

# Práctica 1: Introducción a GNU Radio - Frecuencia de Muestreo en GNU Radio

Diego Andres Espinel Fernández - 2195583  
Diego Andrés García Díaz - 2195533

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

11 de Marzo de 2024

## Resumen

El desarrollo de la práctica se aborda dos partes, en la parte A se desarrolla una introducción para conocer el manejo del programa GNURadio para implementar sistemas de radio definida por software, donde se analiza el funcionamiento y las propiedades que tiene cada bloque, se muestran las señales en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia cuando se ejecuta el diagrama de bloques. En la parte B del laboratorio se demuestra el Teorema de Nyquist (Muestreo) y varios efectos teniendo en cuenta parámetros que se configuran en los bloques, además de observar el muestreo, interpolación y diezmado de las diferentes formas de ondas a diferentes frecuencias con los respectivos bloques que posee GNURadio.

**Palabras clave:** Teorema de Nyquist, muestreo, interpolación, diezmado.

## 1. Introducción

La teoría de muestreo es de gran importancia ya que desde el laboratorio se puede analizar de qué manera se debe modificar las señales para ver su comportamiento y funcionamiento, y de esa manera determinar ventajas o desventajas. El programa GNURADIO es una muy buena herramienta ya que permite simular señales que se generan o que son grabados con la ventaja de dar una respuesta eficiente sin usar hardware. [1]

Cuando se alcanza el límite de Nyquist, significa que la frecuencia de muestreo es el doble de la frecuencia de la señal entonces se captura la información sin pérdidas, pero si la frecuencia de muestreo es menor que el doble de la frecuencia máxima de la señal la información puede no ser la correcta. La relación entre la frecuencia de muestreo y la frecuencia de la señal es:  $F(\text{muestreo}) = 2 * F(\text{señal})$ , en la práctica se usa una frecuencia un poco mas alta que el mínimo ya que los sistemas de

muestreo y los dispositivos que se usan pueden tener alguna limitación haciendo que con el límite de Nyquist haya alguna interferencia en la respuesta de la señal.

El proceso de interpolación aumenta la tasa de muestreo de la señal, también da valores intermedios de una señal discreta, en otras palabras calcula valores entre los datos y es importante para visualizar mejor los gráficos ya que si los datos de una gráfica están muy espaciados, lo que hace la interpolación es darle un valor en medio, de esa manera se puede evaluar mejor la señal ya que mejora su resolución y para cuestiones de audio se interpola para ajustar la duración de una señal de audio sin cambiar el tono.

El proceso de diezmado se usa para reducir la tasa de muestreo de una señal discreta tomando muestras donde el intervalo es grande omitiendo los datos que están de por medio en otras palabras reduce la información original tomando menos muestras, es importante para reducir la cantidad de datos ya que hay casos que un software se satura por la cantidad de datos y lo que se hace es usar el diezmado para reducir el procesamiento u otro caso es eliminar información que se repite en cierto intervalo por lo que si se sabe ya que información es la que se repite solo se tiene en cuenta esa parte y se elimina el resto.

Cuando se asigna una frecuencia de muestreo superior al límite de Nyquist se obtiene una información completa también en cuestiones de calidad, si se toma por ejemplo, un audio y la frecuencia de muestreo es mucho mayor al doble de la frecuencia de la señal del audio, entonces se reproducirá el audio sin tener ningún recorte de sonido. Con la interpolación el tono de la señal cambia ya que se modifica la frecuencia de muestreo, también ayuda a capturar los detalles



más finos de la señal especialmente en frecuencias altas. Con el diezmado se eliminan muestras de la señal original, el tono de la señal también cambia, en este caso se pierden detalles de las frecuencias más altas, en otras palabras se pierde la calidad del sonido, cabe aclarar que los sonidos en bajas frecuencias no sufren ninguna modificación. Finalmente, cuando se reduce la frecuencia de muestreo por debajo de la frecuencia de la señal de audio se presenta un fenómeno conocido como **aliasing**, en donde las frecuencias altas se doblan o duplican pero en frecuencias bajas, esto causa distorsión en la señal de audio donde se escuchan 'pausas' en el audio y a medida que se reduce aún más la frecuencia de muestreo, esas 'pausas' son de mayor duración.

## 2. Procedimiento

La realización de este primer laboratorio fue tener una interacción del software GNURadio en el que se manejaron sus ajustes y funcionalidades donde se realizaron conexiones entre bloques para entender como interactúan entre sí, se observó cómo se ven afectadas las señales gráficamente al variar la frecuencia de muestreo, primero con una frecuencia de muestreo fija y después con una frecuencia de muestreo variable. Al tener en cuenta la señal de Nyquist se vio el comportamiento de la señal cuando llega a dicho límite sabiendo que la frecuencia de muestreo debe ser el mayor o igual al doble de la frecuencia de la señal, se tuvo en cuenta dos comportamientos, cuando la frecuencia es mucho mayor al doble de la frecuencia de muestreo y cuando la frecuencia de muestreo es menor al doble que la frecuencia de la señal, en esta última parte aparece un fenómeno llamado **aliasing** donde la información se distorsiona y se pierde.

En otro punto se usó una señal de audio con la cual se interactuó simulando un ecualizador para modificar la frecuencia y su ancho de banda con el objetivo de descubrir de qué manera se debe modificar para que ciertas tonalidades se escuchen aparte de las demás en cuyo caso por ejemplo se escuchaba solo la voz del cantante o algún instrumento en específico por lo que se puede determinar que la frecuencia de la señal está directamente relacionada con el valor de su frecuencia de muestreo y gracias a las gráficas que se pueden ejecutar es más sencillo encontrar las frecuencias de muestreo que se necesitan para la reconstrucción de las señales.

Adicionalmente, se revisó la documentación corres-

pondiente a cada uno de los diferentes bloques usados en la práctica con el fin de reforzar el conocimiento en el funcionamiento de cada bloque. [2]

- El bloque **THROTTLE (Acelerador)** se usa para controlar la velocidad dentro de un diagrama de flujo de procesamiento de señales, es decir que limita la velocidad en que los datos fluyen a través de los gráficos que se generan en GNURadio, principalmente se usa para evitar que los datos se acumulen demasiado rápido y que el sistema llegue a sobrecargarse. El bloque Throttle también se adapta a la velocidad de procesamiento disponible en el sistema donde se ejecuten los diagramas de flujo.
- Al usar el bloque **QT GUI Frequency Sink** se usa para poder visualizar frecuencias presentes en una señal junto con su respectiva información, el gráfico tiene en el eje x la frecuencia en Hertz [Hz] y en el eje y la potencia de la frecuencia en escala lineal o logarítmica.

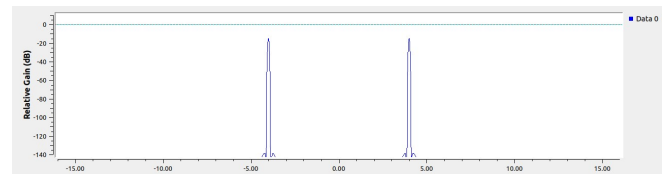


Fig. 1: Espectro de Frecuencia

En la Fig. 1 se puede observar el espectro de la frecuencia, que en este caso es para una forma de onda coseno.

- Los **colores en GNURadio** describen los tipos de datos que se pueden usar para representar las diferentes señales a analizar en cada tipo de bloque que se use en los diferentes diagramas de flujo, facilitando la identificación de las conexiones además de la compatibilidad entre un bloque y otro, puesto que si no se tiene el mismo tipo de datos en sus puertos de entrada y salida, se verá reflejada una flecha de color rojo indicando un error de tipo de datos el cual debe ser corregido para poder ejecutar el diagrama de bloques. [3]

Los colores más usados son el azul para Complex Float 32, naranja para Float 32, amarillo para Integer 16 y púrpura para Integer 8, en el caso de esta práctica se usó el color naranja, es decir el tipo de datos Float 32 para representar números de punto flotante con parte racional y parte entera, además pueden ser positivos o negativos.



- La razón por la que una señal cuando se interpola disminuye su frecuencia es porque se agregan muestras adicionales entre las muestras originales de la señal lo que modifica su frecuencia disminuyéndola. Este método se realiza gracias a que captura con mayor precisión los detalles de la señal original por lo que es útil en la práctica usando GNURadio cuando se tiene una señal con pocas muestras.

- El **teorema de Nyquist** dice que se puede reconstruir cualquier señal a partir de muestras tomadas de la misma señal, siempre y cuando se cumpla que la Frecuencia de Muestreo =  $2 * \text{Frecuencia de la Señal}$ , lo que se conoce como "Frecuencia de Nyquist". [4]

Se relaciona con el ancho de banda puesto que este se refiere al rango de frecuencias de la señal que contienen la información a analizar, es decir que una señal con un ancho de banda mayor, requiere una frecuencia de muestreo más alta para que la señal pueda ser representada de una forma correcta, de no ser así puede llegar a observarse distorsión o aliasing, por ende se perdería información en la señal.

- Los **filtros pasa bajas** tienen la finalidad de limitar la frecuencia de una señal, en otras palabras elimina o atenúa las frecuencias altas (banda de atenuación) y únicamente deja pasar las frecuencias bajas (banda de paso). La frecuencia de corte del filtro pasabajas debe ser menor que la mitad de la frecuencia de muestreo para evitar aliasing. Estos filtros se usan principalmente para asegurarse de que no hay componentes de frecuencias altas (ruido) que causen aliasing, mejorando la calidad de la señal, este filtro tiene aplicaciones en la transmisión de datos en telecomunicaciones, procesamiento de señales de audio, análisis de espectro, entre otros.
- Los **filtros pasa banda** se usan principalmente para seleccionar una banda específica de frecuencias de la señal, haciendo que solo se pase la información que está dentro de un rango determinado de frecuencias y rechaza o atenúa las frecuencias que no se encuentren dentro de esa banda específica de frecuencias. La frecuencia de corte superior debe ser menor que la mitad de la frecuencia de muestreo y la frecuencia de corte inferior depende del margen para evitar las interferencias y establece el inicio de la banda de paso del filtro, finalmente el ancho de banda es la diferencia entre la frecuencia de corte superior y la fre-

cuencia de corte inferior, la frecuencia central se puede obtener sumando las frecuencias de corte inferior y superior y luego dividiéndolas en dos. Además, sirve para rechazar interferencias de otras señales que afectarían la información que se esté transmitiendo, enfocándose únicamente en la banda de frecuencias de interés, también se usa para separar señales y para evitar el ruido que se encuentra fuera de la banda seleccionada de frecuencias. Además, este filtro pasa banda tiene aplicaciones en protecciones de sistemas de recepción, entre otros.

- Los **filtros pasa altas** tienen la finalidad de atenuar las frecuencias de las señales que se encuentren por debajo de una frecuencia de corte específica, en otras palabras elimina las frecuencias bajas (banda de atenuación) y solamente deja pasar las frecuencias altas (banda de paso). La frecuencia de corte del filtro pasa altas debe ser menor que la mitad de la frecuencia de muestreo para evitar el aliasing igual que con el filtro pasa bajas. Principalmente se usan para eliminar componentes y ruido de señales con frecuencias bajas en aplicaciones de grabación de audio, filtrado de señales de audio eliminando frecuencias bajas que no son audibles lo cual mejora la calidad del sonido.
- Al tener la señal en dominio de tiempo y frecuencia se puede tener un análisis más completo ya que al tener una señal en el dominio del tiempo se puede observar cómo tiene ciertos cambios y al tener al mismo tiempo la señal en frecuencia se puede observar que frecuencias están contribuyendo a esos cambios, también se puede identificar picos en el dominio del tiempo y al mismo tiempo verificar si esos picos corresponden a picos espectrales de la frecuencia.
- Cuando se reduce la frecuencia de muestreo por debajo de la frecuencia de la señal de audio, se presenta el fenómeno conocido como aliasing en donde las frecuencias altas se doblan o duplican pero en frecuencias más bajas, esto causa distorsión en la señal de audio, ya que no se toman todas las frecuencias de la señal, en especial las frecuencias altas, el efecto escuchado en la señal de audio es como una especie de 'pausas' que tiene la señal de audio, estas 'pausas' se hacen de mayor duración si se reduce aún más la frecuencia de muestreo, es decir, se eliminan muestras de la señal de audio original, haciendo que se escuchen pequeños tramos del audio.



- La ventaja de usar un ecualizador que permite amplificar o reducir el sonido en bandas de frecuencia específicas con el fin de ajustar la calidad y el carácter del sonido por medio de GNURADIO es que su interfaz es sencilla e intuitiva para manejar sus aplicaciones son varias ya que se puede hacer: un sistema de FM, un receptor FM, un analizador de espectros, receptor digital, entre otros. [5]

### 3. Conclusiones

Gracias al software presentado en el laboratorio (GNU-Radio) se familiarizó con su uso, determinando su importancia, sus ventajas y desventajas según los parámetros involucrados, y lo útil que es para el estudio y análisis del procesamiento de señales.

La implementación de filtros en GNURadio es esencial para para mejorar la calidad de las diferentes señales que se analizan con el fin de cumplir con un ancho de banda en específico, también sirven para evitar distorsión y aliasing en las señales desempeñando un buen rendimiento al momento de procesar las señales.

Es de gran ayuda usar la documentación y tutoriales provenientes del sitio web oficial de GNURadio esto con el fin comprender, afianzar y expandir los conocimientos expuestos en las clases de laboratorio sobre el manejo de este software.

Una ventaja es que al muestrear la señal en el límite de Nyquist se usa todo el ancho de banda disponible ya que en algunos sistemas de comunicación el espectro puede ser limitado. Una desventaja es que al muestrear la señal en el límite de Nyquist, el sistema puede ser más sensible a ruido debido que pequeños cambios pueden causar errores al momento de recuperar la señal.

La relación de muestreo de una señal debe ser al menos mayor a 2, esto con el fin de asegurar una alta fidelidad

en la representación de la señal muestreada ya que la frecuencia de muestreo es lo suficiente para evitar el aliasing.

La interpolación aumenta la tasa de muestreo, agregando muestras adicionales entre las muestras originales de la señal original, es decir, reduce la frecuencia de la señal original. El diezmado reduce la tasa de muestreo, eliminando muestras de la señal original, es decir, aumenta la frecuencia de la señal original.

El uso de filtros en GNURadio es de gran utilidad debido a que se pueden seleccionar tramos en específico de señales de voz, audio, entre otras, esto gracias a las frecuencias de corte seleccionadas para cada tipo de filtro, haciendo que se aumente o reduzca el ancho de banda, permitiendo escuchar y visualizar los detalles de altas y bajas frecuencias.

### Referencias

- [1] "Acerca de gnuradio." [Online]. Available: <https://www.gnuradio.org/about/>
- [2] "Category: Block docs." [Online]. Available: [https://wiki.gnuradio.org/index.php?title=Category:Block\\_Docs](https://wiki.gnuradio.org/index.php?title=Category:Block_Docs)
- [3] "Signal data types." [Online]. Available: [https://wiki.gnuradio.org/index.php?title=Signal\\_Data\\_Types](https://wiki.gnuradio.org/index.php?title=Signal_Data_Types)
- [4] M. Semeria, "Los tres teoremas: Fourier - nyquist - shannon," *Universidad del Centro de Estudios Macroeconómicos de Argentina (UCEMA)*, Buenos Aires, pp. 9 – 12, 2015.
- [5] "Muy interesante." [Online]. Available: <https://www.muyinteresante.es/tecnologia/24687.html>