuentra “Amplitud modulada”. Lo que significa que la información estará en la amplitud de la señal portadora y el resto de parámetros como frecuencia y fase se mantendrán constantes. Entonces, la señal modulada será:

$$S_{Mod}(t) = x(t) \cdot \cos(2\pi f_o t + \theta)$$

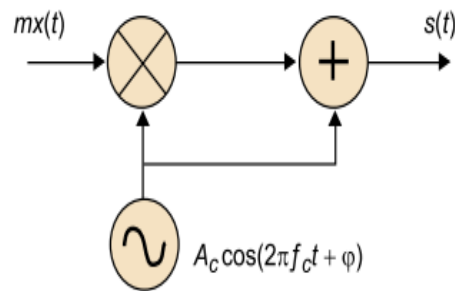
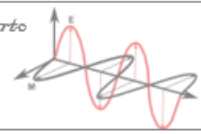


De análisis de señales sabemos que el producto de dos señales en el dominio temporal, implican una convolución en el dominio de la frecuencia. Por lo tanto, si la señal portadora es una señal sinusoidal, las características espectrales de la señal $x(t)$ se desplazarán, centrándose sobre la frecuencia instantánea de la señal portadora.



A este proceso de modulación se lo denomina “Modulación en Amplitud de Doble Banda Lateral con portadora suprimida” (AM- DBL-SC). ¿Qué significa portadora suprimida? Que no se transmite portadora en la forma de onda modulada.

Sin embargo, uno podría preguntarse: ¿Por qué transmitir portadora si no es información útil para el receptor? Porque la demodulación resultaría un proceso costoso, dificultoso y para nada rentable económicamente hablando, ya que se necesitaría la generación de la portadora en el receptor sin errores de frecuencia y con mínimos errores de fase, elevando los costos de los equipos asociados a los usuarios finales. Por lo tanto, se reemplazó la técnica de AM-DBL-SC (Modulación AM doble banda lateral con portadora suprimida) por AM-DBL-CP (Modulación AM doble banda lateral con portadora de alta potencia). Esta última técnica plantea que la señal modulada estará compuesta por dos señales RF. Una que contiene la información en su amplitud y otra que es precisamente la portadora sin modular. El transmitir esta señal que no contiene información, le permite al receptor facilitar la tarea de detección y demodulación.



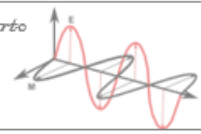
Entonces, ¿sería suficiente los conceptos de estimación espectral mediante DFT para analizar las características de esta técnica de modulación? No. Ya que la mayoría de las veces, la información está compuesta por señales cuyas características espectrales cambian en función del tiempo. Un claro ejemplo constituye una emisora AM. Si bien existe una portadora con características muy bien definidas, la voz del locutor en sus características espectrales presenta variaciones de un instante de tiempo a otro. Por lo tanto, un buen análisis espectral implicaría utilizar **la transformada de Fourier dependiente del tiempo**.



Para simplificar el análisis, consideremos la transmisión mediante código Morse. En sus comienzos, el alfabeto Morse se empleó en las líneas telegráficas mediante los tendidos de cable que se fueron instalando. Más tarde, se utilizó también en las transmisiones por radio, sobre todo en el mar y en el aire, hasta que surgieron las emisoras y los receptores de radiodifusión mediante voz.

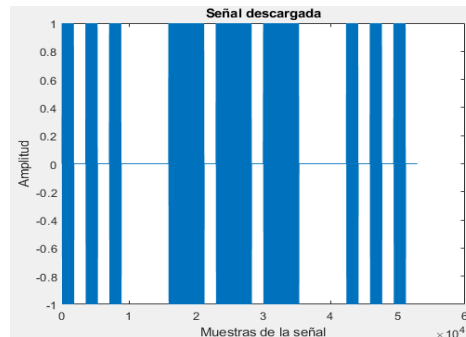
En la actualidad, el alfabeto Morse tiene aplicación casi exclusiva en el ámbito de los radioaficionados, así como también se utiliza en la aviación instrumental para sintonizar las estaciones VOR, ILS y NDB. En las cartas de navegación está indicada la frecuencia junto con una señal Morse que sirve, mediante radio, para confirmar que ha sido sintonizada correctamente.

Para codificar diferentes mensajes basados en código Morse, se recomienda visitar la siguiente página web: <https://morsedecoder.com/es/>. En ella, además de la generación de



información, se puede configurar varios de los parámetros asociados a la transmisión de información utilizando este sistema (Forma de onda a utilizar, duración temporal de la unidad mínima, Frecuencia).

Ejemplo de generación de señal:



¿Cómo funciona?

El punto es considerado en el código Morse como una unidad, que en tiempo equivale aproximadamente a 1/25 seg. La línea, en tiempo, equivale a tres puntos. Cada letra se separa por un silencio de tres puntos de duración, mientras que cada palabra se separa por cinco puntos.

El alfabeto y los números pueden codificarse como se muestra a continuación:

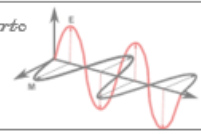
CÓDIGO

A . _
B _ . .
C _ . _ .
D _ . .
E _ . .
F . . _ .
G _ _ .
H _ . . .
I . .
J . _ _ _
K _ . _
L . _ . .
M _ _

N _ .
O _ _ _
P . _ _ .
Q _ _ _ .
R . _ .
S _ . . .
T _
U . . _
V _ . .
W . _ _

X _ . . _
Y _ . _ _
Z _ . . .
0 _ _ _ _
1 . _ _ _ _
2 . . _ _ _
3 _ _ _
4 _ . _ _
5 _ . . .
6 _ . . .
7 _ _ _
8 _ _ _ .
9 _ _ _ .

De esta forma es posible construir mensajes con información para transmitir por un canal de comunicación de una forma relativamente sencilla. Para entender el mensaje se podría recurrir a la herramienta espectrograma en lugar de permanecer sumamente atentos a la sucesión de puntos y líneas que se escuchan. ¿Qué resulta interesante de analizar? La variación en la duración del tono transmitido, ya que denotara la presencia de un punto o línea y las diferentes pausas o silencios. Ya que de ellos depende la información que se quiere



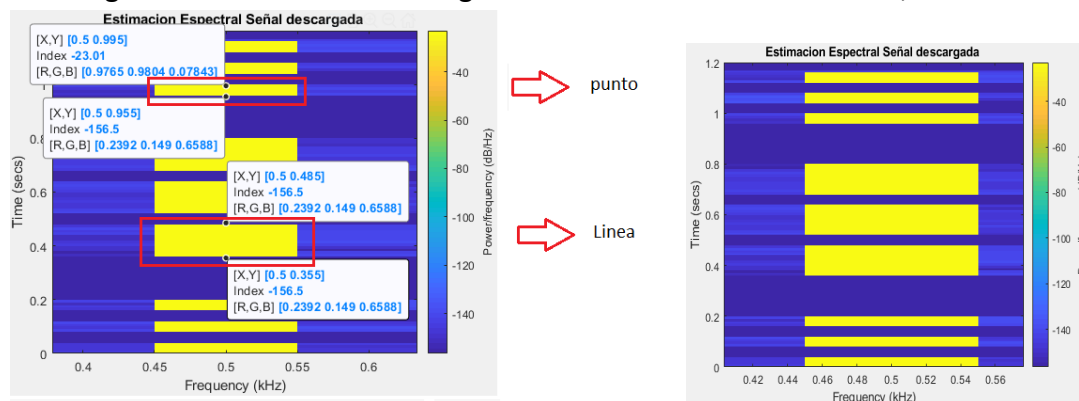
transmitir. ¿La frecuencia no es importante? Si lo es, pero para esta aplicación donde la única variación en frecuencia resulta ser la presencia o ausencia del tono, no es necesario una definición minuciosa en el dominio espectral. Estos datos son fundamentales para definir el tamaño de la ventana. Ya que no hay que olvidar que existe un *trade off* entre la resolución en tiempo y frecuencia.

Aclarado esto, es posible determinar que la duración de la ventana tiene que permitir una resolución temporal de por lo menos 0.04 seg/div para poder distinguir cambios precisos en el tiempo mediante el espectrograma. Para lograr dicha precisión primero hay que determinar qué frecuencia de muestreo se está utilizando. En función a ello, rápidamente se puede calcular que el tamaño máximo de la ventana como:

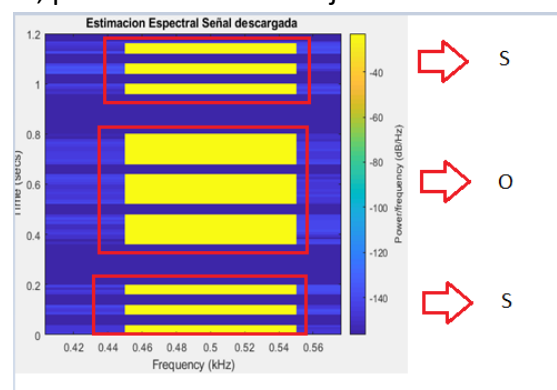
$$L = F_s * \frac{1}{25} [\text{muestras}]$$

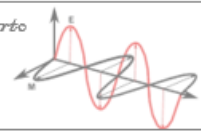
Esta ventana permitirá tener la mayor resolución en frecuencia y la menor resolución en tiempo necesaria para resolver el problema. Sin embargo, se podría elegir una ventana aún más pequeña para obtener mayor resolución temporal.

Si se realiza una estimación espectral sobre la señal presentada como ejemplo de generación de código Morse tomando una longitud de ventana de 441 muestras, se obtendrá:

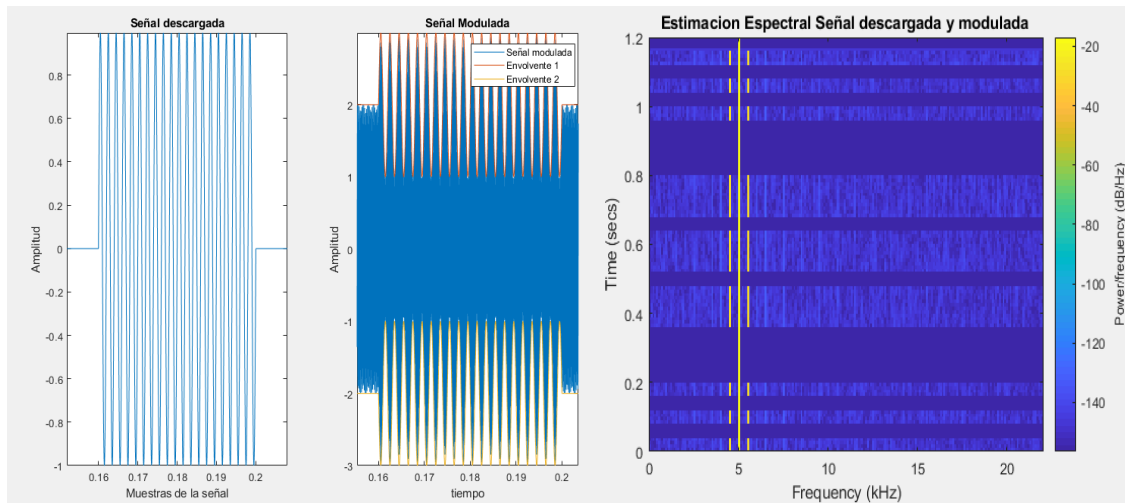


Esto permite rapidamente identificar que el mensaje que se quiso transmitir es: "... --- ...", donde según la tabla presentada anteriormente, "... " corresponde a la letra "S" y "---" corresponde a la letra "O", por lo tanto el mensaje es: "SOS"

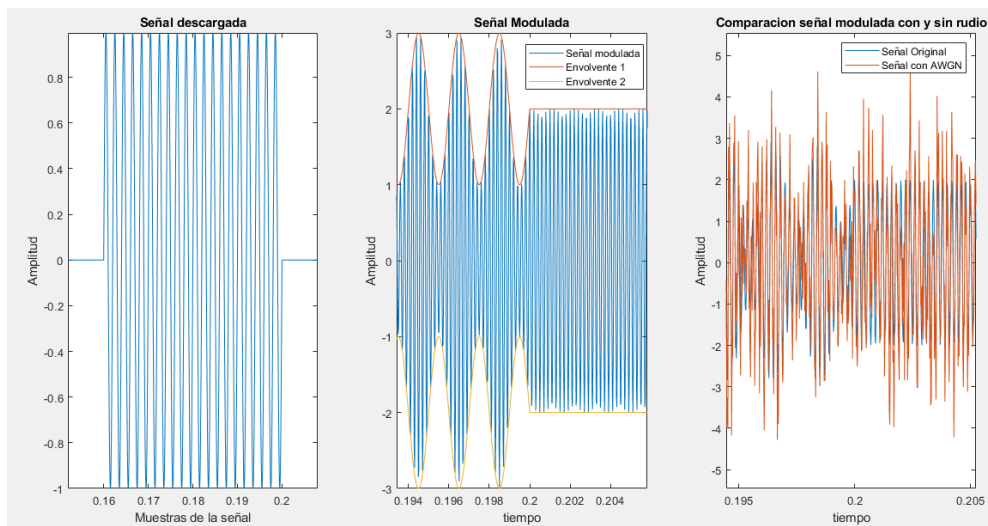




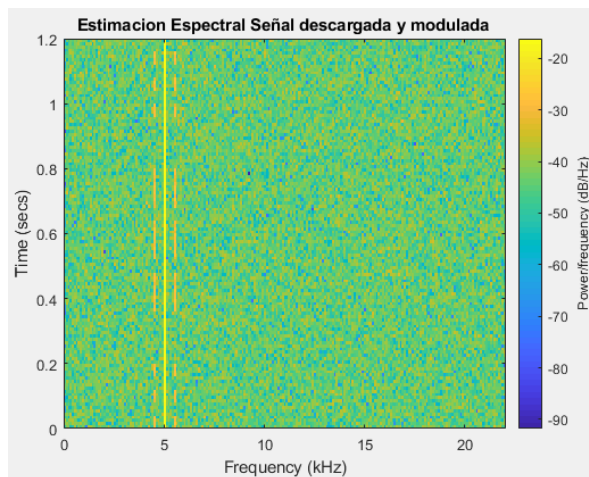
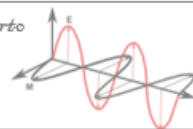
Finalmente, una vez realizado el análisis de la señal de información, se procede a realizar el proceso de modulación para lograr transmitir la información por el canal de comunicación.



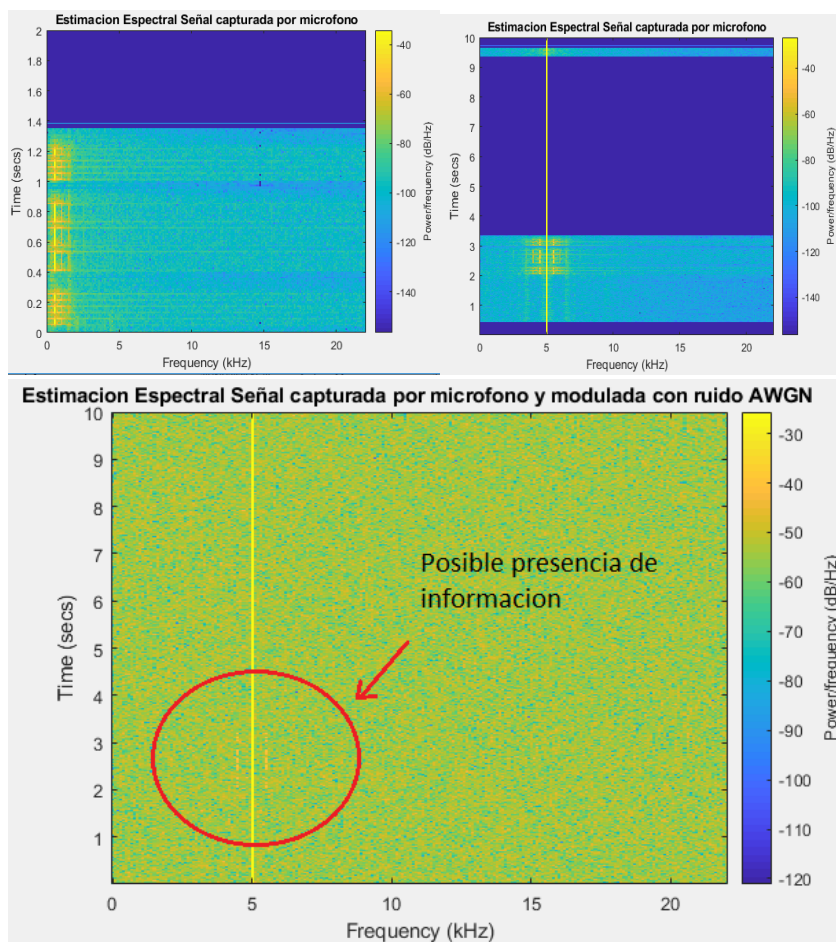
Sin embargo, la señal recibida a diferencia de la transmitida contiene ruido, definido como AWGN (Aditivo, Gaussiano y Blanco). Por lo tanto, es posible visualizar el siguiente escenario:

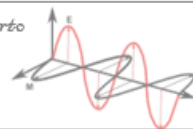


En este contexto, el análisis temporal sobre la señal recibida deja de tener sentido, ya que la presencia de mucho ruido hace imposible distinguir la señal de información. Mediante un análisis espectral, si bien resulta algo complejo, puede distinguirse las diferentes componentes espectrales y por lo tanto, obtenerse la información que se quiso transmitir. No es un detalle menor, que la facilidad para obtener la información está sumamente ligado a la relación señal a ruido (SNR) a las puertas del receptor. Mientras menor sea dicha relación, más difícil será identificar la información sumergida en ruido.



¿Qué ocurriría si en lugar de descargar el audio desde la página web, se decide grabarlo mediante un micrófono? *La señal de información sería capturada con ruido*, por lo tanto, el proceso de estimar la información a partir de la señal recibida que se encuentra modulada y contaminada de ruido AWGN sería aún más complejo.





Todas las imágenes expuestas en esta sección, provienen del script “Script_proc_Morse.m” (Modulación en amplitud con información codificada en morse).

Ejercicio

A partir del script “Generacion_Signal_Mod.m” presente en el material del laboratorio, deberá generar una señal modulada en amplitud con ruido AWGN que entregará a un compañero por elección para que mediante herramientas de estimación espectral descifre su mensaje. Para ello, el primer paso será generar una señal de información codificada en morse utilizando la página web <https://morsedecoder.com/es/>.

Opciones

| | | | |
|--------------------|------------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| Raya - | Punto . | Espacio / | Separador |
| Alfabeto Latino | Período de la unidad 0.04 | Frecuencia (Hz) 1000 | Forma de onda Sinusoidal |

↓
Parametros que debe elegir

Elija el mensaje y los parámetros (Frecuencia de la señal y duración temporal de la unidad mínima) que crea adecuados para darle cierta complejidad a la estimación espectral. El siguiente paso, será descargar dicha señal como un archivo de extensión “.wav”, colocarlo en la misma carpeta donde se encuentra el script mencionado anteriormente y cambiarle el nombre para que no resulte evidente el mensaje que quiere transmitir.

Dicha denominación será importante porque es una de las configuraciones del script “Generacion_Signal_Mod.m” definida en la variable **filename_in**. También, deberá definir en la variable **filename_out**, el nombre del archivo de audio resultante del script, que posteriormente le entregará a alguno de sus compañeros.

```
filename_in='Audio_a_modular.wav'; %----->Nombre del archivo que contiene informacion, ne
filename_out='Audio_procesado.wav'; %----->Nombre del archivo sobre el que van a grabar la
fp=5000; %----->Frecuencia portadora para generar la modulacion
m=0.5; %----->Indice de modulacion, valores de m: m>0 y m<=1
SNR=10; %----->Relacion señal a ruido, variable que permite co
           %Valores: SNR>0 y SNR<50
Mod_and_Noise(filename_in,filename_out,fp,m,SNR)
```

Como puede observar, no son las únicas variables a configurar, ya que deberá especificar el índice de modulación definido en la variable **m**, la frecuencia de la señal portadora definida como **fp** y la relación señal a ruido definida como **SNR**.

Ingeniería en Telecomunicaciones

Sistemas y Señales II

Versión 13

Universidad Nacional de Río Cuarto

Facultad de Ingeniería

Laboratorio N° 4

