

# Práctica 1: GNURADIO

Josman Esneider Rico Torres - 2201530  
Julián Francisco Romero Amaya - 2204652

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

15 de septiembre de 2023

## Resumen

En el siguiente laboratorio se verán los principios básicos y aplicaciones demostrativas de el teorema de Nyquist, muestreo, interpolación y diezmado, esto, realizando diferentes montajes de simulación en la herramienta GNURADIO, la cual nos permite recrear de manera ficticia fuentes de señales, modificar sus propiedades, además de la posibilidad de mostrarla gráficamente junto con su espectro en frecuencia.

Entre otras cosas también permite aplicar diferentes tipos de filtros, amplificadores, etc. Toda esta información es aplicable al software que permite realizar la comprobación de todos estos conceptos de manera fácil y adecuada.

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

## 1. Introducción

- La teoría de muestreo en el procesamiento de señales es muy importante pues permite al sistema trabajar con una señal lo suficiente mente precisa como para observar la información adecuadamente, sin descuidar el hecho de los límites de cómputo. Teniendo en cuenta estos factores y el teorema de Nyquist se puede llegar a un muestreo ideal.
- El potencial de GNURADIO puede apreciarse fácilmente al momento de tener que trabajar una señal de algún tipo, esto en un software de confianza, además de libre. GNURADIO cumple con creces estos parámetros, además de su intuitiva interfaz, la cual hace que el trabajo en el laboratorio sea muy fluido.
- Cuando se llega al límite de Nyquist la señal es muestreada de manera correcta, sin embargo, la misma podría ser mejor, esta tiene falta de armónicos que podrían describir la señal con mayor precisión.

Al descender de este limite la señal se empieza a muestrear de una manera errónea, esto desencadena en una pérdida de información, o mal interpretación de esta, por ejemplo, se observo que al tener una frecuencia de muestreo menor a la frecuencia de una señal seno, la onda interpretada es una señal de una frecuencia mucho menor a la real.

- El limite real esta en que la señal de muestreo debe ser 2 veces la frecuencia de la onda o mayor a este valor. Si llegamos justo a este límite, la señal y la frecuencia de esta se identifica correctamente, sin embargo, se aprecio durante el laboratorio que la información de la señal es mejor recibida manteniendo una relación de 5 entre la frecuencia de muestreo y la frecuencia de la señal. En este limite nuestros datos tiene una precisión muy buena.

- El proceso de interpolación realiza un aumento de datos, lo que hace es separar un poco el espacio en los datos existentes y generar una interpolación entre ellos, este proceso divide la frecuencia de la onda original, y me genera mas suavidad en la misma.

Se encuentra útil cuando tenemos cierta certeza de como de comporta la onda y queremos tener más precisión en los datos de la misma, o cuando no tenemos los suficientes datos, y con este proceso mejoraremos la precisión de lo que buscamos lograr en nuestro sistema.

- El proceso de diezmado es el inverso de la interpolación, lo que hace este proceso es eliminar información de mi señal, juntando un poco los puntos conocidos y eliminando algunos entre ellos. Esto aumenta la frecuencia de mi señal y genera perdida de datos. Es importante realizar este proceso cuando la señal que se tiene es innecesariamente grande en cuanto a su información, y con un diezmado aumentaremos la eficiencia del sistema.

- Al superar este límite la señal muestreada será más parecida a la original, tomando de esta manera más información de la misma, si se usa cada vez más frecuencia terminaremos con la onda original, sin embargo, esto no es conveniente cuando una onda más precisa no mejora el proceso y tenemos límites de procesamiento computacional
- Si se tiene un audio con cierta información difícil de entender ya sea para nosotros o para el software, con una interpolación adecuada puede que se logre descifrar de manera más precisa los datos en el audio. Mediante un diezmado se puede aumentar la velocidad de reproducción de un audio, en caso por ejemplo de que este sea innecesariamente largo, mejorando la eficiencia con la que se obtiene la información de este.

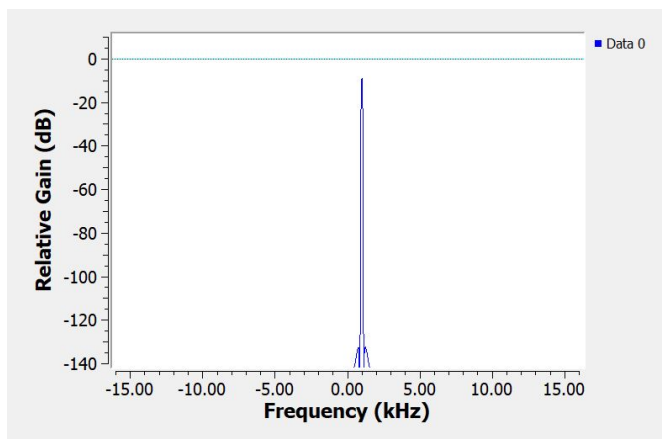


Fig. 1: Espectro en frecuencia

En la figura 1 se puede observar el resultado de una señal coseno que opera a una frecuencia de 1 kHz al pasar por el bloque QT GUI frequency SINK; Se muestra la transformada de Fourier de la señal indicada en el dominio de la frecuencia.

## 2. Procedimiento

- En GNU Radio, el bloque "Throttle" procesa las muestras de la señal de entrada, con una velocidad específica sin alterar de manera general la señal. Se utiliza para el control del flujo de muestras en ausencia de un bloque limitador de velocidad, que normalmente está intrínseco en hardware [1], mostrando una representación final más adecuada para su análisis. Generalmente se conecta a la salida de un bloque fuente para limitar la velocidad a la que este crea muestras.
- Para visualizar la magnitud del espectro en frecuencia se hace uso del bloque QT GUI frequency SINK, involucrando parámetros como el tamaño de la FFT, el tipo de ventana y valores de frecuencia para el ancho de banda, la frecuencia central y demás datos relevantes. En resumen, es útil para monitorear y analizar señales en tiempo real, en el dominio de la frecuencia.
- Los colores utilizados para representar los módulos tienen como propósito ser una guía para los usuarios a comprender la función y las propiedades de cada bloque. Existe una variedad de colores que corresponde a un tipo de datos diferente. Por ejemplo, el color naranja representa datos de tipo punto flotante, el verde lo hace con valores enteros y el púrpura con datos string.
- La interpolación "toma las muestras originales, las separa y crea una información ficticia", esto desencadena en una menor frecuencia. Se obtiene una señal interpolada, con un valor de frecuencia dado por la relación entre diezmado e interpolación por la frecuencia de la señal original.

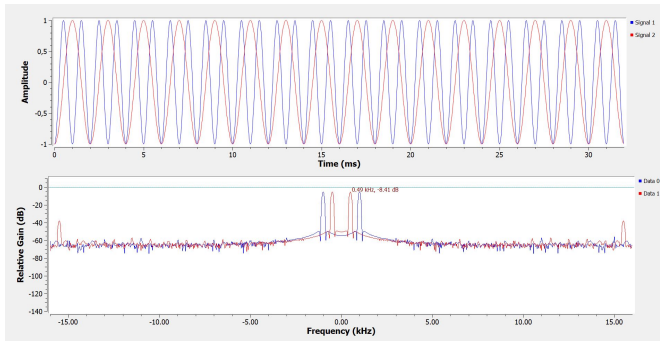


Fig. 2: Interpolación de una señal

Es posible comprobar este fenómeno en la figura 2, la cual representa una señal interpolada con una mayor suavidad en su forma de onda; La relación entre los factores de diezmado e interpolación fue 1 a 2 respectivamente, lo que conlleva a obtener una señal que opera a la mitad de la frecuencia de la señal original. La utilidad de interpolar una señal en la práctica refiere mayor resolución y calidad en el dominio de la frecuencia junto con reducción de ruido.

- El Teorema de Nyquist sostiene que una señal continua que tiene un ancho de banda BW puede ser convertida a una versión muestreada en el tiempo (muestreo uniforme) y viceversa sin que se presente pérdida alguna entre esas conversiones, siempre y cuando se respete la siguiente regla: La frecuencia de muestreo  $F_{smp}$  de la versión muestreada debe ser igual o mayor a dos veces el ancho de banda de la versión continua, que representa la frecuencia más alta presente en la señal [2].

$$F_{smp} \geq 2BW \quad (1)$$

En resumen, el teorema de Nyquist establece que la tasa de muestreo debe ser suficientemente alta para capturar adecuadamente todas las frecuencias presentes sin perder información de vital importancia.

- Los filtros pasabajas permiten el paso de las frecuencias por debajo de una cierta frecuencia de corte mientras atenúan o rechazan las frecuencias por encima de esta frecuencia.

El límite de frecuencia de corte en un filtro pasabajas se define como la frecuencia a la cual la ganancia de la señal tiene una atenuación del 30 % de su valor máximo (esto corresponde a -3 dB en

la respuesta de frecuencia). En función de la frecuencia de muestreo, la frecuencia de corte ( $f_c$ ) en un filtro pasabajas debe ser menor que la mitad de la frecuencia de muestreo en condición al teorema de Nyquist.

- Los filtros pasabanda se utilizan en situaciones en las que se desea aislar o resaltar un rango específico de frecuencias dentro de una señal, permitiendo el paso de un rango de frecuencias alrededor de una frecuencia central deseada.

Los límites de las frecuencias de corte en función de la frecuencia de muestreo están relacionados con el Teorema de Nyquist y son los siguientes: La frecuencia de corte inferior debe ser mayor que cero y menor que la mitad de la frecuencia de muestreo. Por otro lado, la frecuencia de corte superior debe ser menor o igual a la mitad de la frecuencia de muestreo y mayor a la frecuencia de corte inferior. Esto garantiza que todas las frecuencias dentro de la banda de interés se muestren adecuadamente.

En el desarrollo de la práctica se realizaron diversos análisis en relación al audio de una canción, en donde por medio de los filtros mencionados anteriormente se lograba aislar el sonido de la voz e instrumentos que operan a determinada frecuencia.

- En el procesamiento de audio, los filtros pasa altas se utilizan para eliminar el ruido de baja frecuencia, como el ruido de fondo constante o zumbidos, sin afectar negativamente a las frecuencias de interés, como la voz o la música.

Este tipo de filtros desempeñan un papel importante en la limpieza y mejora de señales al eliminar componentes de baja frecuencia no deseados. Con respecto a la práctica, se logró aislar los instrumentos presentes en la canción que operaban a una frecuencia alta en relación a los demás.

Los resultados obtenidos en el tratamiento de la señal de audio simulando un ecualizador fueron los siguientes:

- ◇ Aplicando un filtro pasa bajas, se obtienen las tonalidades graves de la voz y de la batería como el bombo, además con este filtro fue posible oír específicamente el instrumento del bajo.
- ◇ Es notorio el efecto resultante al aislar las frecuencias menores a 2.5KHz ya que no se toma el timbre de la voz, ni de la guitarra, debido a que la canción se escucha mas tenue a estas frecuencias.

- ◇ Se logro aislar completamente el sonido de la batería con un filtro pasa altas a una frecuencia de corte de aproximadamente 5KHz.
- ◇ Utilizando un filtro pasa banda, se puede escuchar únicamente la voz y la guitarra. Estos procedimientos se llevaron a cabo de manera experimental con las variables involucradas.
- La visualización simultánea de señales en el dominio del tiempo y frecuencia proporciona un análisis más detallado y completo. Por un lado, el dominio del tiempo puede revelar patrones y detalles temporales. Por otro lado, el análisis en el dominio de la frecuencia permite identificar picos de frecuencia, armónicos y contenido espectral. Al ver ambas representaciones al mismo tiempo, es posible identificar componentes específicos en la señal. Además, se evalúa el comportamiento de la misma durante el procesamiento, ajustando los parámetros involucrados y viendo cómo afectan a la señal en ambas representaciones.
- Cuando se disminuye la frecuencia de muestreo por debajo o incluso menor al doble de la frecuencia a la que opera el audio, no se está respetando el teorema de Nyquist y por lo tanto no se toma la onda de entrada como realmente es, en el proceso se pierde información y es por ello que al oír la canción se hará de manera cortada. No respetar el teorema puede llevar a la distorsión, inclusión de ruido, pérdida de información y deficiente calidad del audio.
- Un ecualizador de audio permite ajustar o controlar la respuesta de frecuencia de una señal de audio, es decir, permite amplificar o atenuar ciertas bandas de frecuencia para obtener un sonido deseado. En el software, se hizo uso de los bloques QT GUI Range que permiten variar los valores dentro de un rango de frecuencias, siendo aplicado en

todos los filtros de la práctica y simulando a su vez un ecualizador de audio.

GNU Radio proporciona una amplia variedad de bloques de procesamiento de señales y herramientas que se pueden utilizar en diversas aplicaciones, en este caso, un ecualizador, lo que permite realizar un procesamiento de señales más avanzado en tiempo real.

### 3. Conclusiones

- GNU Radio es una plataforma versátil para el desarrollo de aplicaciones de radio y procesamiento de señales. Proporciona un entorno flexible para diseñar sistemas de comunicación.
- Es importante comprender conceptos clave como la frecuencia de muestreo, el teorema de Nyquist, interpolación, diezmado y filtros para una aplicación correcta de los mismos en la práctica y un análisis eficiente de las señales estudiadas.
- La capacidad de procesar señales en los dominios de tiempo y frecuencia al mismo tiempo permite realizar análisis detallados y manipulaciones precisas.
- Se evidenciaron los efectos de un ecualizador de audio en GNU Radio, aislando instrumentos y sonidos que operan a determinada frecuencia.

### Referencias

- [1] "Gnu radio open-source software, list of blocks." [Online]. Available: [wiki.gnuradio.org](http://wiki.gnuradio.org)
- [2] H. Ortega and O. Reyes, *Comunicaciones Digitales basadas en radio definida por software*. Editorial UIS, Octubre 2019.