

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA MODULACIÓN MSK Y GMSK

Trabajo Preparatorio N°2
Laboratorio de Comunicación Digitales-GR3

1st Melanny Dávila

Ingeniería en Telecomunicaciones
Facultad de Eléctrica y Electrónica
Quito, Ecuador
melanny.davila@epn.edu.ec

2nd Ronaldo Almachi

Ingeniería en Telecomunicaciones
Facultad de Eléctrica y Electrónica
Quito, Ecuador
ronaldo.almachi@epn.edu.ec

Abstract—En este documento vamos a revisar conceptos referentes a la modulación digital MSK y GMSK, como son sus características de modulación, probabilidad de errores, adición del ruido AWGN. Para poder analizar todos estos parámetros vamos a realizar scripts en Matlab usando el toolbox de comunicaciones, para hacer uso de esta herramienta vamos a hacer un repaso de cuales son las funciones u objetos que necesitemos describiendo sus principales características, este toolbox no hace otra cosa sino facilitarnos el análisis ya que la mayoría de sus parámetros vienen predefinidos y únicamente cambiaríamos los parámetros solicitados e ingresaríamos los datos deseados.

Index Terms—MSK, GMSK, diagrama de ojo, PSD, SNR

I. INTRODUCCIÓN

La MSK es una técnica de modulación digital que se puede considerar como una variación de la FSK lo que nos indica que la fase de la señal debe ser continua y con un cambio de fase mínimo de 180 grados, siendo la característica principal que su índice de modulación debe ser valor único de 0,5; en base esto presenta una serie de ventajas como su inmunidad al ruido en amplitud, buena sincronización y su ancho de banda es menor comparada a otras técnicas de modulación del mismo tipo, a pesar de esto los errores no son inevitables un ejemplo sencillo sería el efecto que tiene el ruido AWGN sobre la modulación. Para mejorar esta deficiencia se tiene una variación que intenta corregir este efecto. La modulación GMSK que no es mas que la señal modulada por MSK pasada por un filtro gaussiano, esto con el objetivo de reducir el ancho de banda donde se encuentra el ruido afecta a la señal. Una herramienta que nos permite ver como cambia el ancho de banda de GMSK con respecto a MSK es el diagrama de ojo y la densidad espectral, para que estas apreciaciones resulten de fácil de análisis vamos a usar funciones proporcionadas por el toolbox de comunicaciones que nos ofrece Matlab, pues la herramienta ya mencionada ofrece un catalogo extenso para el uso y comparación de diversas modulaciones .

II. OBJETIVOS

- Familiarizar al estudiante con el funcionamiento de las técnicas de modulación digital MSK y GMSK

- Comparar las modulaciones MSK y GMSK empleando diagramas del ojo.

III. PREGUNTAS

A. Revisar los conceptos de la modulación digital MSK y GMSK, e identificar las ventajas y desventajas de cada modulación.

MSK.

La modulación MSK (Minimum shift keying) es una forma de transmisión cuando se desplaza la frecuencia de fase continua. Simplifica considerablemente la circuitería sin sacrificar el rendimiento. Cuando la relación entre la frecuencia portadora y la velocidad binaria es alta. [1]

Es importante mencionar que el índice de modulación es de 0.5, el mismo que corresponde con el mínimo espacio en frecuencia que se permite entre dos señales ortogonales coherentes. Se puede mencionar las siguientes ventajas.

- MSK tiene amplitud constante.
- La continuidad de fase en los periodos de transición de bits se asegura escogiendo la frecuencia de la portadora como un múltiplo entero de un cuarto de la tasa de bit.
- La fase de la señal MSK varía linealmente durante el transcurso de cada período de bit.
- Es más inmune al ruido, ya que la mayoría se basan en la amplitud del ruido, y tiene capacidad de auto-sincronización.
- Como no hay discontinuidades de fase, se reduce significativamente el ancho de banda necesario para transmitir en comparación a otras formas de modulación por desplazamiento de fase y frecuencia. [2]

En cambio, la principal desventaja se presenta continuación:

En este tipo de modulación producen varias bandas laterales indeseadas, que ensanchan el espectro de la señal. Si se utiliza MSK filtrada con filtros pasa banda, para eliminar las

bandas laterales indeseadas, la fase de la portadora no varía exactamente en 90° y la amplitud no se mantiene constante. [3]

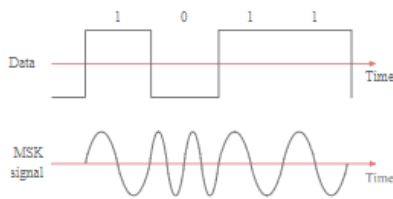


Fig. 1. Modulación MSK

GMSK.

La modulación GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) es usada ampliamente en aplicaciones celulares y PCs. El popular sistema GSM utiliza GMSK. Una de las consideraciones importantes en el uso de la modulación es la densidad espectral de potencia promedio (PSD) [4]. GMSK difiere de MSK en que se utiliza un filtro gaussiano de un ancho de banda apropiado antes de la etapa de modulación [5]

Las ventajas principales son las siguientes:

- Optimiza el uso del ancho de banda debido a que emplea un filtro Gaussiano.
- Se trata de una técnica que consigue suavizar las transiciones de fase entre estados de la señal, consiguiendo por lo tanto reducir los requerimientos de ancho de banda.
- Mejora la eficiencia espectral de mejor manera que el BER.
- La principal ventaja de GMSK es la eficiencia espectral mejorada y la amplitud constante.
- Se reduce la resistencia a la interferencia de la señal [6].

Principales siguientes desventajas:

- Una de las dificultades que presenta esta modulación es la complejidad de realizar tal esquema de modulación.
- No tiene tanta inmunidad al ruido como MSK y es complejo de implementar [7].

B. Consultar las características de los objetos *comm.MSKModulator*, *comm.GMSKModulator*, *eyediagram* y de las funciones *kron* y *pwelch* de Matlab.

Objeto *comm.MSKModulator*

Características:

- Este objeto modula utilizando el método de modulación por desplazamiento mínimo, MSK.
- La salida es una representación de banda base de la señal modulada. La propiedad de desplazamiento de fase inicial establece la fase inicial de la forma de onda de salida, medida en radianes.

Formas de llamar a la función:

- $H = \text{comm.MSKModulator}$ crea un objeto del sistema modulador, H Este objeto modula la señal de entrada

utilizando el método de modulación de desplazamiento mínimo (MSK).

- $H = \text{comm.MSKModulator}(\text{Name}, \text{Value})$ crea un objeto modulador MSK, H , con cada valor especificado [8].

Objeto *comm.GMSKModulator*

Características:

- Modula utilizando el método de codificación de desplazamiento mínimo gaussiano. La salida es una representación de banda base de la señal modulada.

Formas de uso:

- $H = \text{comm.GMSKModulator}$ crea un objeto del sistema modulador, H Este objeto modula la señal de entrada utilizando el método de modulación GMSK.
- $H = \text{comm.GMSKModulator}(\text{Name}, \text{Value})$ crea un objeto modulador GMSK, H. Este objeto tiene un valor especificado para cada uno de sus argumentos [9].

Objeto *eyediagram*

Características:

- *eyediagram* (x, n) genera un diagrama de ojo para la señal x, trazando n muestras en cada traza. El rango en eje horizontal del diagrama varían entre $-1/2$ y $1/2$. La función asume que el primer valor de la señal y cada enésimo valor posterior, ocurren en tiempos enteros.
- *eyediagram* (x, n, period) establece al eje horizontal en el rango entre $-\text{period}/2$ a $\text{period}/2$.
- *eyediagram* (x, n, period, offset) especifica el desplazamiento para el diagrama del ojo. La función asume que el valor (offset + 1) de la señal y cada enésimo valor a partir de entonces, ocurren en momentos que son múltiplos enteros de período.
- *eyediagram* (x, n, period, offset, plotstring) especifica los atributos de trazado para el diagrama del ojo.

Función *kron*

Características:

- Devuelve el producto tensor de Kronecker de A y B (matrices). El resultado es una gran matriz formada tomando todos los productos posibles entre los elementos de X y los de Y [11].

Función *pwelch*

Características:

- Es la estimación de densidad espectral de potencia de Welch.
- $\text{pxx} = \text{pwelch}(x)$ devuelve la estimación de densidad espectral de potencia (PSD), de la señal de entrada, que se encuentra utilizando el estimador de promediación de segmento superpuesto de Welch.pxx.
- Cuando es un vector, se trata como un solo canal "x". Cuando es una matriz, el PSD se calcula de forma independiente para cada columna y se almacena en la columna correspondiente de .pxxx [12].

C. Codificar un script en Matlab que permita observar la modulación MSK y GMSK en el tiempo de acuerdo al grupo de laboratorio.

- 1) GR.1: 1 0 1 0 0 1 1 1
- 2) GR.2: 0 0 1 1 1 0 1 0
- 3) GR.3: 1 0 0 0 1 0 1 1

A continuación se presenta el script realiza la modulación MSK y GMSK para 1 0 0 0 1 0 1 1

```

1  clc;
2  clear all;
3  close all;
4  datos = [ 1 0 0 0 1 0 1 1];
5  %cadena de bits a modular
6  f0 = 1.5;
7  %frecuencia 1 para 0 logico
8  f1 = 2;
9  %frecuencia 2 para 1 logico
10 t=0:2*pi/99:2*pi;
11 %vector de tiempo
12 cp=[];
13 %creacion de un vector vacio
14 mod=[];
15 %creacion de un vector que obtiene los
    valores de modulación vacio
16 bit=[];
17 %creacion de un vector vacio para bits
18
19 %asignacion de matrices
20 %bucle de repeticion para
21 %asignar los valores correctos
22 for n=1:length(datos);
23     %recorre todo el vector de datos
24
25     if datos(n)==0;
26         %si la componente n de los datos
            es 0 se
27         %realizan las siguientes
            comparaciones
28
29         die=ones(1,100);
30         %creacion de un vector de 100
            componentes
31         if n == 2;
32             %si el segundo dato es 0, se
                asigna la
33             %siguiente forma de onda
34             c=sin(f0*t);
35         elseif n == 3;
36             %si el tercer dato es 0, se
                asigna la
37             %siguiente forma de onda,
                cambio de fase
38             c=-sin(f0*t);
39         elseif n == 4;
40             %si el cuarto dato es 0, se

```

```

    %vuelve a cambiar la fase
    c=sin(f0*t);
    elseif n == 6;
        %Si el 6to dato es 0, se
            vuelve a
        %cambiar la fase
        c=-sin(f0*t);
    end
    se=zeros(1,100);

    else datos(n)==1;
        %si un dato es 1 ingresa a esta
            seccion
        die=ones(1,100);
        if n == 1;
            %si el primer dato es 1,
                tendra
            %siguiente forma de onda
            c=sin(f1*t);
        elseif n == 5
            %si el quinto dato es 1, se
                tiene
            %un cambio de fase en la
                senal
            c=-sin(f1*t);
        elseif n == 7;
            %si el septimo dato es 1, se
                cambia
            %nuevamente la fase
            c=sin(f1*t);
        end
        se=ones(1,100);
    end

    cp=[cp die];
    mod=[mod c];
    bit=[bit se];
    %se guardan los valores obtenidos
    %en las comparaciones anteriores
end
msk=cp.*mod;
%creacion de la matriz
%de modulación

%grafica de los datos
subplot(2,1,1);
plot(bit, 'LineWidth',1.5);
grid on;
title('Senal de entrada');
axis([0 100*length(datos) -1.5 1.5]);

%grafica de la senal modulada
subplot(2,1,2);
plot(msk, 'LineWidth',1.5);
grid on;
title('Modulacion MSK');
axis([0 100*length(datos) -1.5 1.5]);

```

Dicho script da como resultado la figura 2.

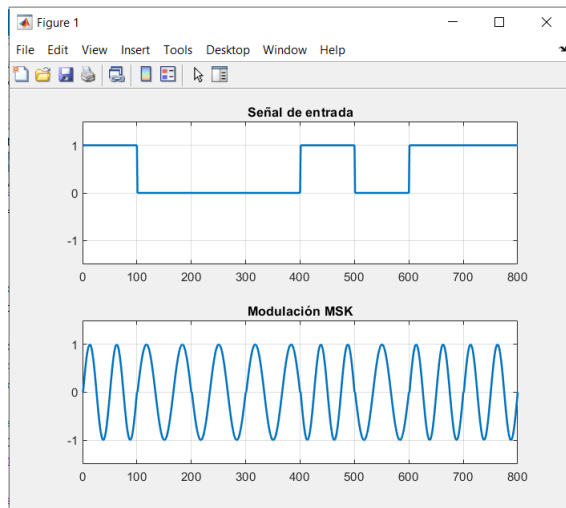


Fig. 2. Modulación MSK obtenida con el script

Para la modulación GMSK, la señal resultante es prácticamente la misma ya que el efecto del filtro gaussiano se puede apreciar mejor en el espectro de señal.

D. Codificar un script empleando los objetos comm.MSKModulator y comm.GMSKModulator, que permitan observar el diagrama de ojo de los símbolos MSK y GMSK, transmitidos a través de un canal AWGN.

- 1) GR.1: SNR=10dB.
- 2) GR.2: SNR=13dB.
- 3) GR.3: SNR=15dB.

Ambos scripts, MSK y GMSK, se realizarán con un valor de relación señal a ruido de 15 dB.

El siguiente script muestra el diagrama de ojo de la modulación MSK:

```
1 %% MSK
2 clc
3 clear all
4 close all
5 datos=randi([0 1], 1000,1);
6 %vector aleatorio de 1000 datos, entre 1
  y 0
7 msk=comm.MSKModulator('BitInput',true);
8 %creacion del objeto MSKModulator
9 SMSK=msk(datos);
10 %Modulacion de los datos con MSK
11 SAWGN=awgn(SMSK,15);
12 %Paso de los datos modulados a traves de
  un
13 %canal AWGN, con SNR=15dB
14 eyediagram(SMSK,100);
15 %Diagrama de ojo de los datos modulados
  con GMSK
```

```
16 eyediagram(SAWGN,100);
17 %Diagrama de ojo de los datos a traves de
  un canal
18 %AWGN
```

Como resultado se obtiene:

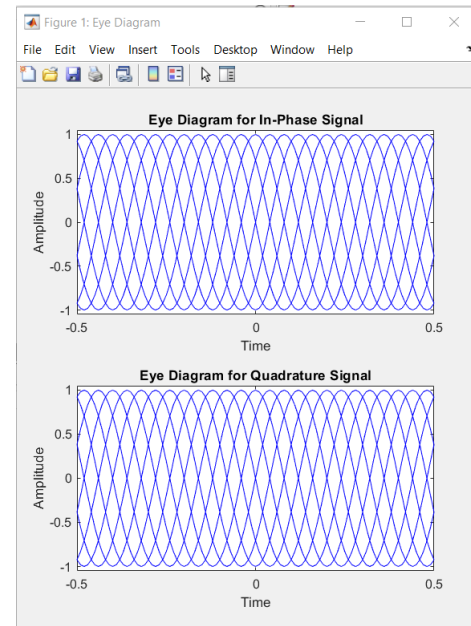


Fig. 3. Diagrama de ojo de la señal modulada

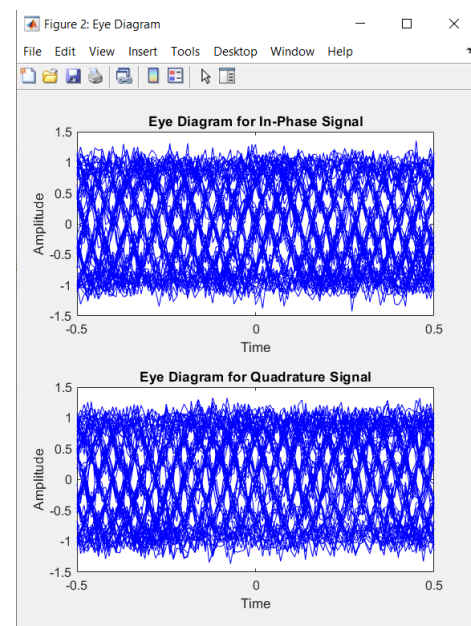


Fig. 4. Diagrama de ojo de la señal AWGN

El siguiente scrip muestra el diagrama de ojo de la modulación GMSK:

```

1 %% GMSK
2 clc
3 clear all
4 close all
5 datos=randi([0 1], 1000,1);
6 %vector aleatorio de 1000 datos, entre 1
  y 0
7 gmsk=comm.GMSKModulator('BitInput',true);
8 %creacion del objeto GMSKModulator
9 SGMSK=gmsk(datos);
10 %Modulacion de los datos
11 SAWGN=awgn(SGMSK,15);
12 %Paso de los datos modulados a traves de
  un
13 %canal AWGN, con SNR=15dB
14 eyediagram(SGMSK,100);
15 %Diagrama de ojo de los datos modulados
  con GMSK
16 eyediagram(SAWGN,100);
17 %Diagrama de ojo de los datos a traves de
  un canal
18 %AWGN

```

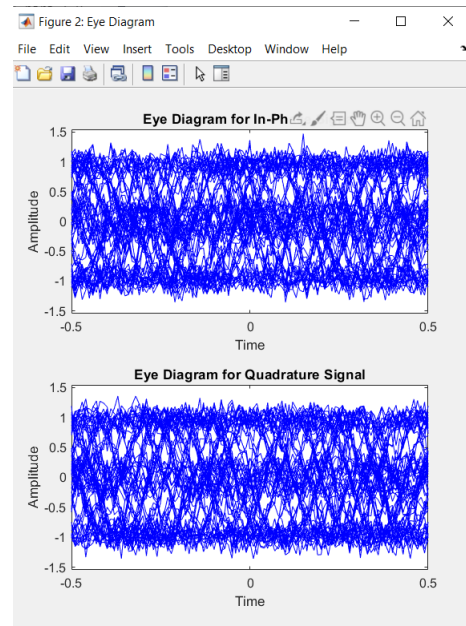


Fig. 6. Diagrama de ojo de la señal AWGN

Como resultado se obtiene:

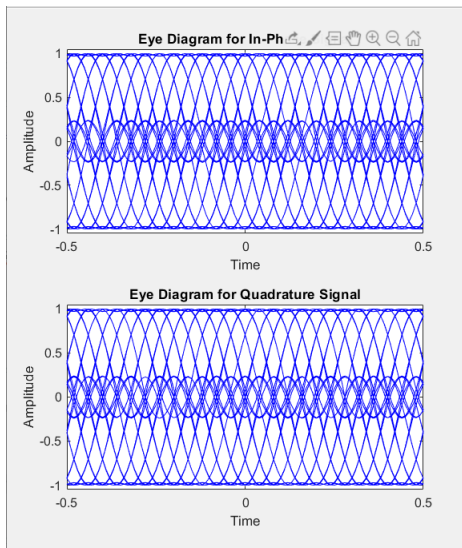


Fig. 5. Diagrama de ojo de la señal modulada

E. Codificar un script que permita mostrar la Densidad Espectral de Potencia en base a lo solicitado en D

```

1 clc;
2 clear all;
3 close all;
4 fs = 1000000;
5 %frecuencia de muestreo
6 SNR=15;
7 datos = randi([0 1],1000,1);
8 %datos de la se al
9
10 %PDS de MSK
11 modMSK = comm.MSKModulator('BitInput',
  true,'SamplesPerSymbol',8);
12 %creacion del objeto MSKModulator
13 txsig = step(modMSK,datos);
14 %Modulacion MSK
15 rxsig = awgn(txsig,SNR, 'measured');
16 %ruido gaussiano
17 [pxx,f] = pwelch(rxsig,[],[],[],fs, '
  centered');
18 %calculo de la PDS
19
20 %PDS de GMSK
21 modGMSK = comm.GMSKModulator('BitInput',
  true,'PulseLength',3,'SamplesPerSymbol
  ',8);
22 txsig2 = step(modGMSK,datos);
23 %Modulacion GMSK
24 rxsig2 = awgn(txsig2,SNR, 'measured');
25 %ruido gaussiano
26 [pyy,f] = pwelch(rxsig2,[],[],[],fs, '
  centered');
27 %calculo de la PDS

```

```

28
29 figure(1)
30 plot(f,pow2db(pxx),'r')
31 %transforma a dB
32 hold on;
33 grid on;
34 figure(1)
35 plot(f,pow2db(pyy),'b')
36 %transforma a dB
37 title('Densidad Espectral de potencia MSK
    vsGMSK');
38 xlabel('Frecuencia (Hz)');
39 ylabel('Potencial Espectral')
40 legend({'MSK','GMSK'},'Location','
    northwest')

```

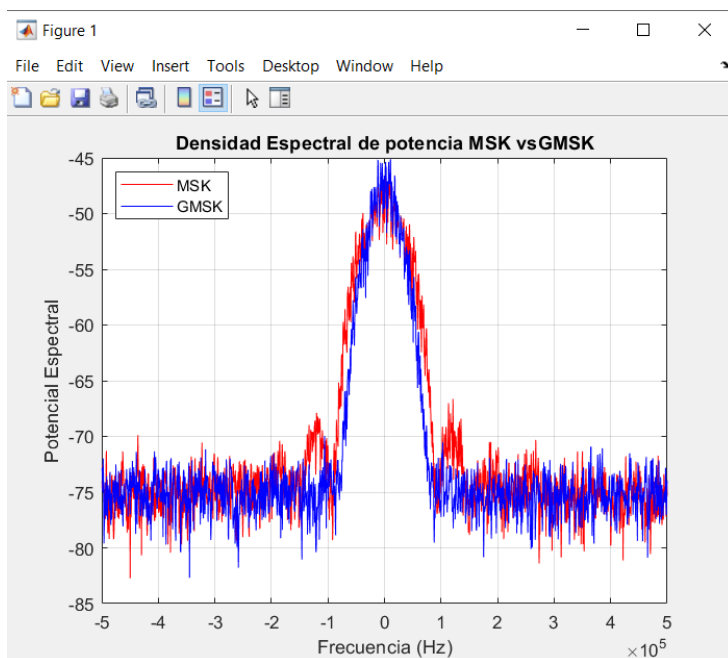


Fig. 7. PDS de MSK vs GMSK

REFERENCES

- [1] K. Iwashita y T. Matsumoto, "Modulation and detection characteristics of optical continuous phase FSK transmission system", *Journal of Lightwave Technology*, vol. 5, n.º 4, pp. 452-460, abr. 1987, doi: 10.1109/JLT.1987.1075546.
- [2] "What is MSK: Minimum Shift Keying Modulation Electronics Notes". <https://www.electronics-notes.com/articles/radio/modulation/what-is-msk-minimum-shift-keying.php> (accedido jun. 20, 2020).
- [3] "msk — Ingeniería Electrónica — Transmisión de datos." [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/144197589/msk> (accedido jun. 20, 2020).
- [4] T. Turetti, "GMSK in a nutshell", Abril 1996. Laboratory for Computer Science. Massachusetts Institute of Technology. Telemedia Networks and Systems Group LCS, MIT-TR. 1996 Apr.
- [5] K. Kuchi y V. K. Prabhu, "Power spectral density of GMSK modulation using matrix methods", en *MILCOM 1999. IEEE Military Communications. Conference Proceedings (Cat. No.99CH36341)*, oct. 1999, vol. 1, pp. 45-50 vol.1, doi: 10.1109/MILCOM.1999.822640.
- [6] "FSK, GFSK, MSK, GMSK y otros modos." [En línea]. Disponible en: <http://signals.radioscanner.ru/info/item67/> (accedido jun. 21, 2020).
- [7] J. M. Torres Nova y H. Paz Penagos, "Studying and comparing spectrum efficiency and error probability in GMSK and DBPSK modulation schemes", *Ingeniería e Investigación*, vol. 28, n.º 3, pp. 75-80, dic. 2008.
- [8] "Modulate using MSK method - MATLAB - MathWorks América Latina". [En línea]. Disponible en: <https://la.mathworks.com/help/comm/ref/comm.mskmodulator-system-object.html#bsnfizm-2-1> (accedido jun. 21, 2020).
- [9] "Modulate using GMSK method - MATLAB - MathWorks América Latina". [En línea]. Disponible en: <https://la.mathworks.com/help/comm/ref/comm.gmskmodulator-system-object.html> (accedido jun. 21, 2020).
- [10] "Generate eye diagram - MATLAB eyediagram - MathWorks América Latina". [En línea]. Disponible en: <https://la.mathworks.com/help/comm/ref/eyediagram.html> (accedido jun. 21, 2020).
- [11] "kron (MATLAB Functions)". [En línea]. Disponible en: <http://www.ece.northwestern.edu/local-apps/matlabhelp/techdoc/ref/kron.html> (accedido jun. 21, 2020).
- [12] "Estimación de densidad espectral de potencia de Welch - MATLAB pwelch - MathWorks América Latina". [En línea]. Disponible en: <https://la.mathworks.com/help/signal/ref/pwelch.html> (accedido jun. 21, 2020).