

# Práctica 1: INTRODUCCION A GNU RADIO

JUAN MANUEL CARDONA ERAZO - 2195551  
JUAN CAMILO TIBADUIZA ACEVEDO - 2192303

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

13 de Septiembre de 2023

## Resumen

En el siguiente informe correspondiente a la práctica de laboratorio número 1, se realizará un acercamiento al funcionamiento del software GNURadio, el cuál será la herramienta principal utilizada durante el curso de Comunicaciones I. De igual manera se discutirán definiciones clave para el procesamiento de señales, incluyendo sus usos, ventajas y desventajas.

**Palabras clave:** Muestreo, Teorema de Nyquist, Aliasing, Interpolación, Ecuación, Diezmado.

## 1. Introducción

En la próxima sesión de laboratorio, exploraremos el concepto de muestreo en el contexto del procesamiento de señales. El muestreo desempeña un papel crucial en la conversión de señales analógicas a digitales, permitiendo representar señales continuas de forma discreta y facilitando un análisis más detallado de las mismas.

Para llevar a cabo este proceso, utilizaremos el software GNURadio, una herramienta versátil que nos brinda la capacidad de interactuar con una amplia gama de señales, ajustar sus características y examinar el proceso de muestreo en detalle.

A través de los resultados experimentales, tendremos la oportunidad de descubrir las frecuencias de muestreo apropiadas siguiendo el principio de Nyquist. Según esta teoría, la frecuencia de muestreo debe ser igual o mayor al doble de la frecuencia de la señal original para lograr una reconstrucción precisa de la señal continua. Si cumplimos con estos criterios, podremos aplicar técnicas como la interpolación o el diezmado de señales para aumentar o reducir la cantidad de muestras en la señal, según sea necesario.

Es fundamental emplear estos conceptos para cumplir con el criterio de Nyquist y evitar el fenómeno de aliasing, que ocurre cuando se selecciona una frecuencia de muestreo incorrecta y no se cumplen los requisitos necesarios. Esto provoca que dos señales diferentes sean indistinguibles cuando se muestrean digitalmente, lo que a su vez impide su reconstrucción adecuada.

## 2. Procedimiento

Durante el primer laboratorio, se llevaron a cabo una serie de procesos; en un inicio, se hizo la familiarización con el software GNURadio [1], explorando sus configuraciones y funcionalidades.

Para consolidar este aprendizaje, se procedió a crear un diagrama de flujo que utilizó una señal senoidal, lo que permitió visualizar gráficamente el efecto de variar la frecuencia de muestreo. Inicialmente se utilizó una frecuencia de muestreo constante y luego se procedió a emplear una frecuencia de muestreo variable utilizando un bloque que permitió generar un cursor en la pantalla para graficar la señal. Además, se analizó el comportamiento de la señal al alcanzar el límite de Nyquist[2]. Asimismo, se examinaron las consecuencias de no alcanzar el límite de Nyquist, lo cual produce el fenómeno de aliasing.

Luego, se incluyó una señal de audio en la ventana de trabajo y se realizaron modificaciones en sus frecuencias de muestreo, frecuencia de la señal y ancho de banda para observar su efecto. A partir de estas exploraciones, se logró descubrir en qué niveles de frecuencia debe estar la señal de audio para poder escuchar selectivamente ciertos elementos, como la voz del cantante o un instrumento en específico. Con esta información, se procedió a construir un ecualizador para realizar ajustes precisos en las frecuencias de la señal de audio y así mejorar la calidad de sonido. La señal de

audio experimentaba efectos como la atenuación, aceleración y ralentización, entre otros, lo que indica que la señal había sido afectada.

En la siguiente etapa del laboratorio, se utilizó el software GNURadio para introducir 3 señales cosenoidales, con el objetivo de crear un sistema que permitiera realizar la interpolación y diezmado de dichas señales.

Durante este proceso, se descubrió que, al interpolar una señal con un factor constante, implica que su frecuencia se divide por el valor de interpolado constante. Además, se observó que el proceso de diezmado de una señal se traduce en la multiplicación de su frecuencia por un valor constante de diezmado[3]. Como resultado, la cantidad de muestras por señal disminuye al realizar interpolación y aumenta al diezmar.

Por último, se creó un flujograma en GNURadio para procesar una señal de audio utilizando el bloque "Multiply Const". Luego de realizar varias pruebas, se descubrió que este bloque controla el volumen de la señal de audio. Durante la práctica de laboratorio, es importante destacar que el límite de Nyquist se logra cuando se utiliza una frecuencia de muestreo que es mayor o igual al doble de la frecuencia de la señal original. Si este límite no se alcanza, la recuperación de la señal se verá afectada debido a la aparición del fenómeno de aliasing[4].

También es importante resaltar que, al realizar la interpolación de una señal, su frecuencia disminuye debido a que su periodo se multiplica por una constante. Dado que la frecuencia es inversamente proporcional al periodo, al aumentar el periodo de la señal, su frecuencia disminuye. En cambio, cuando se realiza el proceso de diezmado de una señal, su periodo se divide por una constante, lo que hace que su valor disminuya. Debido a que la frecuencia es inversamente proporcional al periodo, la frecuencia de la señal aumenta como resultado. Se puede decir que la frecuencia de una señal y su frecuencia de muestreo están directamente relacionadas. Desde un punto de vista experimental, para determinar la frecuencia máxima de una señal, es posible fijar un valor de frecuencia de muestreo y variar la frecuencia de la señal. Utilizando gráficas, se puede ajustar los valores de frecuencia hasta observar que la gráfica en frecuencia muestre únicamente los puntos mínimos y máximos de la señal, es decir, los extremos. De esta manera, se determinará el valor máximo de la frecuencia de la señal.

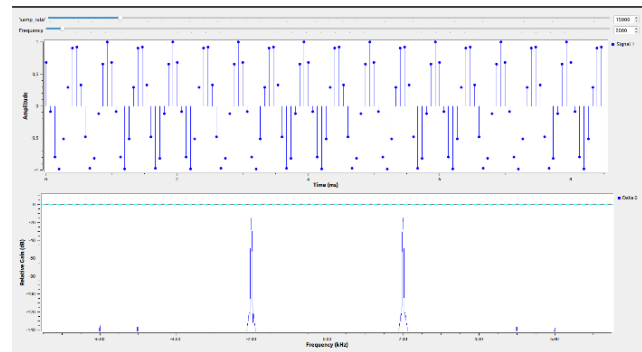


Figura 1. Demostración límite de Nyquist.

Se puede notar que la ventaja de trabajar con la relación de que la frecuencia de muestreo sea 5 veces mayor al ancho de banda de la señal diente de sierra con respecto a trabajar con el teorema de Nyquist el cual dice que la frecuencia de muestreo debe ser al menos el doble del ancho de banda de nuestra señal es que en la onda aparecen 4 impulsos adicionales los cuales pueden brindar una mayor efectividad a la hora de realizar la recuperación de la señal.

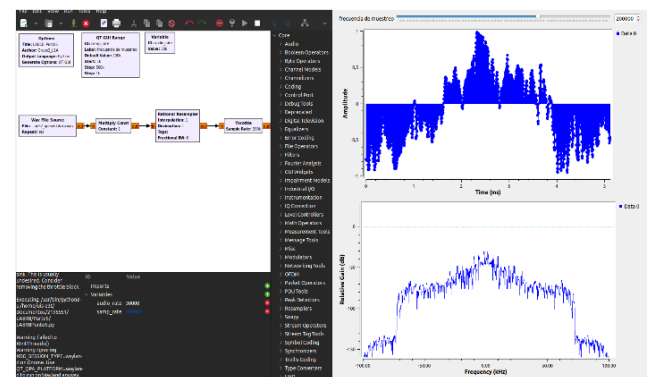


Figura 2. Diezmado e interpolación de una señal de audio.

Variando "Multiply Const", se observa rápidamente que la función de este es controlar el sonido de la señal de audio, se varía su valor en un rango de 0 a 2, entre menor sea el número, menor será el sonido. En el momento en el que la interpolación y el diezmado tienen valores de 1, el audio suena igual al original. Cuando la interpolación tiene valor de 4 y el diezmado tiene valor de 1, el audio suena más lento, ya que se toma una mayor cantidad de muestras, lo que genera que el periodo del nuevo audio sea mayor que el original. Cuando la interpolación tiene valor de 1 y el diezmado tiene valor de 4, el audio suena más rápido, ya que se toman menos muestras, lo que genera que el periodo del nuevo audio sea menor que el original.



Al disminuir la frecuencia de muestreo debido a que no se cumple el teorema de Nyquist donde la frecuencia de muestreo debe ser mayor o igual al doble de la frecuencia de la señal, entonces se da paso a la aparición del fenómeno de aliasing lo cual puede ocasionar perdidas de la señal e incongruencias con respecto a las frecuencias; esto ocasiona que el audio se vea directamente afectado

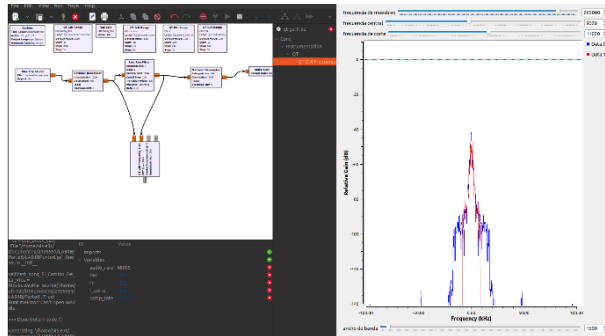


Figura 3. Ecualizador con bloques de GNURadio

Se realizó una variación en los rangos de frecuencia para cada uno de los filtros presentes en el flujoograma de bloques, utilizando como muestra una parte de la canción “Gitana de Willie Colón”, esto con la finalidad de simular un ecualizador: En el filtro pasa bajas, se mantiene quieta la frecuencia de muestreo en 246[KHz] para que la reproducción del audio suene tersa, esto con la frecuencia de corte por encima de 12[KHz], de lo contrario la señal se atenúa, la variación tanto de la frecuencia central como del ancho de banda, no afectan la señal, para escuchar solamente los bajos, la frecuencia de muestreo se deja mayor o igual a 246[KHz] y la frecuencia de corte se lleva por debajo de los 12[KHz].

En el filtro pasa bandas, se descubre que la señal se atenúa con valores de ancho de banda menores a 3[KHz], se agudiza con frecuencias centrales mayores a 1.5[KHz] y se mantiene estable con frecuencias de muestreo de 246[KHz], con valores menores o mayores (en la frecuencia de muestreo) se baja o aumenta su velocidad respectivamente; con frecuencia de muestreo, frecuencia central y ancho de banda correspondientes a 246[KHz], 1.5[KHz] y 2[KHz] respectivamente, aproximadamente se escucha solamente la voz del cantante. En el filtro pasa altas, para obtener el sonido limpio, la frecuencia de muestreo debe estar en un rango de 246[KHz] y la frecuencia de corte al mínimo, o sea 100 [Hz], la variación de la frecuencia central no afecta la señal de audio, lo mismo sucede con el ancho de banda.

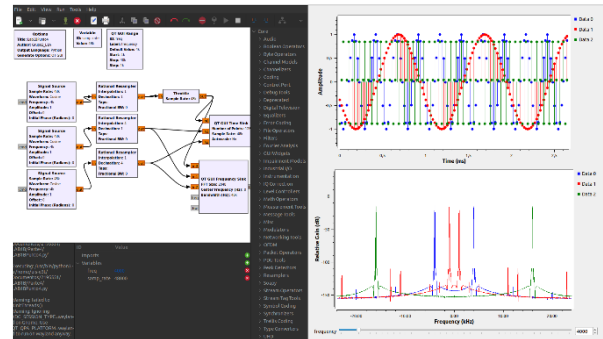


Figura 4. Señales cosenoidales con valores iniciales.

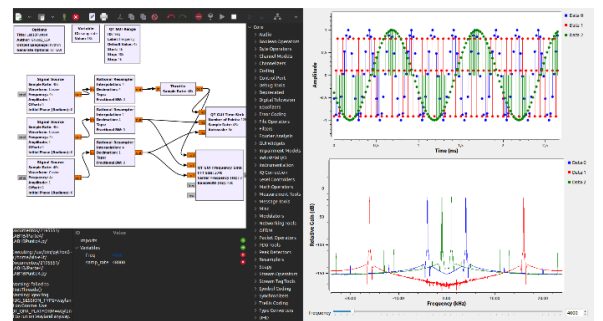


Figura 5. Señales cosenoidales con diezrado e interpolación

Se tienen 3 señales coseno para observar el efecto diezrado y la interpolación, en este caso la señal de entrada cuenta con un rango de frecuencia de muestreo de 48[KHz] y con un rango de frecuencia de la señal de 4[KHz], lo cual evidencia que dicha señal cuenta con 12 muestras por periodo por la relación en frecuencia, la señal de color azul representa la misma señal de entrada debido a que únicamente tiene una relación de diezrado e interpolación de 1 a 1, por el contrario la señal roja al poseer una interpolación de valor 4, causa que la señal original la cual contaba con 12 muestras pase a 48 muestras, o sea que su relación de valor 4 es una multiplicación conservando el espaciamiento, por tal motivo la señal en el tiempo tiene un periodo mayor que la original y la frecuencia disminuye a 1[KHz] lo que indica dividir la frecuencia de la señal original por el valor de interpolado, y la señal verde al tener un diezrado de valor 4, hace que la señal original la cual contaba con 12 muestras pase a tener únicamente 3 de ellas, claro está, conservando el espaciamiento, por ello la señal en el tiempo tiene un periodo más pequeño que la señal original y la frecuencia aumenta a 16[KHz] que claramente representa multiplicar la frecuencia de la señal original por el valor de diezrado.

### 3. Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos en el informe anteriormente realizado, se pueden anexar las siguientes conclusiones:

- El teorema de Nyquist es una herramienta esencial en los sistemas de comunicaciones debido a su capacidad para determinar sencillamente las frecuencias de muestreo necesarias para la reconstrucción precisa de señales.
- Es crucial cumplir con el teorema de Nyquist ya que esto previene el efecto de aliasing, el cual puede causar interferencias en las señales, convirtiéndose así en un problema bastante significativo.
- Aunque teóricamente se considera que la frecuencia de muestreo adecuada para señales de audio es de 44.1[KHz], en la práctica no se pudo cumplir debido a que la frecuencia de la señal de audio de muestra era mucho más alta. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la frecuencia de muestreo puede variar según la frecuencia de la señal en la que se está trabajando. Lo más importante es cumplir con el teorema de Nyquist para evitar el efecto de aliasing y garantizar una reconstrucción precisa de la señal.
- Los ecualizadores se basan en variar las frecuencias de la señal y el ancho de banda de los audios sometidos a este proceso.
- El proceso de interpolación y diezmado de señales, es en otras palabras es el proceso de dividir y multiplicar (respectivamente) la frecuencia de una señal.
- El software GNURadio tiene una gran variedad de funciones las cuales facilitan en gran parte el análisis de señales, esto la hace una herramienta bastante práctica y eficaz para el análisis los sistemas de comunicaciones.

### Referencias

- [1] profslocovich, "Curso gnuradio 1 Introducción al software." [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=CbYiDF4oFSw>
- [2] Amilcare., "Teorema de nyquist-shannon - elettroamici." [Online]. Available: <https://www.elettroamici.org/es/teorema-di-nyquist-shannon/>
- [3] T. A. e. P. de Señales-TAPS, "Interpolación y diezmado." [Online]. Available: <http://arantxa.ii.uam.es/~jms/tdi/Interpolacion.pdf>
- [4] P. C. Gough, "Que es el aliasing? ingeniero acústico especializado en estudios de grabación y home studios." [Online]. Available: <http://mezclaprofesional.com/que-es-el-aliasing/>