

Práctica 3: PSD de señales aleatorias

Jose Gabriel Candamil Tellez - 2215587

Juan Camilo Romero González - 2205606

Jhon Fredy Leon Garcia - 2165543

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones Universidad Industrial de Santander

12 de octubre de 2024

https://github.com/camiloromero01/CommunicationsII_2024_2_B1/tree/1650d695b905af5782bcc183c4b0a7aa5308ba2e/Practica_2_

Abstract

In this report, the knowledge acquired in class will be applied to identify the fundamental aspects of power spectral density (PSD). Likewise, the process of implementing bipolar and unipolar random signals, as well as OOK and BPSK modulation, using GNU Radio, is detailed, with a focus on the development of blocks to carry out these processes.

En la tercera fase metodológica, se implementaron componentes prácticos en los que se realizaron modificaciones al flujograma para analizar su comportamiento. Además, se ajustaron los valores de h y los parámetros del filtro FIR de interpolación para que la señal binaria se asemejara a una señal unipolar RZ, Manchester NRZ, BPSK y OOK.

1. Introducción

En el análisis de señales, es fundamental comprender el funcionamiento de GNU Radio. Asimismo, es importante conocer y entender la densidad espectral de potencia (PSD). Por ello, en este informe se explorarán los fundamentos del cálculo de la PSD y se profundizará en los conceptos de señales aleatorias para generar diferentes patrones con los que se pueda calcular la PSD, todo ello utilizando los bloques de GNU Radio.

2. Metodología

El desarrollo de la práctica de laboratorio se llevó a cabo en tres fases metodológicas planteadas de la siguiente manera:

En la primera fase, se llevó a cabo el estudio de la PSD y el ruido blanco a partir de variaciones de Sps (valores de 1, 4, 8 y 16) para una señal binaria aleatoria bipolar y para fuentes del mundo real (imagen, audio). Se recopilaron los parámetros principales en el caso de la señal binaria aleatoria.

En la segunda fase metodológica, se abordaron situaciones contextuales en las que se estudiaron las funciones de algunos de los bloques del flujograma, así como conceptos clave para el cálculo del ancho de banda, el número de lóbulos de la PSD y otros aspectos fundamentales, como el cálculo de la frecuencia de muestreo y el rango de frecuencias del espectro.

3. Análisis de resultados

Al variar los valores de Sps en GNU Radio se obtuvo diferentes gráficos para la PSD de una señal binaria aleatoria bipolar.

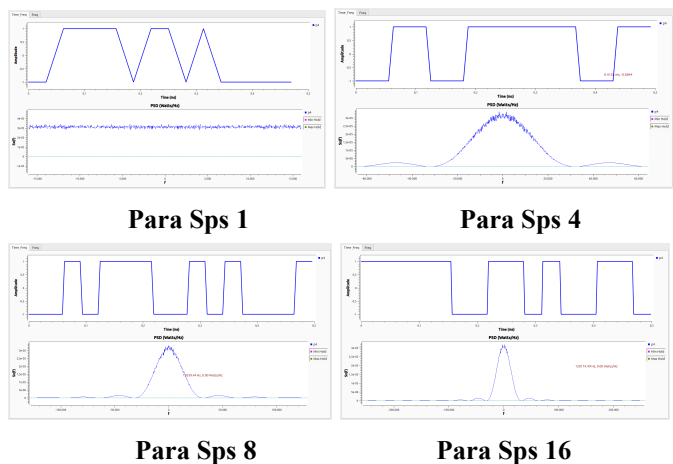


Figura 1: PSD y dominio temporal para señal binaria aleatoria bipolar

Para la **Figura 1**, se obtuvo que al ser una señal bipolar, varía entre 1 y -1 (configurada en GNU). Dependiendo del valor de h , la señal mejora en calidad al incluir más muestras. Con un valor de Sps igual a 1 ($h = 1$), la señal solo contiene un bit de información. Sin embargo, al incrementar el valor de h , aumenta el número de muestras, lo que permite que la señal se asemeje más a las características esperadas de este tipo de señales.

Acorde a los datos anteriores se recopilaron los parámetros principales de la señal con las diferentes variaciones de Sps.

Parámetros para señal binaria aleatoria bipolar			
Sps	Rata de bits	Frecuencia de muestreo	Ancho de banda
1	32 kbps	32 kHz	16 kHz
4	32 kbps	128 kHz	64 kHz
8	32 kbps	256 kHz	128 kHz
16	32 kbps	512 kHz	256 kHz

Tabla 1: Parámetros principales de la señal en función de Sps.

La **Tabla 1** contiene los diferentes parámetros encontrados de la rata de bits, frecuencia de muestreo y ancho de banda para los valores de Sps (h) estudiadas, donde se puede ver que la rata de bits es constante y que el ancho de banda es la mitad de la frecuencia de muestreo en todos los casos.

Se obtuvo el ruido blanco para cada uno de los valores de Sps para una señal binaria aleatoria bipolar.

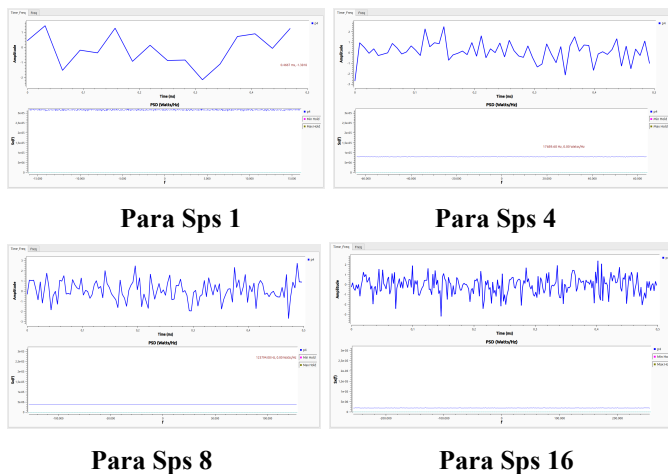


Figura 2: PSD y dominio temporal para el ruido blanco

Se obtuvo la PSD para una imagen donde se estudiaron los efectos causados en la PSD y en el dominio del tiempo.

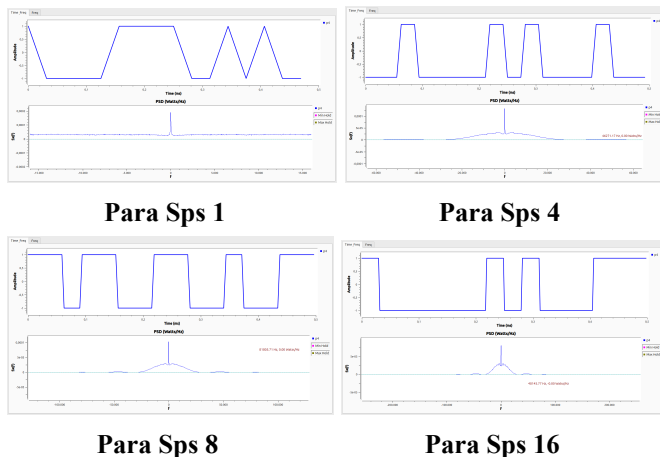


Figura 3: PSD y dominio temporal para una imagen

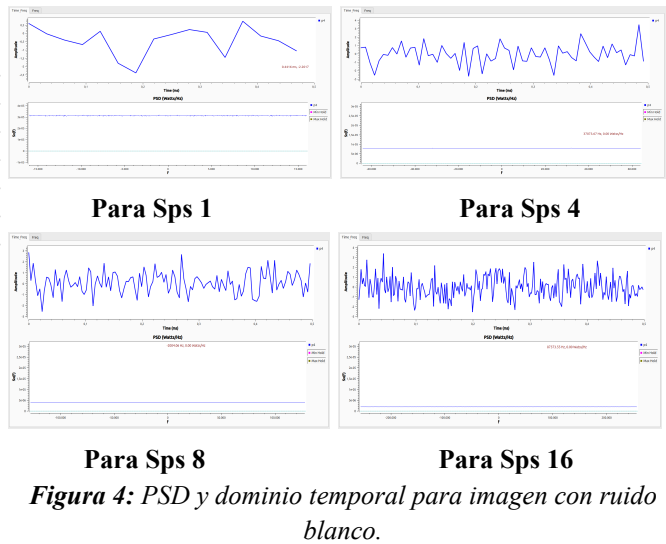


Figura 4: PSD y dominio temporal para imagen con ruido blanco.

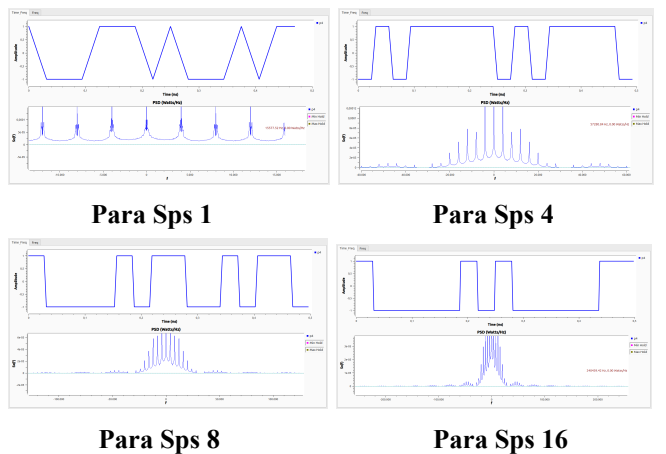


Figura 5: PSD y dominio temporal para una fuente de audio.



Figura 6: PSD y dominio temporal para audio con ruido blanco.

En las **Figura 2**, **Figura 4** y **Figura 6** se observa para cada valor de Sps y casos estudiados la densidad espectral de

potencia (PSD); se encontró que el ruido blanco posee una densidad espectral uniforme en todo el espectro de frecuencia.

En la **Figura 3** y **Figura 5**, se puede apreciar que, aunque se trata de fuentes diferentes, al subdividir estas señales en binarias para su análisis, sus formas de señal en el dominio temporal se comportan de manera similar. La principal diferencia se encuentra en la Densidad Espectral de Potencia (PSD), ya que la cantidad de armónicos presentes en la señal de la imagen es menor en comparación con los armónicos de la fuente de audio. Este mismo comportamiento se observa tanto en la comparación general como al evaluar cada uno de los casos de los valores de Sps.

La función principal de la combinación de los bloques Constan Source, Add y Multiply Const es convertir una señal unipolar en una bipolar. Este proceso implica el ajuste de la amplitud de la señal para su posterior análisis o procesamiento. La conversión a una señal bipolar es crucial, ya que permite que las señales oscilen entre valores positivos y negativos, lo que resulta esencial para diversas aplicaciones en sistemas de comunicación y control.

El bloque "Interpolating FIR Filter" incrementa el número de muestras por símbolo (Sps) sin perder información relevante, mejorando así la resolución espectral y permitiendo un análisis más detallado en el dominio de la frecuencia. Al interpolar las muestras, el filtro añade puntos intermedios que enriquecen la representación de la señal sin distorsionarla. Esto optimiza el procesamiento y análisis, manteniendo la calidad e integridad de la señal original.

La **Tabla 2** presenta los resultados hallados al comparar las gráficas obtenidas en la **Figura 1** con respecto al valor de Sps.

Sps	Resolución temporal	Ancho de banda	Aliasing	Carga computacional
Máyor Sps	Alta	Alta	Menor	Alta
Menor Sps	Baja	Bajo	Mayor	Baja

Tabla 2: Comparación de las características de la Figura 1 con respecto al valor de Sps.

La fórmula que establece la relación para el BW corresponde a la **Ec 1**.

$$Bw(P_4) = \frac{R_b}{2} * Sps \quad \text{Ec 1}$$

De igual manera, la frecuencia de muestreo **Ec 2** a la salida de los bloques Constan Source, Add y Multiply Const está

directamente ligada a la **Sps**, influyendo en la precisión del análisis, aunque incrementa la carga computacional.

$$f_m(P_3) = f_m(P_4) * Sps \quad \text{Ec 2}$$

A continuación se muestra una tabla comparativa con varias características relevantes que diferencian una señal de audio de una señal de imagen (ver Tabla 3).

Características	Señal de audio	Señal de imagen
Naturaleza de señal	Variaciones continuas y suaves	Señal estática
Comportamiento en tiempo	Transiciones más frecuentes	Variaciones menos frecuentes
Contenido espectral	PSD más dispersa	PSD más localizada
Ancho de banda	Alto	Bajo

Tabla 3: Comparación de la Figura 3 y 5 respecto al Sps

El bloque **Throttle** permite que las señales procesadas mantengan una tasa de muestreo estable, con un procesamiento de datos a 128k muestras por segundo.

Aspecto	Señal unipolar	Señal bipolar
Dc	Diferente de cero	Nula (media cero)
PSD	Concentrada en frecuencias bajas	Más uniformemente distribuidas
BW	Reducido	Mayor

Tabla 4: Unipolar VS Bipolar

La **Tabla 4** destaca cómo las señales bipolares se comportan al eliminar el componente DC y distribuir mejor su energía en el espectro. Para señales unipolares la componente Dc no es ideal para largas distancias debido a la falta de sincronización lo que complica la recuperación de datos

En GNU Radio se puede observar que aunque en aplicaciones reales el ruido gaussiano tiene un ancho de banda infinito, al ser implementado en la práctica por medio de GNU este ancho de banda está limitado por la tasa de muestreo.

Al manejar una señal binaria aleatoria rectangular, se esperaría un ancho de banda infinito debido a la gran cantidad de armónicos generados por los cambios abruptos

en la señal. Sin embargo, en los casos estudiados en la práctica, esto no se refleja completamente. Principalmente, se evidencia la presencia de varios armónicos y pocos lóbulos donde se concentra la mayor parte de la energía de la señal. Para las demás frecuencias, la información es relativamente nula o inexistente, debido al valor de Sps utilizado.

La fórmula Ec 3, relaciona los lóbulos en función de la frecuencia de muestreo y la Sps.

$$\#L = \frac{f_m}{Sps * Rb} \quad \text{Ec 3}$$

En la Figura 1 y Figura 2 se evidencia el comportamiento de los lóbulos en función de la Sps.

Para calcular el rango de frecuencias que ocupa el espectro cuando se conoce el **Rb** y **Sps** se usa la Ec 1 para despejar el ancho de banda y así posteriormente obtener el rango de frecuencias.

La resolución espectral es crucial para ver con claridad los componentes de frecuencia presentes en la señal

$$\text{Resolución espectral} = \frac{f_m}{N} \quad \text{Ec 4}$$

Si en el bloque Unpack K Bits se configura K como 16 se aumenta en número de armónicos presentes en la PSD, también se puede observar una disminución en la frecuencia de los pulsos en el dominio temporal, además para un K igual a 16 la amplitud del armónico fundamental posee mayor energía en comparación a los demás armónicos, en cambio para un k de 8 hay 3 armónicos que presentan una cantidad muy similar de energía (ver Figura 7).

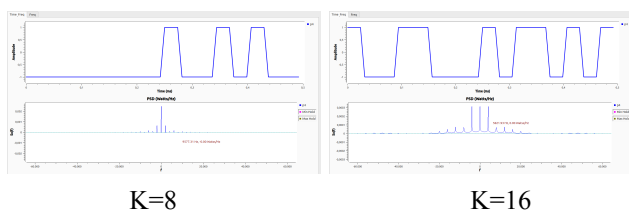


Figura 7: señales obtenidas al modificar el valor de K

$$f_m = 2 * BW \quad \text{Ec 5}$$

$$f_{mS} = f_{mE} * K \quad \text{Ec 6}$$

La Ec 5 presenta la relación de la frecuencia de muestreo a la entrada del bloque Unpack K Bits, por consiguiente, la relación de frecuencia de muestreo en la salida del mismo expresada en términos de K se relaciona en Ec 6, por ende en la Figura 7, se experimentan cambios en el bloque para la relación de la f_m de salida del bloque. Como resultado se mejora la PSD de la señal.

En el bloque “Char to Float”, la **frecuencia de muestreo a la salida es la misma que la frecuencia de muestreo a la entrada**. Este bloque simplemente cambia el formato de los datos (de caracteres a números flotantes), pero no altera la cantidad de muestras por segundo.

La **PSD** de una señal binaria aleatoria bipolar será más similar a la de un **ruido blanco** cuando el valor de **Sps** (Samples per Symbol) es 1.

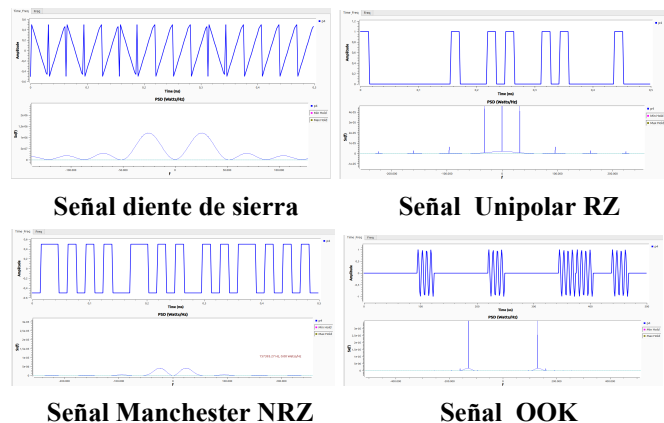
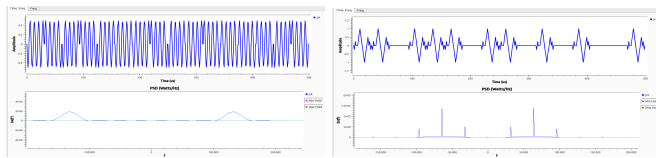


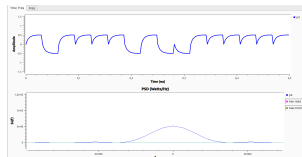
Figura 8: Señales generadas a partir de variaciones de h.

La Figura 8 representa las señales obtenidas en las que se varió el h, en la señal diente de sierra logramos ver que es la señal esperada ya que como está llegando una señal aleatoria con ceros y unos la gráfica está variando en la posición de los dientes unos hacia la derecha y los otros hacia la izquierda dependiendo si entra un uno o un cero lógico. Para la señal Unipolar RZ, se logra ver que actúa según lo esperado sube a uno y luego regresa a cero. La señal Manchester NRZ se logra ver que la señal va variando entre valores positivos y valores negativos tal como actúan este tipo de señales. Por último, la señal OOK generada logra su cometido ya que cuando el valor es uno la señal empieza a graficar los pulsos senoidales, pero cuando es cero se apaga.



Señal BPSK

Señal Latidos del Corazón



Señal Pulsos Rizados

Figura 9: Señales obtenidas con la variación de parámetros.

La **Figura 9** representa las señales obtenidas a partir de variar parámetros como h y constant source, la señal BPSK generada corresponde a lo esperado acorde a las características expuestas en la guía; la señal correspondiente a los latidos del corazón se generó haciendo un mapeo de la señal de referencia deseada a obtener, en donde los unos se representaban mediante una firma de señal con varias alturas y los ceros son representados con una constante de valor cero, algo similar ocurre para la señal de pulsos rizados donde la excepción es que los ceros están representados por una forma invertida de la señal correspondiente a la representación de un 1.

Señal de interes	Valor de h	Parametros filtro FIR	Valor de constant source
Dientes de sierra	[1, -1, -0.86, -0.71, -0.57, -0.43, -0.29, -0.14, 0, 0.14, 0.29, 0.43, 0.57, 0.71, 0.86, 0.93]	Interpolation = 16	-1/2
Unipolar RZ	[1111111100000000]	Interpolation = 16	0
Manchester NRZ	[11111111-1-1-1-1-1-1-1]	Interpolation = 16	-1/2
OOK	$\text{np.sin}(\text{np.linspace}(0, 8 * \pi, 32))$	Interpolation = 32	0
BPSK	$\text{np.sin}(\text{np.linspace}(0, 8 * \pi, 32))$	Interpolation = 32	-1/2
Latidos del corazon	[0, -0.25, 0, 0.25, 0, 0, 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1, 0.7, 5, 0.5, 0.25, 0, -0.25, -0.5, -0.75, -1, -0.75, -0.5, -0.25, 0, 0.25, 0.5, 0.25, 0, -0.25, 0]	Interpolation = 32	0
Pulsos rizados	[0.00, 0.32, 0.54, 0.68, 0.79, 0.85, 0.90, 0.93, 0.95, 0.97, 0.98, 1, 1, 1, 1]	Interpolation = 16	-1/2

Tabla 5: Parámetros modificados para generar las señales de las figuras 8 y 9.

En la **Tabla 5** se encuentran los valores correspondientes a los parámetros modificados dentro del flujograma para generar cada una de las señales de las figuras 8 y 9, se puede apreciar que para señales que representan el cero binario como una constante de calor cero el parámetro de constant source es igual a cero, esto para manejar una señal unipolar y no bipolar al

momento de querer generar la forma de la señal con variaciones de h .

3. Conclusiones

- El uso del bloque "Interpolating FIR Filter" no solo mejora la resolución espectral de las señales, sino que también permite un análisis más preciso y detallado en el dominio de la frecuencia.
- La resolución espectral depende de la frecuencia de muestreo. Aumentar la frecuencia de muestreo amplía el rango de frecuencias, mientras que al aumentar N mejora la precisión para distinguir frecuencias cercanas. Un buen análisis espectral requiere equilibrar ambos factores.
- El parámetro **Sps** (Samples per Symbol) define la cantidad de muestras por símbolo, afectando la resolución temporal y la PSD. A mayor **Sps**, se obtiene un mayor ancho de banda y una representación espectral más detallada, como se observa en la **Tabla 1**.
- Con relación a la **Tabla 4** las señales bipolares en términos de ancho de banda y distribución de potencia en el espectro son más eficientes en comparación con las señales unipolares.
- La **Tabla 3** muestra que las señales de audio, con sus variaciones continuas generan una PSD más descentralizado con un mayor ancho de banda en comparación de las señales de imagen, que tienen variaciones de frecuencias centralizadas lo que conlleva a resultados de PSD más localizados, esto refleja la naturaleza dinámica entre las señales de audio y la naturaleza de las señales estáticas de las imágenes.

Referencias

- Colaboradores de los proyectos Wikimedia. "Resolución espectral - Wikipedia, la enciclopedia libre". Wikipedia, la enciclopedia libre. Accedido el 13 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible: https://es.wikipedia.org/wiki/Resolución_espectral
- Colaboradores de los proyectos Wikimedia. "Ruido blanco - Wikipedia, la enciclopedia libre". Wikipedia, la enciclopedia libre. Accedido el 13 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible: https://es.wikipedia.org/wiki/Ruido_blanco