



Práctica 1: Frecuencia de muestreo en GNURADIO

SIERRA JEREZ CRISTIAN MANUEL - 2192308

PLATA VERA ABAD - 2191814

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

21 de abril de 2023

Resumen

El uso correcto de una frecuencia de muestreo puede brindarnos o no la posibilidad de recuperar cierta información a lo largo del procesamiento de una señal. En este trabajo haciendo uso de GNURADIO se proponen diferentes casos donde el centro de estudio es la frecuencia de muestreo y sus diferentes efectos al variarla.

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

1. Introducción

En el estudio de señales y en el proceso de su transmisión se pueden identificar diferentes parámetros y características propias de una señal. El correcto análisis de su espectro y el entendimiento del mismo puede marcar la diferencia entre medir correctamente una señal y obtener su información o por el contrario realizar una medición errónea de la señal y analizar ruido insignificante sin siquiera darnos cuenta. Por esta razón el estudio de las señales y sus diferentes componentes y procesos se vuelve un tema importante a estudiar en el campo de las telecomunicaciones donde se deben tener en cuenta temas y conceptos claves para un procesamiento correcto. Es por esta razón que salen a relucir temas y conceptos tales como:

- La importancia de la teoría de muestreo radica en poder transformar una señal del ambiente natural o transmitida, en datos secuenciales que el procesador o la herramienta a utilizar sea capaz de entender como información. Estos datos secuenciales se presentan como “muestras” en un intervalo de tiempo específico, estas muestras permiten analizar de manera discreta una señal y es por esto que un correcto muestreo evitara que algo de información se pierda o que se añada ruido que no

es necesario dentro del análisis.

Dentro del laboratorio se presenta algo parecido a lo que ocurriría en una situación real. Donde el correcto muestreo permite filtrar o tratar una señal y obtener de manera clara la información sin incurrir en ruido o interferencias que dificulten el análisis.

- El potencial de herramientas tales como GNURADIO permiten de manera menos compleja el análisis y estudio de señales. Dado a que en la realidad hay un sinnúmero de señales presentes en el espectro. Comenzar un aprendizaje del área con mediciones totalmente reales resulta bastante complejo, por lo que en la medición estará presente el ruido y demás señales en esa banda de frecuencia. GNU facilita y posibilita el estudio al poder generar señales una a una o ir mezclando de manera controlada las señales sin ahogarse en multitud de información que resulte irrelevante.

Herramientas de este tipo resultan totalmente útiles en el proceso de aprendizaje, al poder ir realizando diferentes procedimientos de manera más clara que enfrentándose a mediciones reales.

- Toda señal que alcance el límite de Nyquist se verá en un posible peligro de pérdida de información, ya que, de pasar este límite, aunque sea un poco la información que se recupere no será realmente la información que queremos. Llevar las señales al límite de Nyquist permite recuperar la información, pero deja la posibilidad de sobrepasarlo sin intención y que se pierda o sea difícil recuperar la señal después de realizar un proceso al ocurrir aliasing [1].
- El límite de Nyquist se alcanza cuando la frecuencia de muestreo es totalmente igual al doble de la



frecuencia propia de la señal. Es por esto que la relación entre frecuencia de muestreo y frecuencia de la señal debe ser del doble. La frecuencia de muestreo como mínimo debe ser el doble de la frecuencia de la señal a muestrear. Esto es lo que nos indica el teorema de Nyquist y es lo que permite que la información después de muestreada pueda ser recuperada.

En la práctica lo que se debe tener claro es exactamente qué frecuencia tiene mi señal a analizar y con esto poder establecer un periodo de muestreo acertado para evitar aliasing. Esto se debe tener en cuenta antes de realizar algún proceso sobre la señal que modifique su frecuencia. Dado que la frecuencia de una señal en ocasiones no es muy exacta de obtener, se debe respetar el rango de frecuencia de muestreo como mínimo del doble de la obtenida.

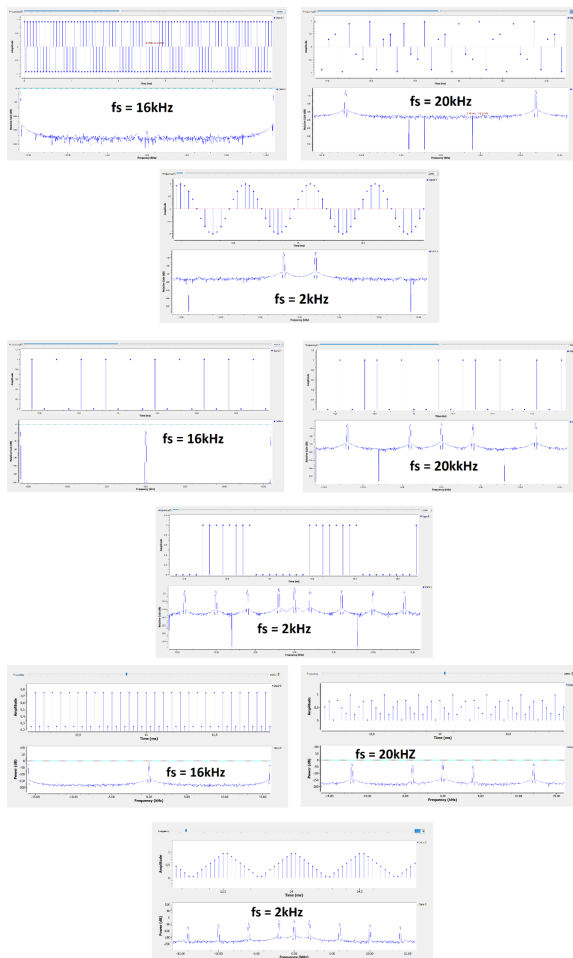
- El proceso de interpolar una señal, permite modificar su amplitud frecuencial en el espectro a manera de disminución. Esto puede ayudarnos a visualizar un espectro de una señal de manera más clara, dado que si la banda de frecuencia que está siendo analizada, presenta frecuencias con amplitudes muy bajas y nuestra señal presenta una frecuencia con amplitud muy alta, no será posible visualizar su valor o su pico máximo en esta banda de frecuencia. Por lo que al interpolar la señal se ajustará a una amplitud adecuada para su correcta visualización en el espectro y en el ancho de banda que estamos analizando.
- El proceso de diezmado por el contrario permite visualizar un espectro de amplitud muy baja en una banda de frecuencias con amplitudes muy altas. Lo que maximiza su amplitud frecuencial y permite realzar la ubicación de nuestra señal en el espectro, esto sirve como el caso contrario de la interpolación donde lo que se busca es ajustar la amplitud frecuencial de nuestra señal para distinguirla de manera clara a lo largo de la banda de frecuencias analizadas.
- La importancia de la frecuencia de muestreo radica en el teorema de Nyquist el cual especifica que la frecuencia de muestreo debe tener una relación de dos veces la frecuencia propia de la señal, ya que de lo contrario la señal muestreada no tendrá características muy buenas y se perderá información a lo largo del procesamiento y en la recuperación

de la misma además de llegar a ser visualmente difícil de entender algún patrón o forma en la señal muestreada erróneamente. Es por esto que es muy importante entender y tener clara la señal que vamos a analizar para conocer su frecuencia y poder muestrearla correctamente. [2]

- Estudiar señales de audio se puede relacionar con el estudio de señales senoidales o cosenoidales ya que la forma de onda y comportamiento de una señal auditiva se puede comparar o componer de varias señales senoidales mezcladas. Entender claramente el procesamiento de una señal de audio permite entender profundamente el procesamiento de señales como seno, coseno, cuadradas, triangulares y demás.

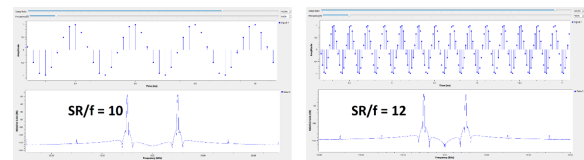
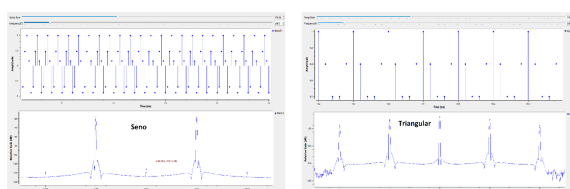
2. Procedimiento

- Para llevar a cabo un estudio sobre las frecuencias de muestreo con la herramienta de GNURADIO se siguieron los pasos descritos en el cuestionario propuesto por el docente y se realizaron los respectivos análisis de los resultados:
- Usando una frecuencia de muestreo de 32KHz y una señal de frecuencia 16KHz se puede evidenciar el límite de frecuencia descrito por el teorema de Nyquist donde el espectro se muestra en el límite del ancho de banda descrito por la frecuencia de muestreo. Si no se cumple este teorema el espectro que se ve será de una réplica que no es la que corresponde, esto teniendo en cuenta que el espectro de una señal es periódico. Una desventaja de llegar a este límite es que, si la frecuencia de la señal es exactamente la mitad de la frecuencia de muestreo, la información, aunque se puede recuperar, no tendrá una resolución muy exacta (hablando de la señal discreta), en cambio si la señal tiene una frecuencia mucho menor a la mitad de la de muestreo la información tendrá mayor resolución (Se podrá identificar más claramente la señal muestreada).

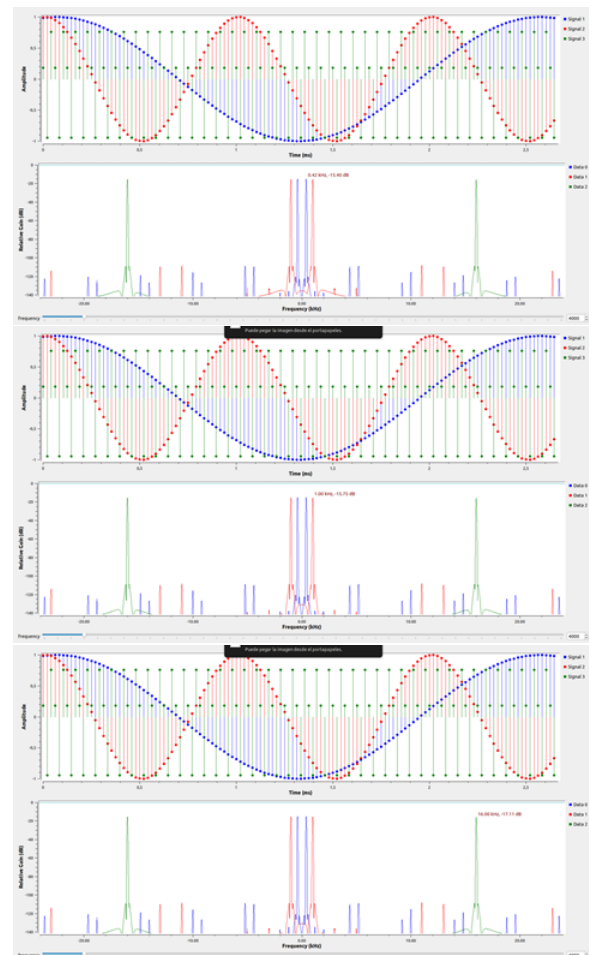


Ventaja: La señal todavía se puede recuperar **Des-ventaja:** Es difícil poder identificar a simple vista la señal original

- Cuando la relación entre samprate/frecuencia es de 5, lo que se puede observar es que en la señal muestreada cuenta con 5 muestras por ciclo esta relación se mantiene independiente del valor de la relación, si la relación (samprate/frecuencia=10) va a tener 10 muestras por ciclo y así sucesivamente. **Ventaja:** Respectó al límite de Nyquist, esta relación cuenta con mas muestras por ciclo lo que hace que identificar la señal original y recuperar la señal sea más fácil.



- El bloque rational resampler, cuenta con dos apartados importantes, e primero se llama interpolation y el segundo se llama decimation. A través de las pruebas realizadas podemos concluir que este bloque se trata de un multiplicador donde decimation es el numerador e interpolation es el denominador, este multiplicador aplicándose a la frecuencia de la señal.



En la señal podemos observar tres señales, la uno de color azul, la dos de color rojo y la tres de color verde, inicialmente todas cuentan con la misma frecuencia, pero al aplicar un bloque rational resampler a cada señal con diferentes valores podemos observar que cada señal se ubica en una



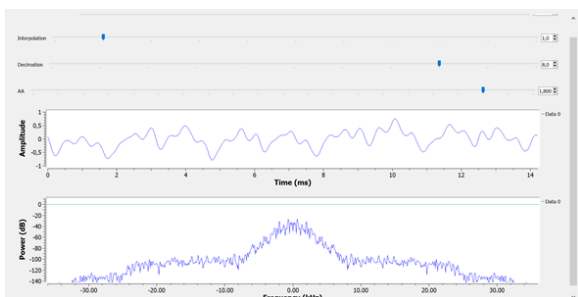
frecuencia completamente diferente.

$$Seal_1 = f_s \left(\frac{decimation}{interpolation} \right) = 4000 \left(\frac{1}{10} \right) = 0,4kHz \quad (1)$$

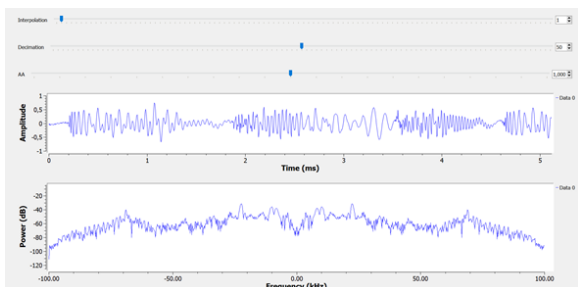
$$Seal_2 = f_s \left(\frac{decimation}{interpolation} \right) = 4000 \left(\frac{1}{4} \right) = 1kHz \quad (2)$$

$$Seal_3 = f_s \left(\frac{decimation}{interpolation} \right) = 4000 \left(\frac{4}{1} \right) = 16kHz \quad (3)$$

- La función del bloque Multiply const es realizar una multiplicación en amplitud la señal original, se podría ver como un bloque que me le aplica una ganancia o una atenuación dependiendo del valor que se le indique (Decimal o entero).



Cuando se trata de variar los parámetros decimation e interpolation la señal se ubica en una frecuencia completamente diferente a la esperada en este caso se colocó decimation en 50 e interpolation en 1 dando como resultado una señal que no tiene nada que ver con el audio original, se escucha un extraño pitido y del audio no se alcanza a distinguir nada, esto se debe al desplazamiento en frecuencia que se hizo.



Cuando se selecciona una frecuencia de muestreo inadecuada, el audio empieza a contar con mucha distorsión y se imposibilita distinguirlo a partir únicamente de lo que se escucha. Esto se hace más evidente en unas partes de la canción más que en otras.

- Describe las experiencias logradas con el Ecualizador desarrollado con GNURADIO.

3. Conclusiones

- El manejo de GNURADIO da una nueva perspectiva en la visualización de espectros y procesos en señales. Poder distinguir frecuencias y comportamientos espectrales de manera controlada, permite un aprendizaje más fluido y didáctico. Además de dar elementos más directos para el tratamiento o procesamiento básico de las señales, así como el proceso de muestrear y visualizar en frecuencia los componentes propios de las señales.
- La importancia de un correcto muestreo se hace notar en cada proceso que se realiza sobre señales en particular, dado que según la frecuencia con la que se muestrea permite o no ver la información propia de la señal en el espectro del GNU o posteriormente del analizador de espectros directamente.
- Respetar el teorema de muestreo y por consiguiente el teorema de Nyquist, nos permite controlar las señales y su información de manera que al procesarla o trabajar sobre ella no se pierda información o se pierda completamente la señal en replicas e información errónea a lo largo del espectro.
- La interpolación y la decimación en señales, permite modificar la frecuencia con la que se caracteriza cada señal, esto permite en ocasiones una mejor visualización en el espectro, si la frecuencia original de la señal no es muy notoria en la ventana de análisis que manejamos. Con estos procesos podemos ajustar a nuestro criterio las frecuencias de las señales y manejar de manera precisa valores más cómodos, teniendo en cuenta el factor de interpolación o de decimación podemos regresar a frecuencias originales después de procesado o analizado el espectro.
- Con respecto al procesamiento de audio, podemos concluir que una señal de audio cuenta con diferentes tonos cada uno de ellos asociado a un armónico que a su vez está asociado a una frecuencia, si se conoce esta frecuencia relacionada al armónico es posible filtrar este sonido característico para que se escuche en menor medida.



Referencias

[1] Efecto Aliasing <https://www.ni.com/es-co/shop/data-acquisition/measurement-fundamentals-main-page/>

[analog-fundamentals/acquiring-an-analog-signal--bandwidth--nyquist-sampling.html](#)

[2] Teorema Muestreo <https://www.uv.es/masefor/PAGINAS/muestreo.html>