

Práctica 2: PSD DE SEÑALES ALEATORIAS

JUAN DIEGO PEÑA SALINAS - 2195587

MILLER STEVEN GAMBA ARIZA - 2195584

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Universidad Industrial de Santander

20 de septiembre de 2023

RESUMEN

En la práctica de laboratorio se realizó un análisis profundo de la densidad espectral de potencia, gracias al software GNURADIO podemos explorar a fondo los fundamentos de la densidad espectral de potencia. Una vez hecho esto comenzamos a producir combinaciones con los bloques en GNURADIO con tal de conseguir una aplicación en específico.

Palabras clave: señales aleatorias, densidad espectral de potencia, resolución espectral, lóbulos.

1. INTRODUCCIÓN

La densidad espectral de potencia se define como una métrica que caracteriza la distribución de la energía de una señal en relación con su frecuencia, lo cual es de suma importancia para adquirir conocimientos en la construcción de sistemas de comunicación y el procesamiento de señales en una variedad de campos.

Una de las soluciones más destacadas para explorar y aplicar la densidad espectral de potencia en el ámbito de la radio definida por software (SDR) es GNURADIO. GNURADIO brinda utilidades para la creación, simulación y evaluación de sistemas de comunicación y el procesamiento de señales. En este contexto, GNURADIO proporciona la habilidad para visualizar y ajustar la DSP de señales de radio,

lo cual es fundamental para la concepción y el análisis de sistemas de comunicación, así como para experimentar con tecnologías SDR.

En el campo del trabajo moderno es de suma importancia tener claros los conceptos de densidad espectral de potencia, en el ámbito de las comunicaciones es utilizada para mejorar la calidad de las llamadas y detección de interferencias. Es utilizado para analizar y procesar señales de tipo radar para determinar velocidad y distancia. En el ámbito de las redes de datos y la comunicación a través de fibra óptica, la Densidad Espectral de Potencia se convierte en una herramienta crítica para el tratamiento y el perfeccionamiento de las señales ópticas. Esta tecnología es esencial para la optimización de la transmisión de datos a través de fibras ópticas, lo que tiene un impacto directo en la eficiencia y la confiabilidad de las redes de comunicación.

La DSP en sistemas de fibra óptica implica analizar y gestionar las propiedades de las señales ópticas que viajan a través de las fibras. Esto abarca aspectos como la atenuación de la señal, la dispersión y la potencia de la señal en diferentes longitudes de onda. Al aplicar técnicas de DSP, se puede compensar eficazmente la atenuación y la dispersión de la señal, lo que permite una transmisión de datos a larga distancia sin degradación significativa.

Uno de los aspectos más destacados de la DSP en este contexto es su capacidad para mejorar la confiabilidad de la comunicación. Al eliminar o reducir la interferencia y el ruido en las señales ópticas, la DSP contribuye a minimizar la pérdida de datos y los errores de transmisión. Esto es particularmente crucial en aplicaciones críticas como las redes de telecomunicaciones, donde la integridad de la información transmitida es de suma importancia.

A manera de profundizar la densidad espectral de potencia representa una herramienta de gran relevancia en una amplia gama de campos profesionales, que abarcan desde la ingeniería de comunicaciones y las telecomunicaciones hasta el procesamiento de señales de audio y video, pasando por la instrumentación electrónica, las infraestructuras de redes de datos y la aplicación en el ámbito médico. Gracias a su capacidad de analizar minuciosamente y mejorar la distribución de la energía de una señal en relación con su frecuencia.

De manera específica, en el contexto de las redes de datos y la transmisión por medio de fibras ópticas, la DSP actúa como un componente esencial para superar retos sustanciales, como la atenuación y la dispersión de señales en las fibras ópticas, lo que en última instancia contribuye a salvaguardar la integridad de los datos transmitidos y a potenciar las tasas de transferencia de información.

Figura 2. Ejemplo del diagrama de bloques en GNURADIO.

Figura 3. Ejemplo de ejecución de un diagrama de bloques.

2. PROCEDIMIENTO

Para iniciar con esta práctica se creó una nueva rama en Github para almacenar todo lo que se va a realizar a lo largo de este laboratorio. Ahora con el flujograma randomayrectsignal.grc analizamos una señal bipolar aleatoria y miraremos el funcionamiento en el dominio del tiempo y de la frecuencia.

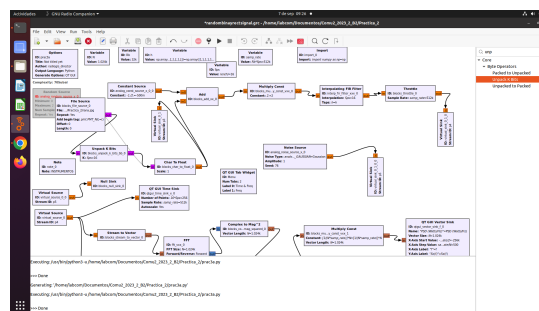


Figura 1. Esquema usado para la práctica 2 en GNU Radio.

La densidad espectral de potencia es fundamental para las comunicaciones, sabiendo esto surge la necesidad. Con este laboratorio se busca abarcar esta necesidad. Para el comienzo del laboratorio se varió el tamaño del vector h con el fin de obtener varios tipos de señales binarias aleatorias binarias.

Se analiza el comportamiento de la PSD para esto es necesario configurar el bloque virtual source de "arriba" para que aparezca p_4 y p_5 en el bloque virtual source de "abajo" como se ve en la figura 2.

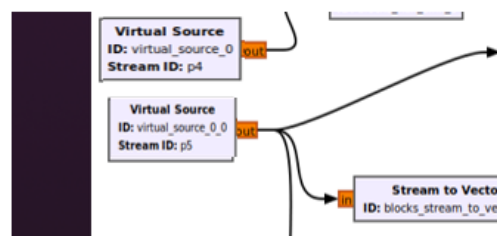


Figura 2. Configuración de los bloques virtual source.

El comportamiento de la PSD varía dependiendo de la longitud del vector h que se haya establecido en la figura 3 podemos ver como se ve la PSD de una señal bipolar aleatoria cuando se configura una longitud de vector de 1.

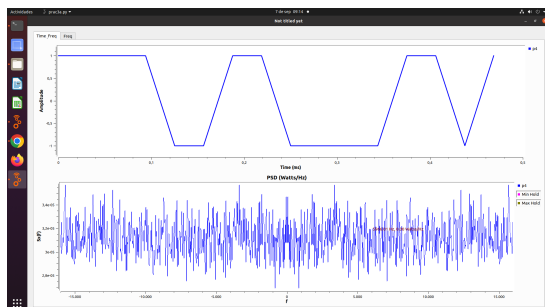


Figura 3. PSD de una señal binaria aleatoria con vector de 1 dato.

En la imagen tres podemos observar que la información que nos proporciona la PSD es casi nula, es simplemente ruido.

Ahora se utilizaron también longitudes de vector de 4,8 y 16 en las figuras 4,5,6 se puede ver la PSD respectiva de cada longitud de vector h .

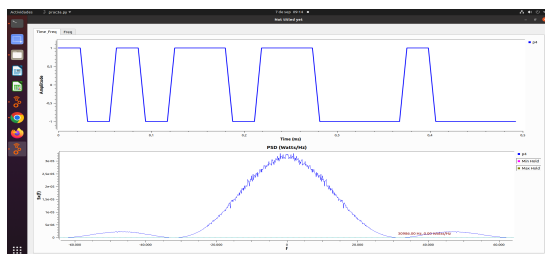


Figura 4. PSD de un vector de longitud de $h=4$.

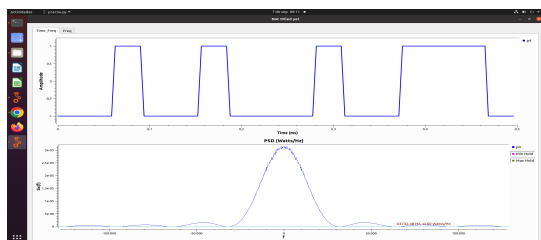


Figura 5. PSD de un vector de longitud de $h=8$.

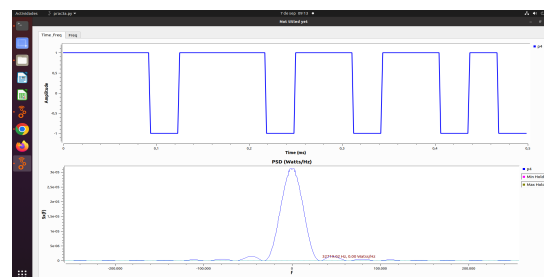


Figura 6. PSD de un vector de longitud de $h=16$.

Podemos mirar que a medida que aumentamos la longitud del vector h la PSD sigue una tendencia a tener una mejor aproximación de la gráfica que encontramos de manera teórica.

Una vez analizada la señal binaria bipolar aleatoria se procede a estudiar una señal de la vida real como lo es una fotografía por lo que tenemos que cambiar la fuente de un "Random source" por un archivo en formato jpg.

Se realizan varias pruebas para poder obtener la información suficiente para sacar conclusiones acerca de lo que vemos en la PSD

A medida que aumentamos la longitud del vector h podemos apreciar que la relación señal a ruido es mayor por lo que podemos diferenciar de mejor manera los lóbulos o pulsos generados en la PSD como lo podemos ver en la figura 7.

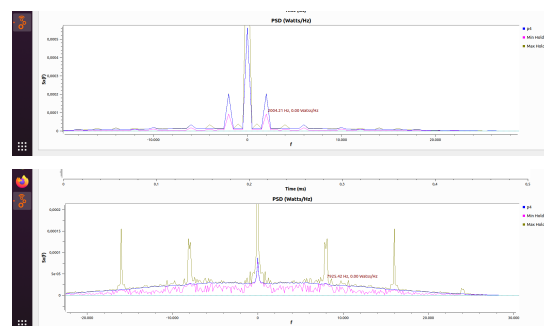


Figura 7. Comparación entre la PSD de longitud 16 y de longitud 4.

Tanta es la diferencia entre una señal y otra que cuanto tenemos una longitud de 4 es

necesario activar la función “max hold” para poder diferenciar en donde se encuentran los lóbulos de la PSD.

Finalmente para seguir trabajando con señales reales esta vez se analizarán las señales generadas por un micrófono por lo que la fuente esta vez será un audio en formato wav y se realizará el mismo procedimiento que se siguió con la señal tipo jpg.

Analizando la señal en el dominio del tiempo y de la frecuencia se obtienen los resultados presentes en las figuras 8,9,10 y 11

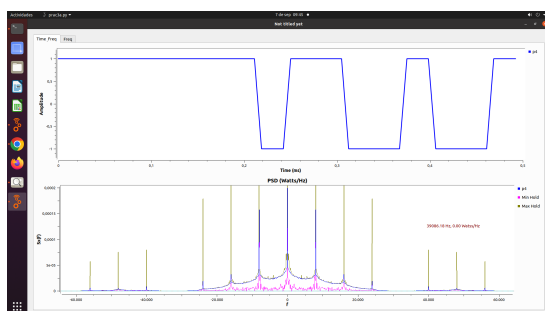


Figura 8. Señal en el tiempo y PSD de un audio con longitud de vector $h=4$.

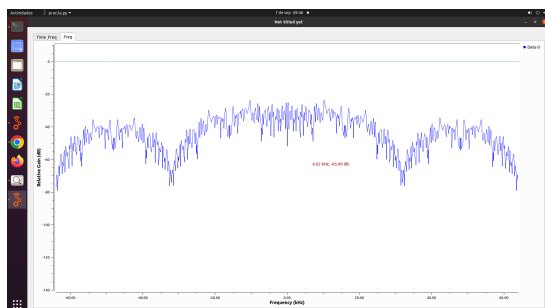


Figura 9. Señal en frecuencia de un audio con longitud de vector $h=4$.

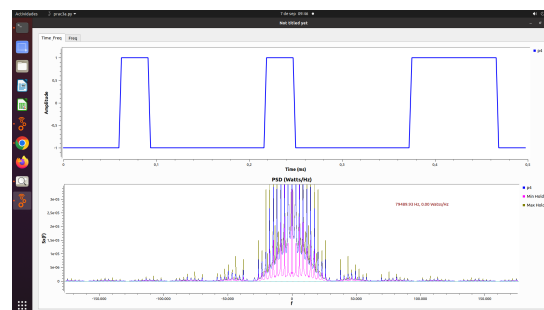


Figura 10. Señal en el tiempo y PSD de un audio con longitud de vector $h=16$.

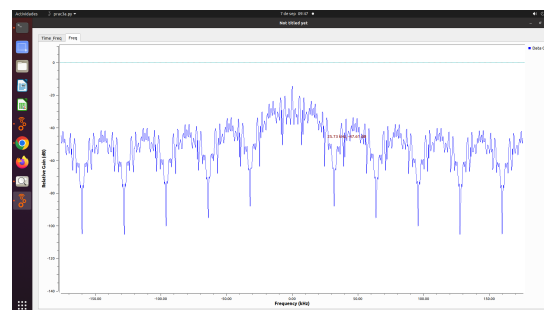


Figura 11. Señal en frecuencia de un audio con longitud de vector $h=16$.

Vemos lo mismo que se ha evidenciado para los anteriores tipos de señales analizadas y es que a medida que aumentamos la longitud del vector h se tiene una mejor aproximación de la señal en el dominio del tiempo tanto como en el dominio de la frecuencia.

3. PREGUNTAS

a) ¿Qué papel juega la siguiente combinación de bloques?

R Sumar una constante con un paquete de bits y este resultado se multiplica, esto convierte la señal en bipolar.

b) ¿Qué papel juega el bloque “Interpolating FIR Filter”, ¿cómo funciona?

R Sirve para interpolar, depende de la cantidad de bits y aumenta la cantidad de muestras

1. ¿Por qué el parámetro “Interpolation” en el bloque vale “SPS” y qué pasa si se coloca otro valor?

R Dependiendo del valor asignado el resultado va a filtrar la señal, el parámetro determina el número de muestras adicionales que se le van a introducir a la señal

2. Si tuviese que analizar la señal en p3, ¿qué cambios realizaría en la instrumentación (esquema de GNU Radio)?

R tendríamos que añadirle los bloques de interpolación, lo convertimos en un vector, le aplicamos la FFT, hallamos su magnitud y potencia.

3. ¿Qué fórmula permite conocer el ancho de banda de la señal en p4 si se conoce R_b y Sps ?

R Partiendo de que la tasa de símbolos es igual a la tasa de bits dividida por el número de bits por símbolo, se obtiene que para p4 el ancho de banda de la señal es:

$$B = \frac{R_b * Sps}{2}$$

Además, sabiendo que la frecuencia de muestreo es igual a $F_s = Sps * R_b$, el ancho de banda en función de la frecuencia de muestreo corresponde a:

$$BW = \frac{F_s}{2}$$

4. ¿Qué fórmula permite conocer la frecuencia de muestreo en p3, si se conoce la frecuencia de muestreo en p4 y Sps ?

R

$$F_{s3} = \frac{F_{s4}}{Sps} * 3$$

c) ¿Por qué razón la PSD de las señales binarias que provienen de una señal de audio es diferente a la que proviene de una foto siendo ellas igualmente señales binarias bipolares de forma rectangular?

R La PSD de las señales depende de la forma de la señal y la tasa de bits de la señal, pero también influye el tipo de modulación implementada. Mientras una señal de audio puede ser modulada mediante modulación AM o FM, la imagen por su parte se codifica como una secuencia de bits y esta puede variar de acuerdo con el color u otras características de la imagen. Por tanto, a pesar de que tienen la misma forma rectangular y ser bipolares, la PSD puede ser diferente dependiendo de cómo se haya generado la señal original.

d) ¿Qué papel juega el bloque “Throttle”?

R Regular el flujo de muestras de manera que la tasa promedio no exceda la tasa específica

e) ¿Qué pasaría con la PSD si no se hace la conversión a señal bipolar, sino que la señal binaria en p4 solo tiene valores de 0 ó 1 en lugar de -1 ó 1?

R La potencia de la señal disminuye

f) Se supone que el ruido blanco tiene un ancho de banda infinito, ¿coincide esto con lo observado en GNU Radio?, ¿por qué?

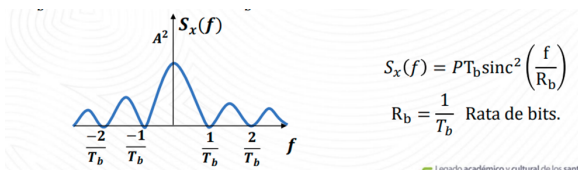
R Sí, porque a lo largo del espectro que se puede visualizar el ruido mantiene la misma potencia, se puede concluir que esta potencia va a ser constante.

g) Se supone que una señal binaria aleatoria de forma rectangular tiene un ancho de banda infinito, ¿coincide esto con lo observado en GNU Radio y por qué?

R la frecuencia de muestreo y Sps? Nota: el lóbulo de la mitad se cuenta como dos porque tiene el doble de ancho que los demás.

h. ¿Qué fórmula podría ayudar a calcular el número de lóbulos de la PSD de señal binaria aleatoria de forma rectangular cuando se conoce la frecuencia de muestreo y Sps? Nota: el lóbulo de la mitad se cuenta como dos porque tiene el doble de ancho que los demás.

R



i. ¿Cómo se calcula todo el rango de frecuencias que ocupa el espectro cuando se conoce Rb y Sps?

R El rango de frecuencias que ocupa el espectro de una señal binaria aleatoria bipolar se puede calcular con la siguiente fórmula:

Fs es la frecuencia de Nyquist

Rb es la tasa de bits de la señal

Sps es la frecuencia de muestreo

$$Fs = \frac{Rb}{Sps}$$

j. ¿Cómo se calcula la resolución espectral del analizador de espectros, cuando se conoce N y la frecuencia de muestreo?

R La resolución espectral del analizador de espectros es la separación mínima entre dos componentes espectrales que pueden ser distinguidas. Se puede calcular con la siguiente fórmula:

R es la resolución espectral

Fs es la frecuencia de muestreo

N es el número de puntos de muestra

$$R = \frac{Fs}{N}$$

k. ¿Qué pasaría si en el bloque “Unpack K Bits” se configura el parámetro K como 16?

R Si aumentamos el valor de K se inicia a tener una peor aproximación de la señal ya que se están analizando cada vez conjuntos con una mayor cantidad de bits y se pierde información

l. ¿Cómo calcularía la frecuencia de muestreo a la entrada del bloque “Unpack K Bits” si conoce el número de lóbulos de la PSD y el ancho de banda de la señal?

R Debe ser al menos el doble del ancho de banda de la señal para evitar el aliasing. Sin embargo, si conocemos el número de lóbulos de la PSD, podemos calcular una frecuencia de muestreo más conservadora que evite el aliasing mientras minimiza la distorsión.

Fs=frecuencia de muestreo

BW=Ancho de banda

N=Número de lóbulos

$$fs \geq 2 * BW(N + 1)$$

m. ¿Cómo calcularía la frecuencia de muestreo a la salida del bloque “Unpack K Bits” si conoce la frecuencia de muestreo a la entrada?

R La frecuencia de muestreo a la salida es la misma de la frecuencia de muestreo en la entrada

n. ¿Cómo calcularía la frecuencia de muestreo a la salida del bloque “Char to Float” si conoce la frecuencia de muestreo a la entrada?

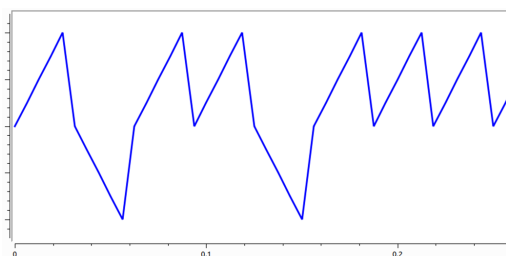
R La frecuencia de muestreo a la salida es la misma de la frecuencia de muestreo en la entrada ya que el bloque “Char o Float” no modifica la frecuencia de muestreo

o. ¿Para qué caso de Sps la PSD de una señal binaria aleatoria bipolar es similar a la PSD de ruido blanco?

R Esto ocurre cuando la frecuencia de muestreo es muy alta a comparación del ancho de banda de la señal

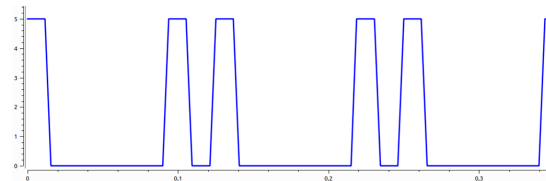
p. ¿Qué cambios mínimos haría al flujograma, manipulando principalmente h , si desea que los bits en la señal binaria aleatoria tomen la forma de dientes de sierra?

R Se tendría que cambiar los valores del vector h , de manera ascendente iniciando en 0 y terminando en 1.



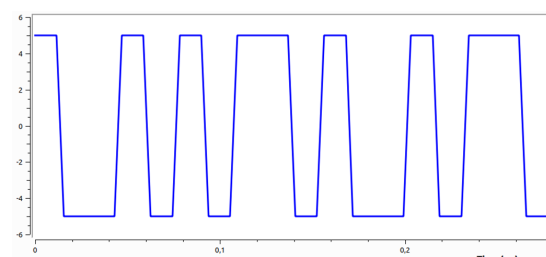
q. ¿Qué cambios mínimos haría al flujograma, manipulando principalmente h , si desea que la señal binaria aleatoria tenga codificación de línea Unipolar RZ, es decir como se muestra en la Fig. 3?

R Se tendría que modificar los valores dentro del vector h , variando la mitad de sus datos en A y la otra mitad de sus datos en 0



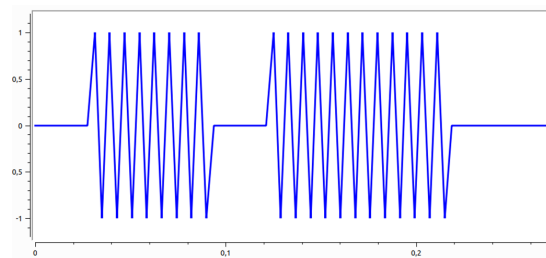
r. ¿Qué cambios mínimos haría al flujograma, manipulando principalmente h , si desea que la señal binaria aleatoria tenga codificación de línea Manchester NRZ, es decir como se muestra en la Fig. 3?

R Se tendría que modificar los valores dentro del vector h , donde a la mitad del vector le asignamos el valor A y a la otra mitad le asignamos el valor -A



s. ¿Qué cambios mínimos haría en el flujograma, aprovechando h y el FIR Interpolating Filter para que la señal binaria tenga la forma de señal OOK como se muestra en la Figura 4?

R Se tendría que modificar los valores dentro del vector h , donde realizamos una secuencia entre A y -A y se deshabilita la conversión a bipolar.



t. ¿Qué cambios mínimos haría en el flujograma, aprovechando h y el FIR Interpolating Filter para que la señal binaria tenga la forma de señal BPSK como se muestra en la Figura 4?

R Se multiplicaría el vector binario por una señal senoidal. Donde la frecuencia de la señal portadora debe ser igual a la tasa de bits de la señal binaria.

u. ¿Qué cambios mínimos haría en el flujograma, aprovechando h y el FIR Interpolating Filter para que la señal binaria tenga la forma de señal ASK como se muestra en la Figura 5?

R Para esto se debe multiplicar el vector H por una constante.

v. ¿Qué cambios mínimos haría en el flujograma, aprovechando h y el FIR Interpolating Filter para que la señal binaria tenga la forma de los latidos del corazón como se muestra en la Figura 6?

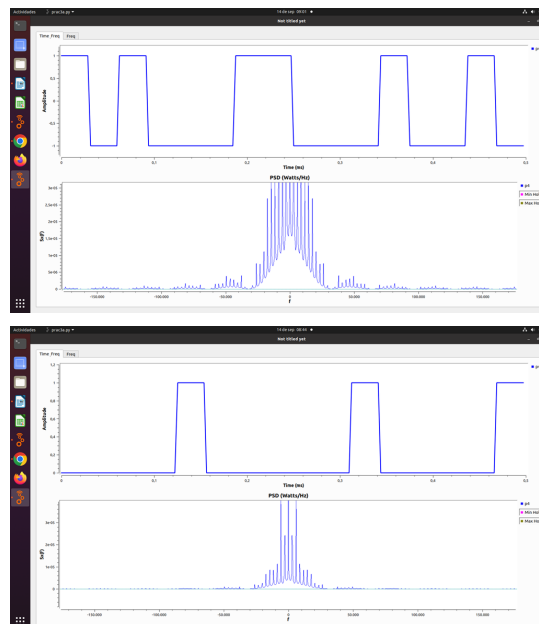
R Para que tengan forma de latidos de corazón el vector H debe tener la siguiente secuencia [-1 1 0 2 -2 1.5 1 -1]

w. ¿Qué cambios mínimos haría en el flujograma, aprovechando h y el FIR Interpolating Filter para que la señal binaria tenga la forma que se muestra en la Figura 7?

R NO HAY FIGURA 7

x. Explique usando gráficas de PSD la diferencia que existe entre la PSD de una señal binaria bipolar y una unipolar.

R



Se puede ver que en la señal binaria bipolar existe una mayor distribución de la potencia lo cual hace que su potencia sea constante y la señal binaria unipolar la potencia va a depender del tiempo.

4. CONCLUSIONES

- La densidad espectral de potencia representa una herramienta esencial en el ámbito de la ingeniería eléctrica y electrónica, así como en el terreno de las comunicaciones, desempeñando un papel de gran relevancia en el diseño y la mejora de sistemas relacionados con la transmisión y el procesamiento de señales.
- Mediante la comprensión y el manejo efectivo de la DSP, se abre la puerta a la mejora de la calidad de la comunicación al minimizar la presencia de interferencias y ruido en las señales, lo que conlleva a una transmisión que se percibe como más nítida y consistente.
- La resolución de la densidad espectral es directamente proporcional a la cantidad de bits transmitidos al igual que la longitud del vector h , si aumentamos la magnitud del vector

aumentamos la resolución de la densidad espectral.

- La densidad espectral del ruido es constante y este es directamente proporcional en magnitud a la amplitud proporcionada de la señal de ruido.
- Si la señal de entrada no alcanza a ser una señal binaria, no va a ser posible extraer información de la PSD, ya que dicha señal será ilegible, además de notar que, al aumentar la cantidad de valores en el vector, la señal posee más resolución y se hace más precisa.

REFERENCIAS

[1] "Wikipedia:Densidad espectral"

[Online].

Aviable:

https://es.wikipedia.org/wiki/Densidad_espectral

[2] "Wikipedia: ruido blanco gaussiano"

[Online].

Aviable:

https://es.wikipedia.org/wiki/Ruido_blanco_gaussiano