

PRÁCTICA 1

(dos Sesiones)

Frecuencia de muestreo en GNURadio

Autores

Juan Camilo Sarmiento Gómez

Sergio Alejandro Uribe Gómez

Grupo de laboratorio:

D1A

Subgrupo de clase

Cinco (5)

INFORME DE RESULTADOS

DESARROLLO DEL OBJETIVO 1. PRESENTE A CONTINUACIÓN LOS RESULTADOS DEL OBJETIVO 1.

Parte a:

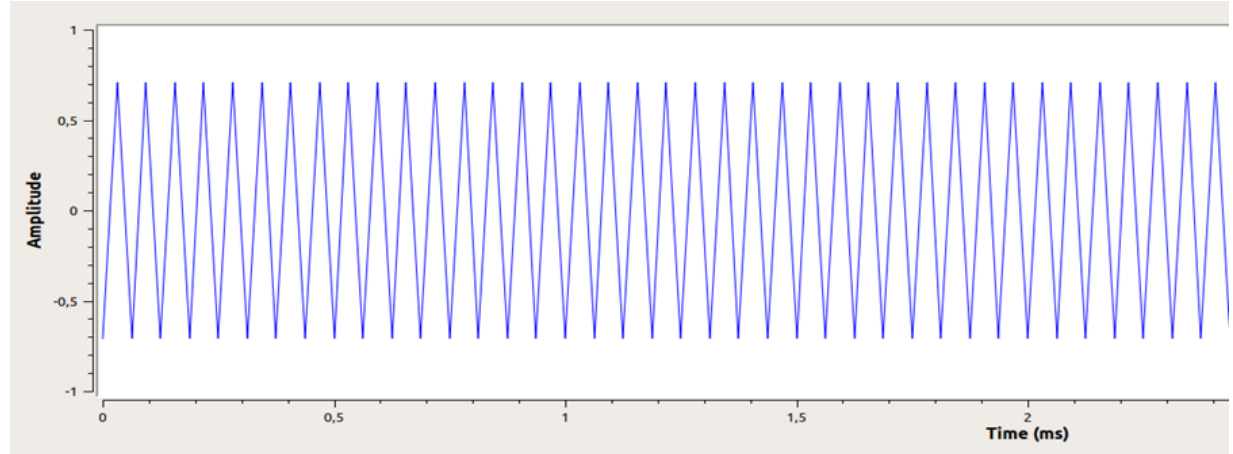


Figura 1. Señal sinusoidal de 16 [kHz] muestreada en su límite de Nyquist.

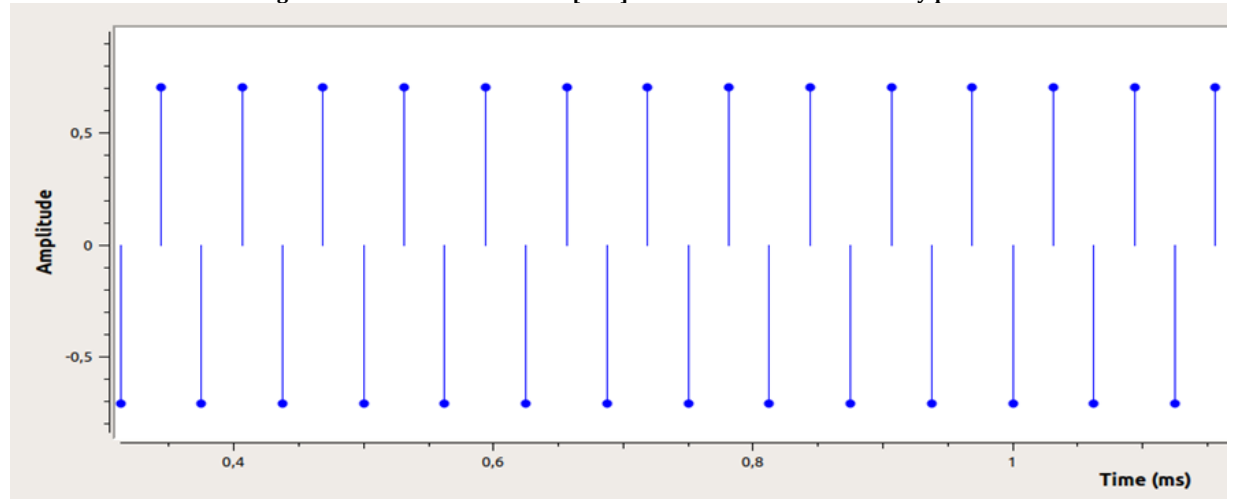


Figura 2. Espectro en el dominio del tiempo de una señal sinusoidal de 16 [kHz] muestreada en su límite de Nyquist.

Para la frecuencia máxima de la señal, $F_{\text{SIG}} = 16 \text{ [kHz]}$, se alcanzó un límite de Nyquist en una frecuencia de muestreo mínima de $F_M = 32 \text{ [kHz]}$, se podría pensar como ventaja de trabajar en este límite la garantía de no presentar el efecto de “**Aliasing**”, más se puede observar, que se pierden características de la señal senoidal originalmente muestreada, por ejemplo, la amplitud de esta, esto debido a que se toman puntos muy apartados donde no se alcanza a llegar al valor pico de la onda, teniendo una amplitud de aproximadamente 0.7, en lugar de la amplitud unitaria de la señal original, en conclusión, trabajar en el límite de la ecuación es una desventaja por la pérdida de información y distorsión del muestreo, bastante visible en la *Figura 2*.

Parte b:

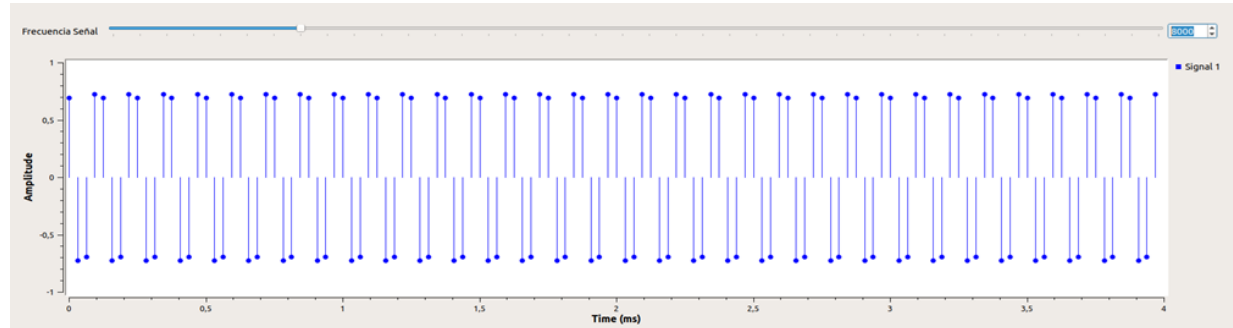


Figura 3. Espectro en el dominio del tiempo de una señal sinusoidal de 8 [kHz] muestreada a 32 [kHz].

Utilizando la misma frecuencia de muestreo de la parte a, $F_M = 32$ [kHz], se ajustó la frecuencia de la señal para cumplir la relación de muestreo de 4 muestras por ciclo, a $F_{SIG} = 8$ [kHz], el tener esta relación de muestreo, garantiza con bastante margen que se esta por encima del limite de Nyquist, permitiendo así reconstruir la señal de manera correcta, evitando el “Aliasing”, más aún con esta relación de muestreo, la precisión de reconstrucción de la señal no es óptima, pues se sigue presentando el hecho de perdida de información, como se puede observar en la Figura 3, se sigue perdiendo aun así la amplitud de la señal original, y la forma de onda se ve alterada, siendo estas desventajas de esta relación de muestreo de 4.

Parte c:

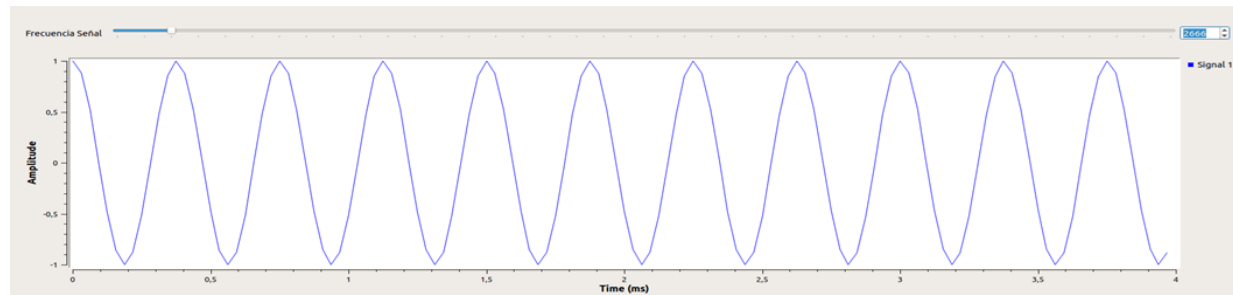


Figura 4. Señal sinusoidal de 3 [kHz] muestreada a 32 [kHz] (12 muestras/ciclo).

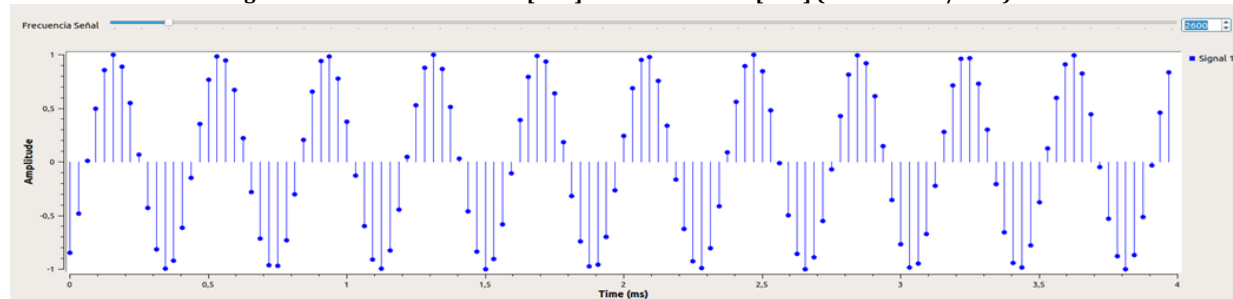


Figura 5. Espectro en el dominio del tiempo de una señal sinusoidal de 3 [kHz] muestreada a 32 [kHz].

Utilizando la misma frecuencia de muestreo de la parte a, $F_M = 32$ [kHz], se ajustó la frecuencia de la señal para cumplir la relación de muestreo de 12 muestras por ciclo, a $F_{SIG} = 3$ [kHz], cumpliendo con creces el criterio de Nyquist, donde se puede ver como ventaja una reconstrucción bastante fiel de la onda seno en la Figura 4, además, no hay pérdidas de amplitud: como se puede apreciar esta es igual a 1. En la señal muestreada se puede evidenciar a simple vista su forma senoidal, siendo esto una completa ventaja, debido al número de muestras que se toman por ciclo de la señal, el cual en este punto es bastante mayor a las anteriormente analizadas de acuerdo a la observación de la Figura 5.

DESARROLLO DEL OBJETIVO 2. PRESENTE A CONTINUACIÓN LOS RESULTADOS DEL OBJETIVO 2.

Diezmado

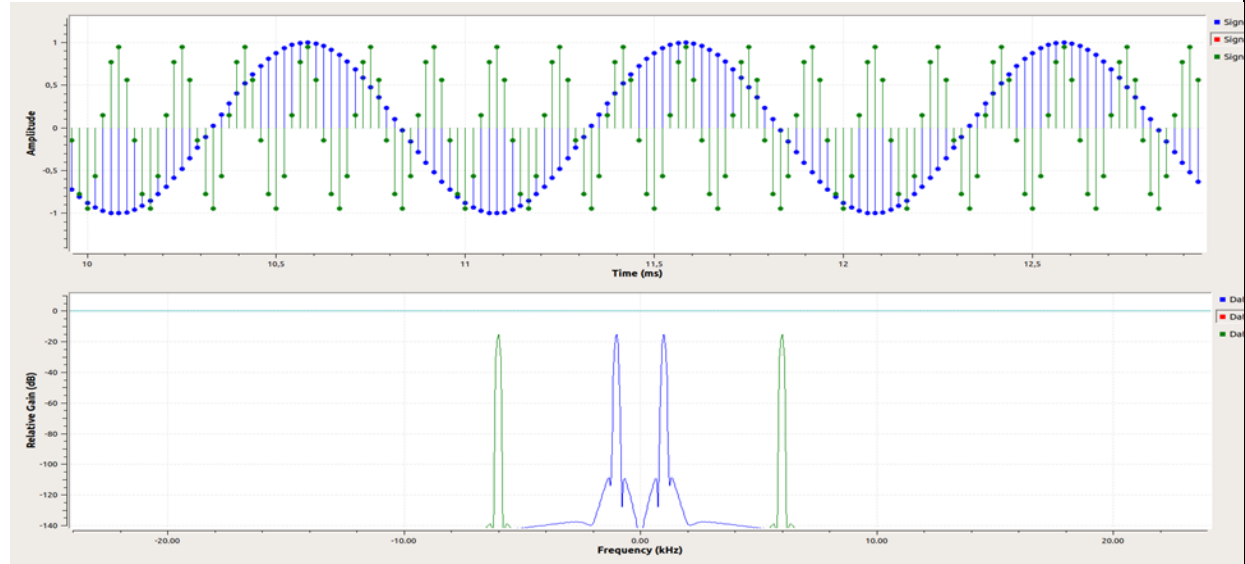


Figura 6. Comparación de dos señales: señal sinusoidal (azul) y señal sinusoidal diezmada a un factor de 6 (verde).

Se tomó un parámetro de diezmado **Decimation = 6**, así pues, la señal diezmada presenta una frecuencia igual a 6 veces la frecuencia de la señal original, esto se puede ver en la Figura 6, específicamente en el espectro en frecuencia de las señales, donde la señal original es de color azul, y la señal diezmada corresponde a la señal verde.

$$F_D = 6(F_{SIG}) \quad (1)$$

Así, al diezmado, y como se puede observar en la figura donde se presentan ambas señales, azul y verde superpuestas, la cantidad de ciclos de la señal diezmada en un ciclo de la señal original es 6, por lo que se puede decir que el parámetro de diezmado muestra la cantidad de ciclos que tendrá la señal diezmada, en un solo ciclo de la señal original.

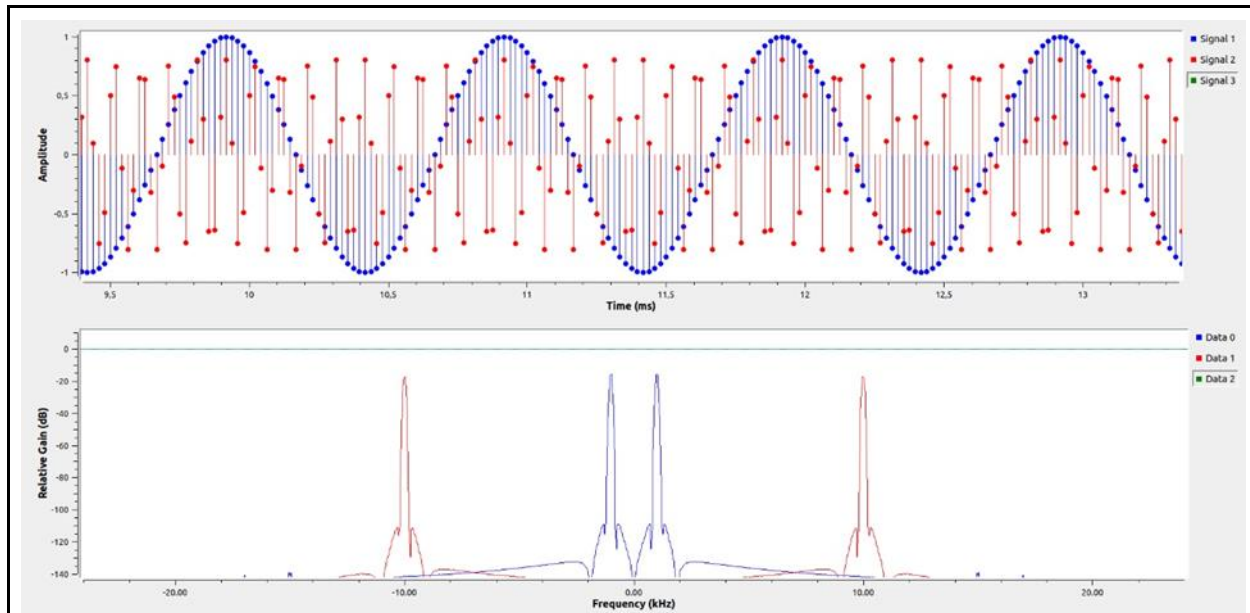


Figura 7. Comparación de dos señales: señal sinusoidal (azul) y señal sinusoidal diezmada a un factor de 10 (rojo).

Algo interesante y que cabe mencionar, es que, al variar el parámetro de diezmado, incrementándolo, en este caso a **Decimation = 10**, como se puede observar en la Figura 7, donde la señal diezmada corresponde a la señal de color rojo, y la señal original a la señal azul, al aumentar dicho valor, se disminuye la cantidad de muestras por ciclo de la señal diezmada.

En la figura se puede observar la comparativa de la señal original, de color azul, la señal diezmada, de color verde, y la señal interpolada, de color rojo. Como es evidente en el espectro, la frecuencia de la señal original es un intermedio de la frecuencia de la señal diezmada, la cual es mayor en un factor correspondiente al coeficiente de diezmado, y la señal interpolada, la cual es menor en un factor correspondiente al coeficiente de interpolación, así también se puede observar el comportamiento de las ondas, donde un ciclo de la onda original contiene varios ciclos de la onda diezmada, y a su vez, varios ciclos de la onda original están contenidos en un ciclo de la onda interpolada.

Interpolado

Se tomó un parámetro de interpolación **Interpolation = 5**, así pues, la señal interpolada presenta una frecuencia 5 veces menor a la frecuencia de la señal original, este fenómeno se puede ver específicamente en el espectro en frecuencia de las señales, donde la señal original es de color azul, y la señal interpolada corresponde a la señal roja.

$$F_i = \frac{F_{SIG}}{5} \quad (2)$$

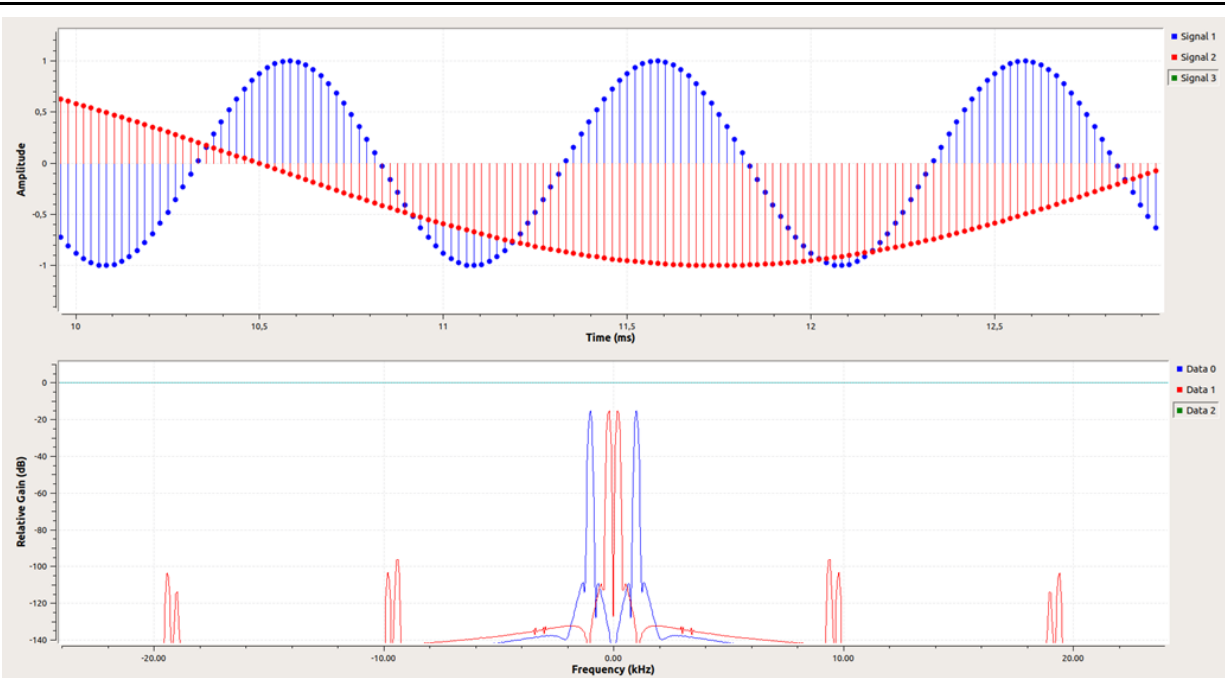


Figura 8. Comparación de dos señales: señal sinusoidal (azul) y señal sinusoidal interpolada a un factor de 5 (rojo).

Como se puede observar en la Figura 8, en un ciclo de la señal interpolada, correspondiente a la señal roja, hay 5 ciclos de la señal original, correspondiente a la señal azul, por lo cual se puede decir que el coeficiente de interpolación indica el número de ciclos de la señal original que puede contener la señal interpolada. En la Figura 9 existe otro ejemplo de ello, pero utilizando un coeficiente interpolación igual a 8.

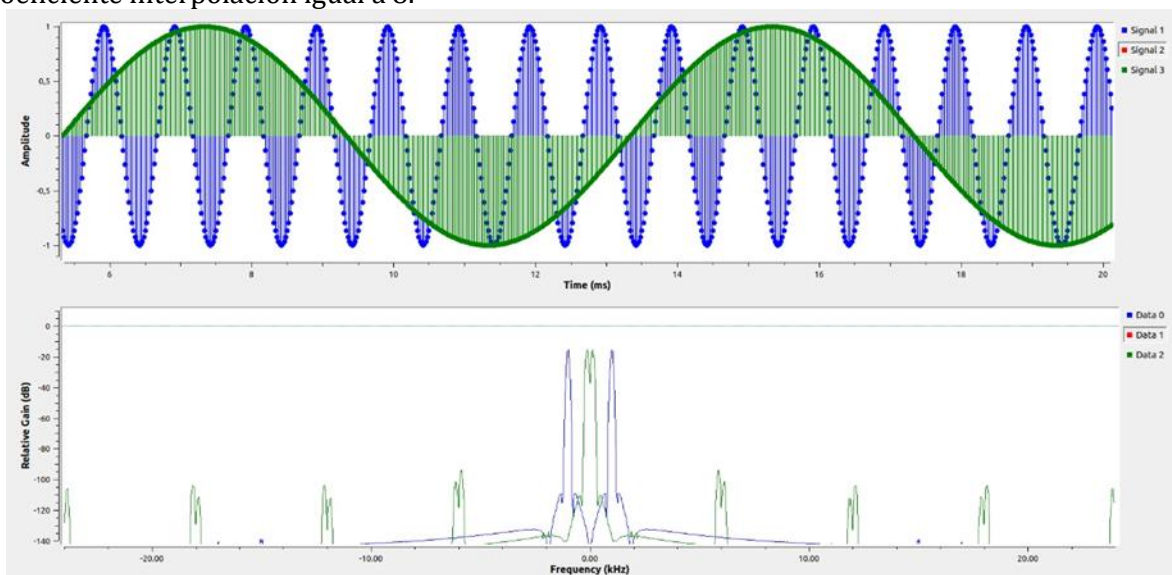


Figura 9. Comparación de dos señales: señal sinusoidal (azul) y señal sinusoidal interpolada a un factor de 8 (verde).

DESARROLLO DEL OBJETIVO 3. PRESENTE A CONTINUACIÓN LOS RESULTADOS DEL OBJETIVO 3.

Cómo calcular la frecuencia de muestreo de una señal y anexo una gráfica donde se evidencia el resultado.

Para realizar el cálculo de la frecuencia de muestreo óptima para visualizar y procesar la información de la señal, se requiere tener la frecuencia máxima correspondiente al producto de las señales, esto es el resultado de la suma de las frecuencias de las señales en producto. Ya con esta frecuencia máxima, se aplica el criterio de Nyquist, mostrado en el inicio de la práctica.

Para este caso fueron utilizadas tres señales sinusoidales con frecuencia de 9 [kHz], 27 [kHz] y 15 [kHz], como es posible observar en la Figura 10, por tanto, **la frecuencia máxima posible en la señal es igual a 51 [kHz]**.

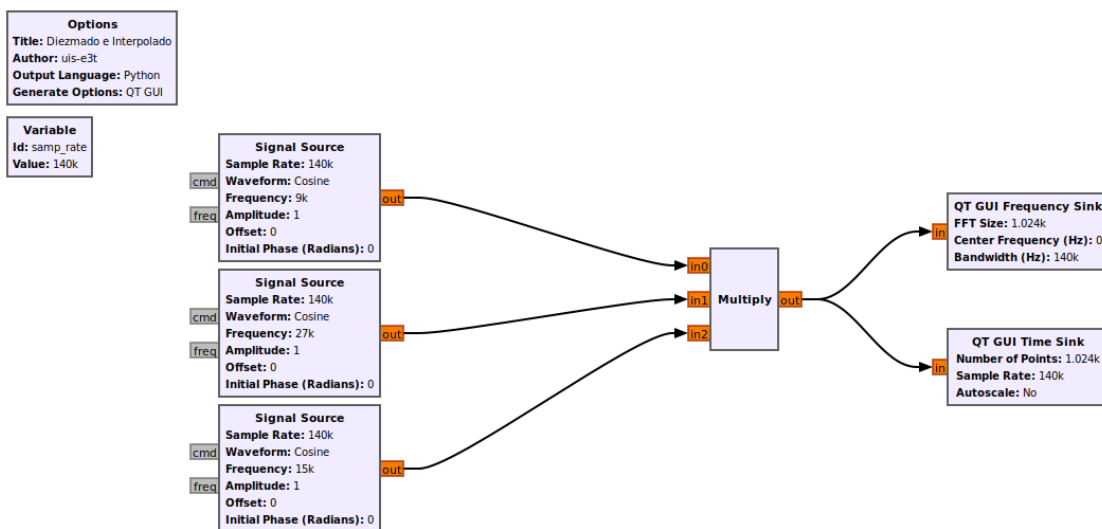


Figura 10. Esquemático de implementación para la multiplicación de tres señales sinusoidales en GNURadio.

La frecuencia mínima de muestreo debe ser como mínimo 2 veces la frecuencia máxima de la señal, no obstante, es recomendable, trabajar con frecuencias mucho mayores a la señal original, donde en la práctica se prefieren frecuencias de muestreo al menos 4 o 5 veces mayores a la señal original que será muestreada con el fin de obtener una representación de la señal más acertada.

En la Figura 11 es observable el resultado de realizar el muestreo de la señal descrita en su límite de Nyquist.

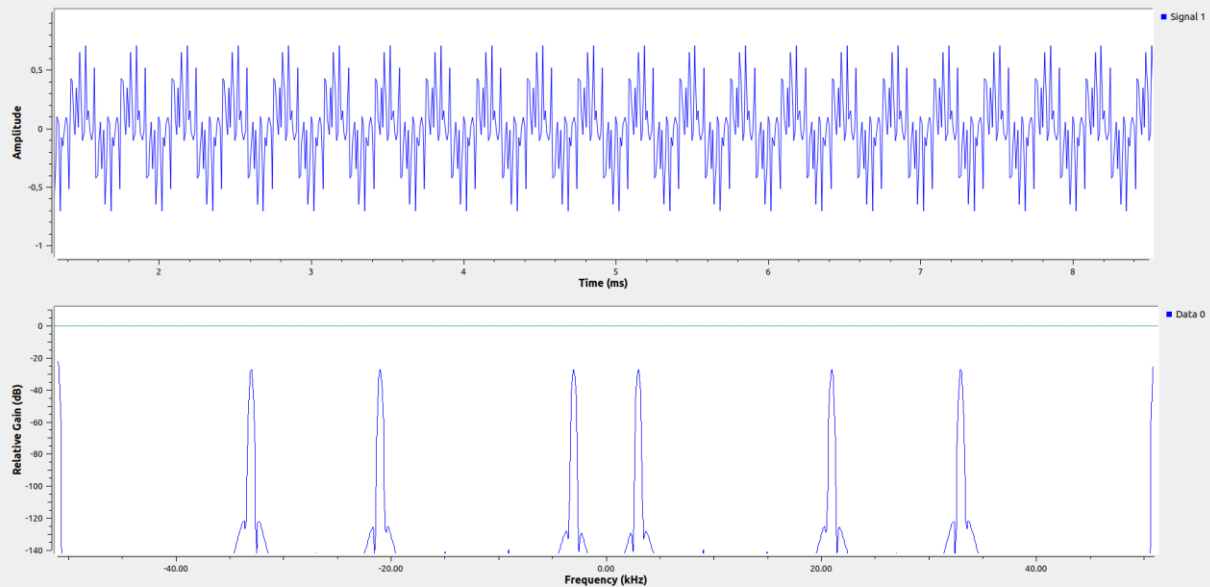


Figura 11. Señal producto la multiplicación de tres señales sinusoidales de 9 [kHz], 27[kHz] y 15 [KHz] muestreada en su límite de Nyquist (102 kHz).

En la Figura 12 se encuentra la señal muestreada ahora 10 veces a su frecuencia máxima, es decir, 51 [kHz]. Son evidentes las diferencias en la resolución de la señal, siendo la de la Figura 12 mucho más acertada, como se vio anteriormente en el estudio del principio de Nyquist.

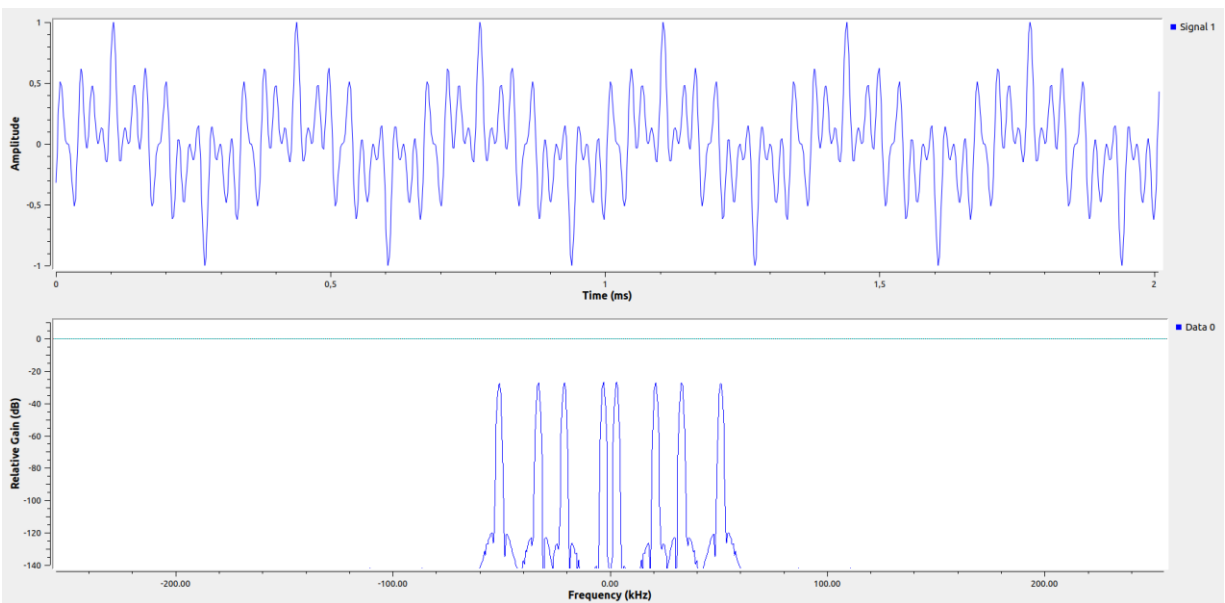


Figura 12. Señal producto la multiplicación de tres señales sinusoidales de 9 [kHz], 27[kHz] y 15 [KHz] muestreada a 510 [kHz].