

Autor: Pedro I. López

Contacto: dreilopz@gmail.com | www.dreilopz.me

Licencia: Creative Commons Attribution 3.0 Unported (CC BY 3.0

<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>)

Fecha: Febrero 2012.

En ninguna circunstancia el autor se hace responsable de cualquier daño a cualquier persona o hardware causado por realizar lo descrito en este documento.

## Práctica 3

# Fundamentos de muestreo, procesamiento y señales

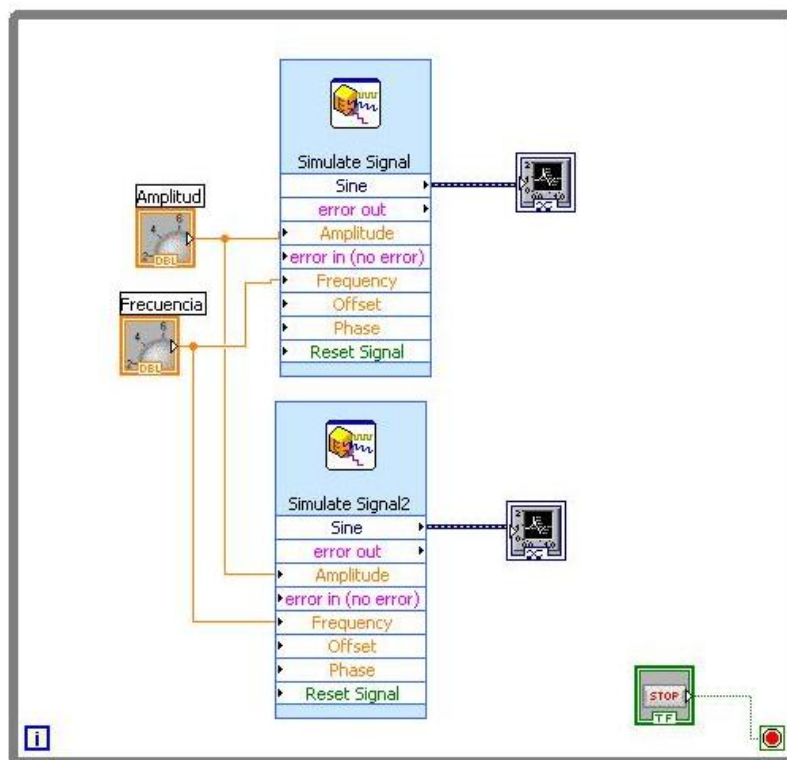
## Objetivo

Que el estudiante logre comprender el principio de muestreo y conozca el tratamiento que se le debe de aplicar a una señal para ser procesada. Se realizaran comparaciones que ayudaran a la comprensión del tema.

## Desarrollo

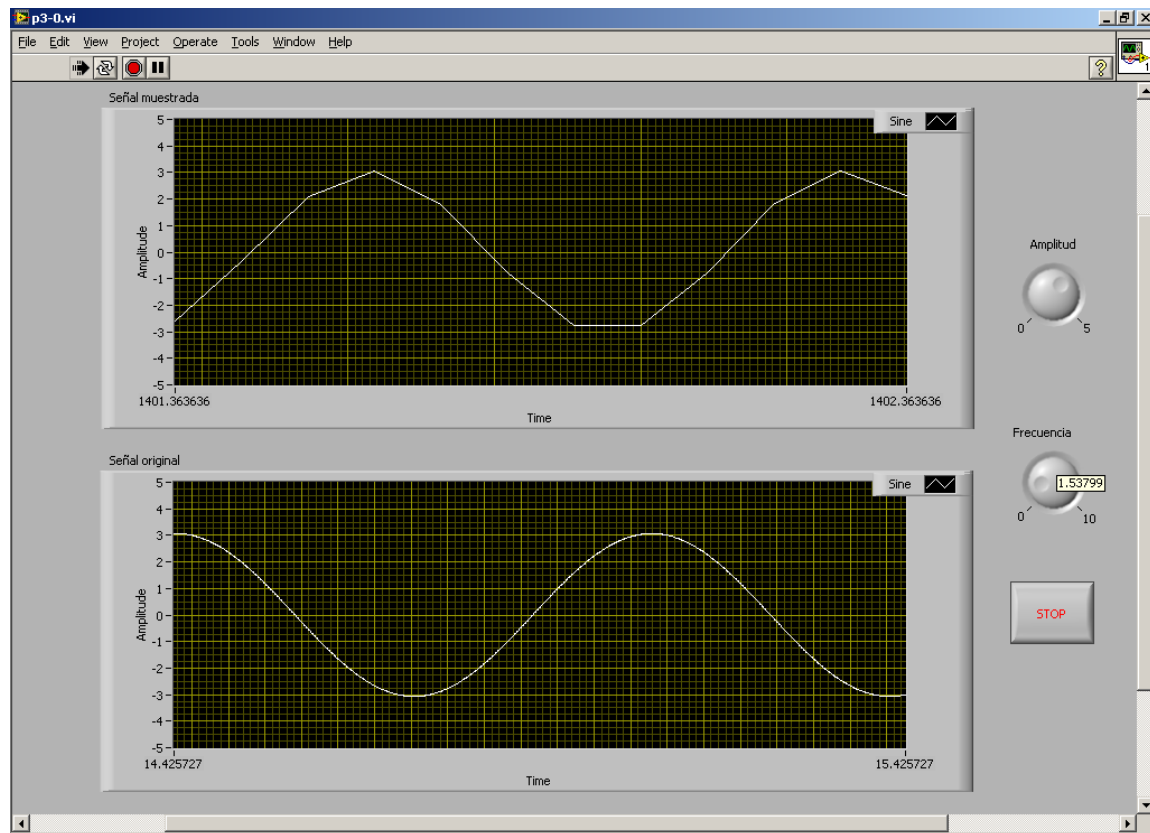
### Sección 1 – Fundamentos de muestreo

Este ejercicio consiste en visualizar los errores provocados por muestreos realizados de forma incorrecta. Se trata de una simulación realizada con el software **LabView** y en ningún momento son adquiridos de forma real. El programa **LDaq-00** no se encontraba disponible en el laboratorio de Mecatrónica y por esa razón tuvo que ser codificado de nuevo. f2-1 muestra el código del programa, los bloques **Simulate Signal** tienen una configuración de parámetros de muestreo que serán la clave para poder visualizar los resultados según la práctica.



f3- 1. Imagen de código de programa para Sección 1

f2-2 muestra una imagen del panel frontal del instrumento virtual.



*f3- 2. Panel frontal de instrumento virtual*

Las perillas tienen sus nombres adjuntos los cuales describen su función. Cada pantalla de muestreo también tiene etiquetada su función. Hay un botón de stop también, para detener la ejecución del programa.

Ahora, ya que se terminó de codificar el programa, el instrumento virtual se pone a ejecución. Para empezar, la amplitud de onda se ajusta aproximadamente a 3 V y la frecuencia a 1 Hz. Se observan los resultados, y no se encuentran errores, para este caso la señal muestreada es de hecho muy fiel a la señal original. Para continuar con esta sección, se van a registrar varios valores de frecuencias para una amplitud fija de la señal original (3 V). Una tabla se llenó con los resultados obtenidos (*t3*)

Nótese que las amplitudes subrayadas fueron obtenidas con promedios de todos los picos disponibles en la imagen capturada del instrumento virtual. La **frecuencia de muestreo** en este instrumento virtual es 10 Hz. Entonces, la **frecuencia de Nyquist** es

$$F_{\text{Nyquist}} = \frac{F_{\text{muestreo}}}{2} = \frac{10 \text{ Hz}}{2} = 5 \text{ Hz}$$

Queriendo decir con esto que el alias comenzará a aparecer al muestrear señales de más de 5 Hz. Entonces la pantalla de muestreo reproducirá fielmente la señal original en un rango de frecuencias de 0 a 5 Hz. Las frecuencias mayores a la frecuencia de Nyquist serán reflejos de frecuencias diferentes a la frecuencia de entrada, sus muestras representan tanto a la señal de entrada, como a las frecuencias de alias calculadas, y a un número infinito de señales que pasan por esos puntos muestreados. En la sección *Reporte* se pueden encontrar capturas de imagen del instrumento virtual y su ejecución en el ejercicio. Para esta parte

$$f_{\text{muestreo}} = 10 \text{ Hz}$$

$$f_{\text{Nyquist}} = 5 \text{ Hz}$$

No. de muestra	Señal original		Señal muestreada	
	Amplitud (V)	Frecuencia (Hz)	Amplitud (V)	Frecuencia (Hz)
1	3	0,303	3	0,303
2	3	0,605	3	0,605
3	3	0,914	3	0,914
4	3	1,212	3	1,212
5	3	1,538	3	1,538
6	3	1,822	3	1,822
7	3	2,153	3	2,153
8	3	2,412	3	2,412
9	3	2,704	2,8	2,704
10	3	3,015	2,9	3,015
11	3	3,333	2,9	3,333
12	3	3,6	3	3,6
13	3	3,894	2,8	3,894
14	3	4,28	2,9	4,28
15	3	4,57	3	4,57
16	3	4,83	2,9	4,83
17	3	5,1	2,9	5,1
18	3	5,23	2,18	5,23
19	3	5,33	2,29	5,33
20	3	5,02	1,95	5,02

t3- 1. Tabla con valores para sección 1.

## Sección 2 – Diseño de muestreo adecuado

Con ayuda del programa LDaq-01, se suman unas ondas senoidales que varían en amplitud como en frecuencia, mediante la siguiente lógica.

Señal uno: Su frecuencia oscila entre 0 y 50 Hz, su amplitud oscila entre 0 y 2 Volts.

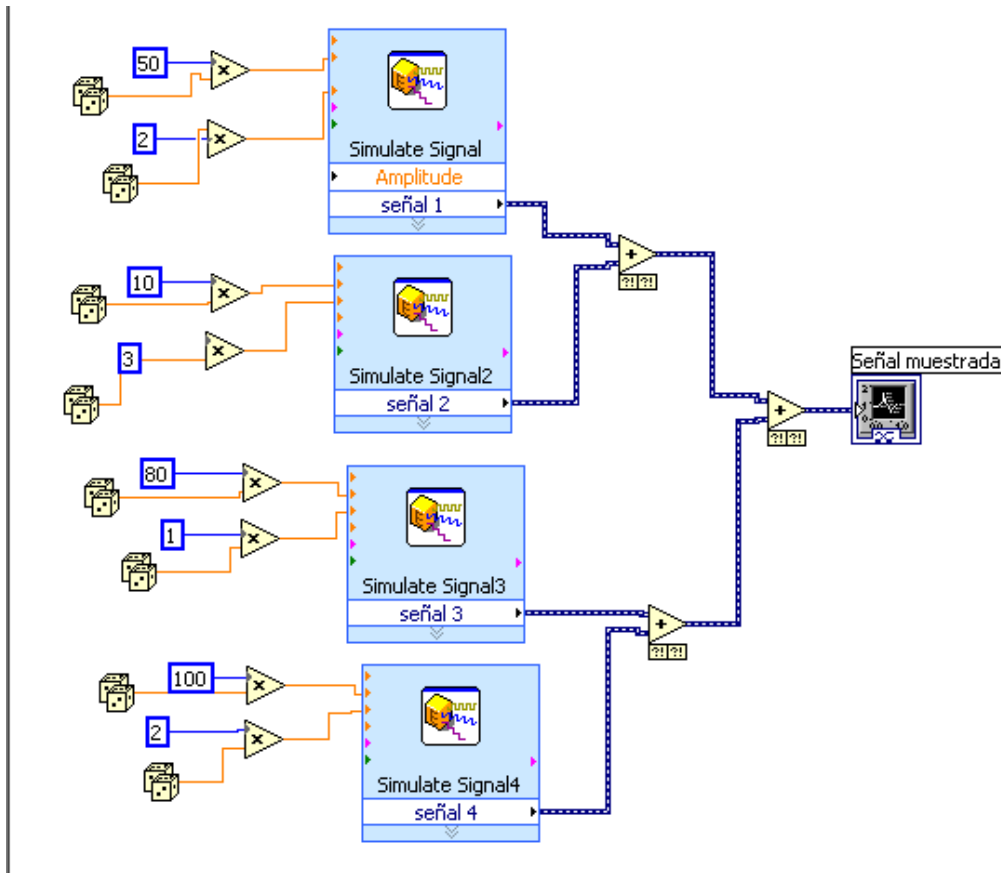
Señal dos: Su frecuencia oscila entre 0 y 10 Hz, su amplitud oscila entre 0 y 3 Volts.

Señal tres: Su frecuencia oscila entre 0 y 80 Hz, su amplitud oscila entre 0 y 1 Volts.

Señal cuatro: Su frecuencia oscila entre 0 y 100 Hz, su amplitud oscila entre 0 y 2 Volts.

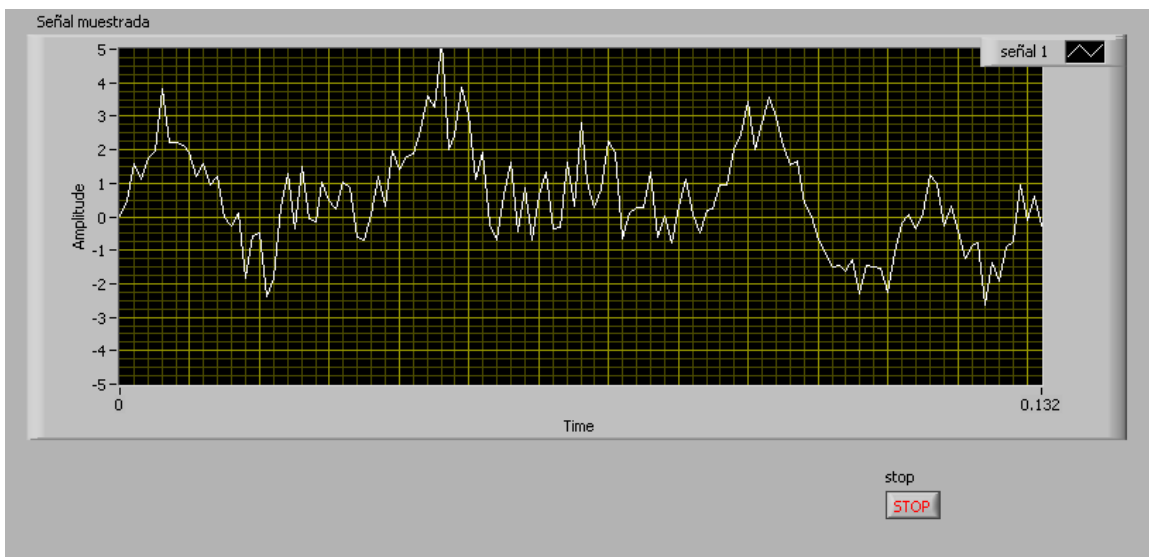
Diseñar un sistema de muestreo adecuado para esta señal.

El programa LDaq01 no estaba disponible en el laboratorio de Mecatrónica, por lo cual debió ser codificado de nuevo. f3-3 muestra el código creado.



*f3- 3. Código de programa para sección 2*

El programa se ejecutó y *f3-4* muestra la imagen de la suma de las ondas.



*f3- 4. Panel frontal de instrumento virtual mostrando la suma de ondas.*

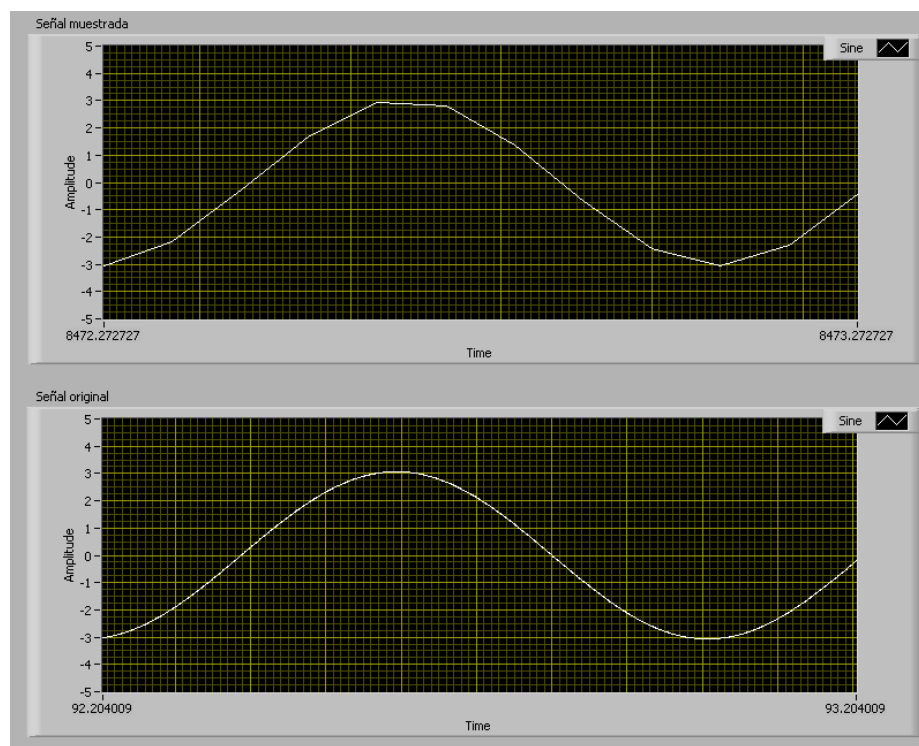
La sección *Reporte* muestra el diseño realizado.

## Reporte

### Sección 1 – Fundamentos de muestreo

Obtener al menos 3 imágenes de frecuencias menores a 5 Hz con el programa. Se pueda apreciar la onda de entrada y la reproducción, y explicar la razón por la cual estas señales fueron mostradas de manera correcta. A partir de la reproducción de la señal, obtener los puntos máximos y mínimos y comparar con los máximos y mínimos de la señal de entrada. Tabular los datos obtenidos para cada frecuencia en una tabla.

A continuación se muestran las imágenes de captura del instrumento virtual en ejecución con frecuencias menores a 5 Hz ( $f_{3-5}$ ,  $f_{3-6}$  y  $f_{3-7}$ ).

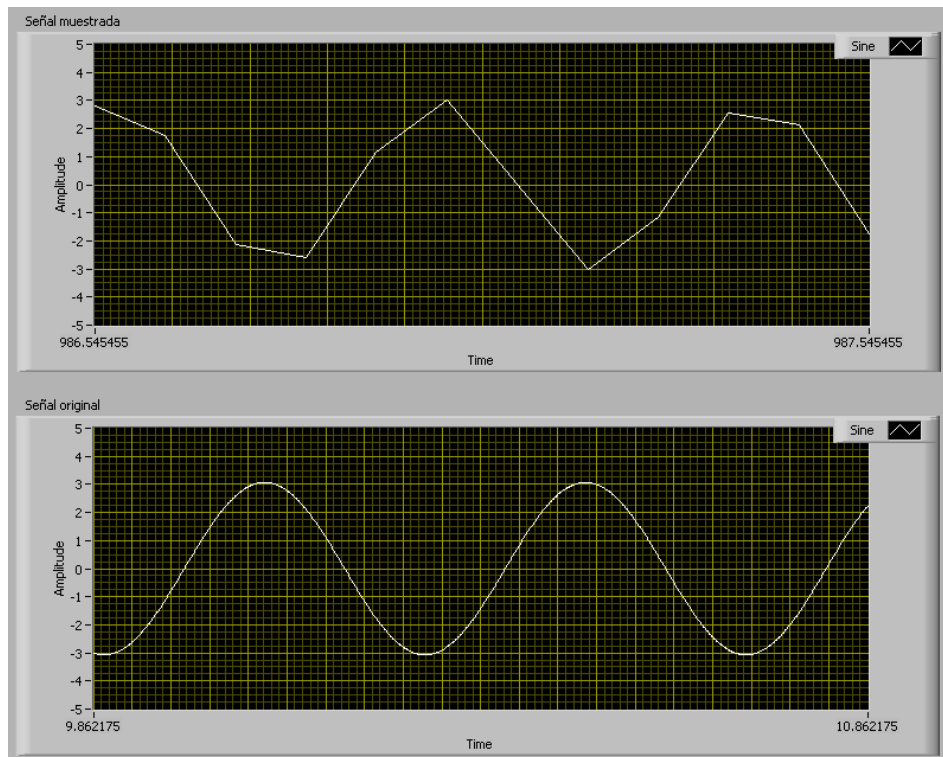


$f_{3-5} \cdot f = 1.212 \text{ Hz}$

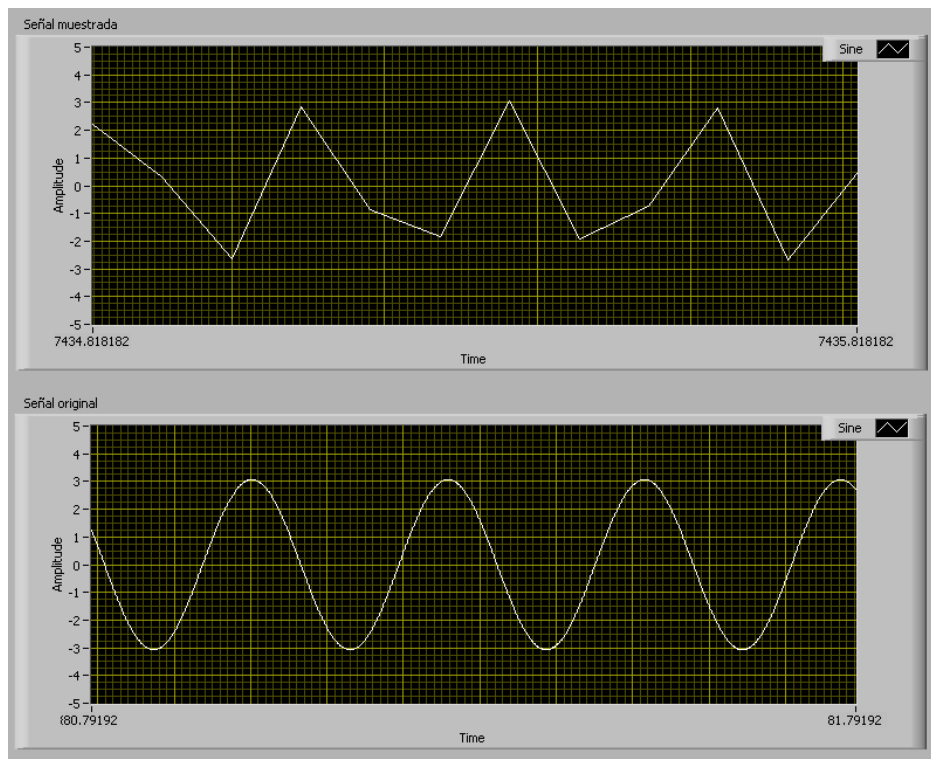
Los datos obtenidos de puntos máximos y mínimos para las frecuencias determinadas se registran en  $t_{3-2}$ .

No. de muestra	Señal original		Señal muestreada		Frecuencia (Hz)
	Punto máximo (V)	Punto mínimo (V)	Punto máximo (V)	Punto mínimo (V)	
1	3	-3	3	-3	1,212
2	3	-3	3	-3	2,412
3	3	-3	3	-2,8	3,894

$t_{3-2}$ . Tabla con valores para muestreos con frecuencia de entrada menor a 5 Hz

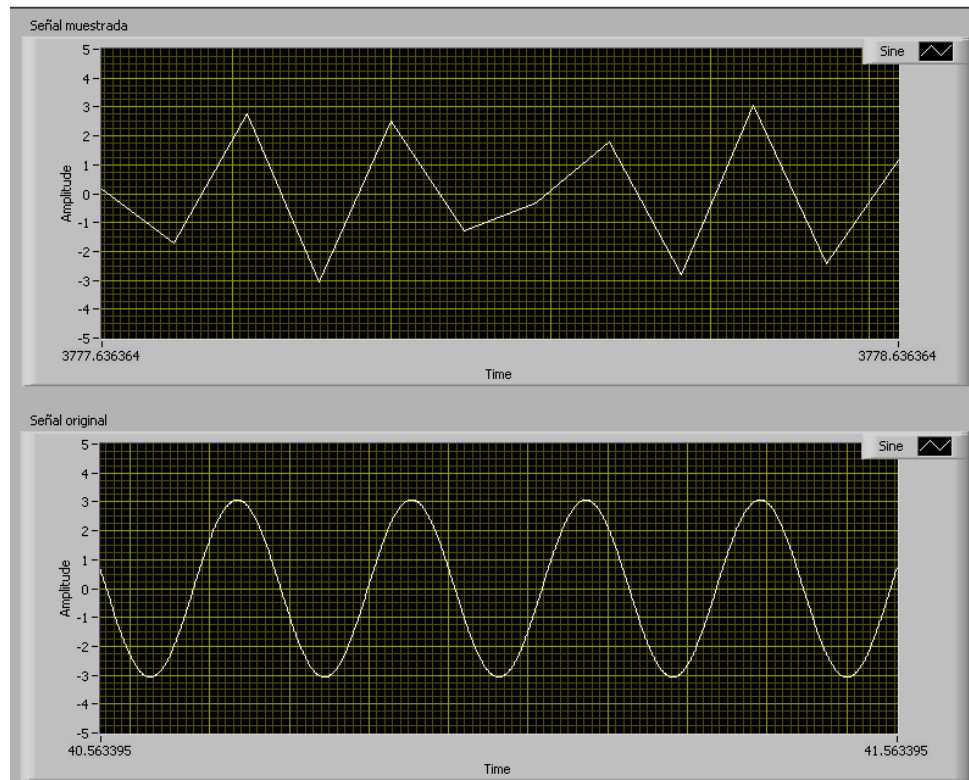


**f3- 6.  $f = 2.412 \text{ Hz}$**

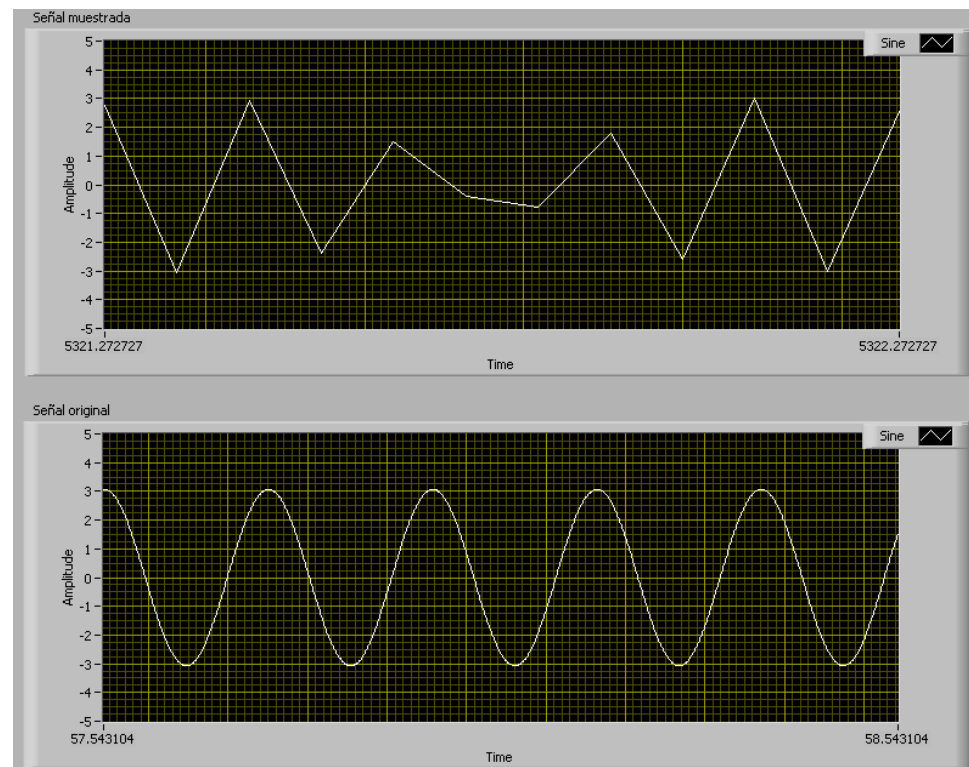


**f3- 7.  $f = 3.894 \text{ Hz}$**

Ahora se hace lo mismo para frecuencias mayores a 5 Hz, con imágenes y la tabla también.

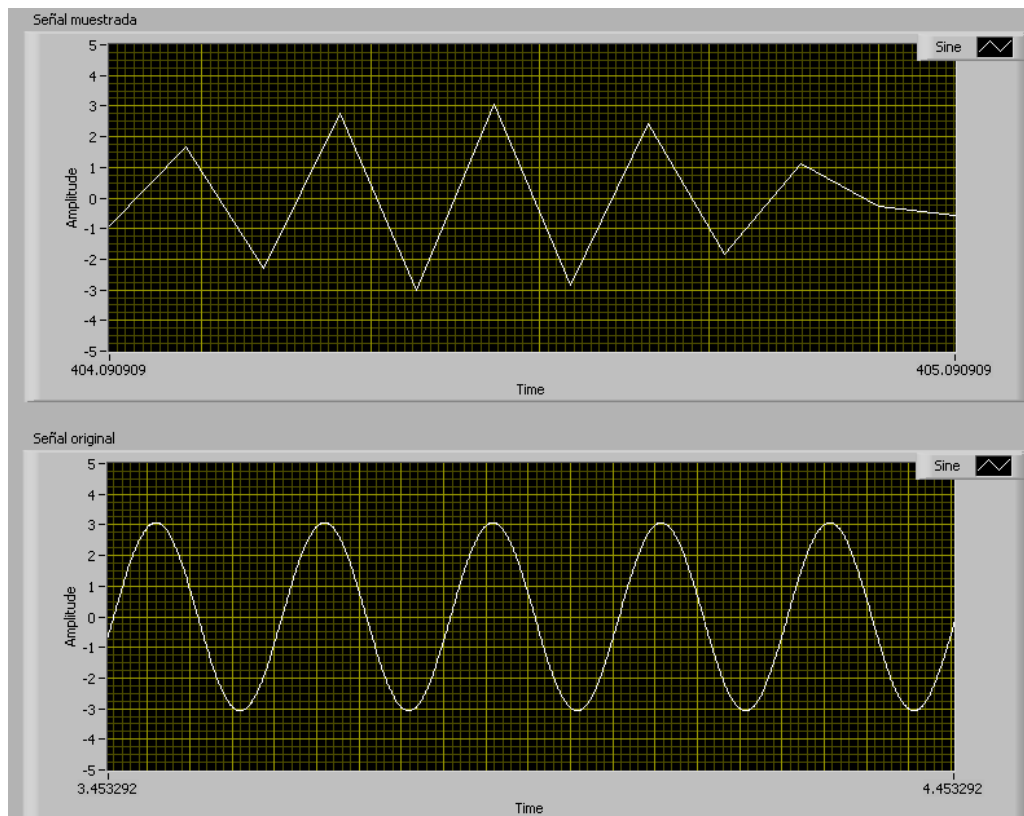


$$f_3 - 8. f = 5.02 \text{ Hz}$$

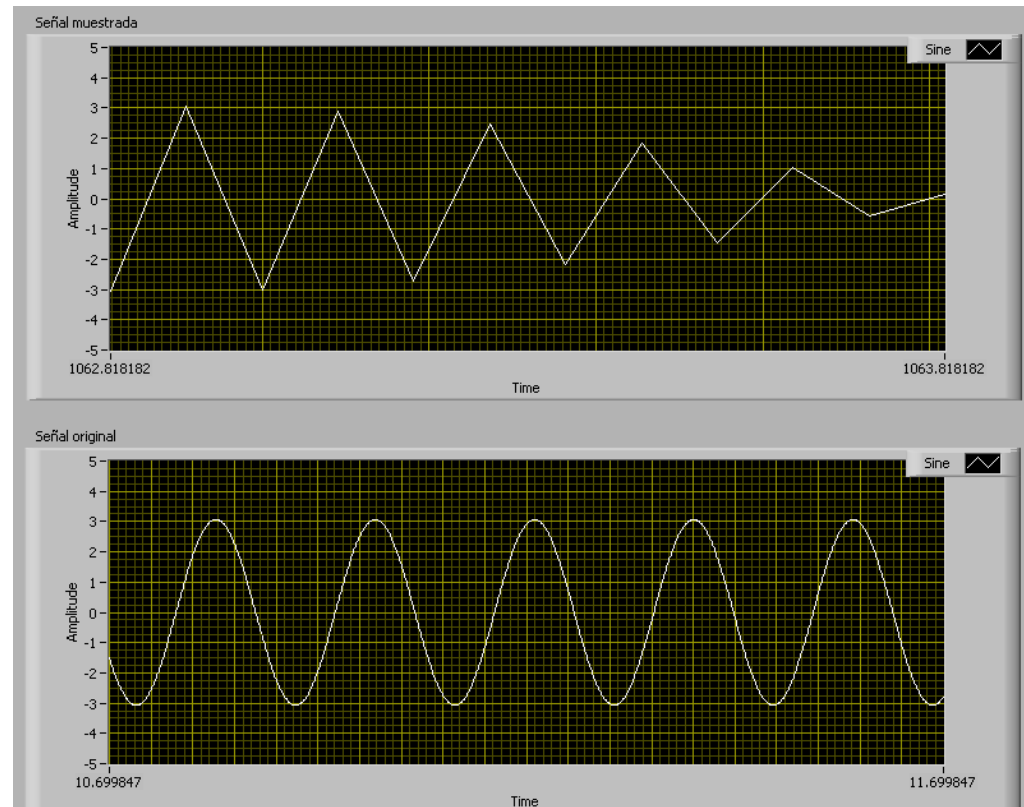


$$f_3 - 9. f = 5.1 \text{ Hz}$$

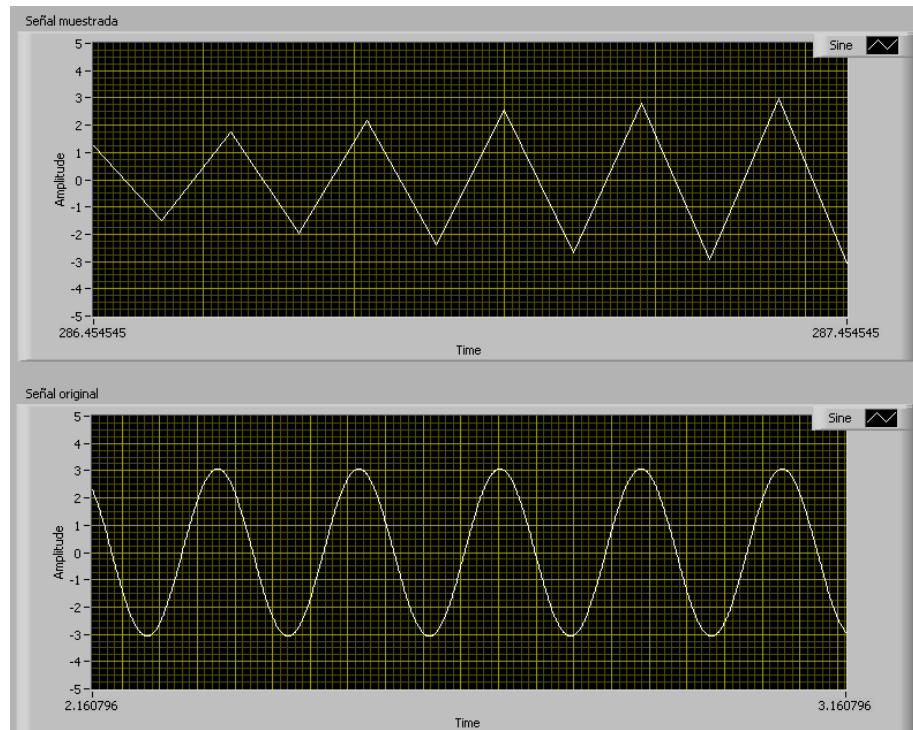




$f3-10. f = 5.23 \text{ Hz}$



$f3-11. f = 5.33 \text{ Hz}$



*f3- 12.  $f = 5.8 \text{ Hz}$*

No. de muestra	Señal original		Señal muestreada		Frecuencia (Hz)
	Punto máximo (V)	Punto mínimo (V)	Punto máximo (V)	Punto mínimo (V)	
1	3	-3	3	-3	5,02
2	3	-3	3	-3	5,1
3	3	-3	3	-3	5,23
4	3	-3	3	-3	5,33
5	3	-3	3	-3	5,8

*t3- 3. Tabla para frecuencias mayores a 5 Hz.*

Como se puede observar, el hecho de que la tabla de la práctica pida registrar los puntos máximos y mínimos hace que el cálculo de error de amplitud sea menos representativo a que si se utilizará en lugar de los máximos y mínimos, un promedio de los picos, como se realizó en la primera tabla (*t3-1*). Entonces basándonos en tal tabla, calculemos algunos errores de amplitud.

$$e_{17} = 1 - \frac{\text{Amplitud}_{\text{muestreo}}}{\text{Amplitud}_{\text{original}}} = 1 - \frac{2.9}{3} = 0.0\bar{3}$$

$$e_{18} = 1 - \frac{\text{Amplitud}_{\text{muestreo}}}{\text{Amplitud}_{\text{original}}} = 1 - \frac{2.18}{3} = 0.27\bar{3}$$

$$e_{19} = 1 - \frac{\text{Amplitud}_{\text{muestreo}}}{\text{Amplitud}_{\text{original}}} = 1 - \frac{2.29}{3} = 0.23\bar{6}$$

$$e_{20} = 1 - \frac{\text{Amplitud}_{\text{muestreo}}}{\text{Amplitud}_{\text{original}}} = 1 - \frac{1.95}{3} = 0.35$$

$$e_{21} = 1 - \frac{\text{Amplitud}_{\text{muestreo}}}{\text{Amplitud}_{\text{original}}} = 1 - \frac{1.78}{3} = 0.40\bar{6}$$

Es de notar **que al aumentar la frecuencia de entrada, el error de amplitud aumenta también.** Ahora calculemos las frecuencias de alias (basándonos en *xx lla ultima tabla*), con la siguiente fórmula

$$f_{\text{alias}} = f_{\text{muestreo}} \pm f_{\text{entrada}}$$

La cual se obtuvo del documento de laboratorio, página 51.

$$f_{\text{alias},1} = 10 \text{ Hz} \pm 5.02 \text{ Hz} = 15.02 \text{ Hz}$$

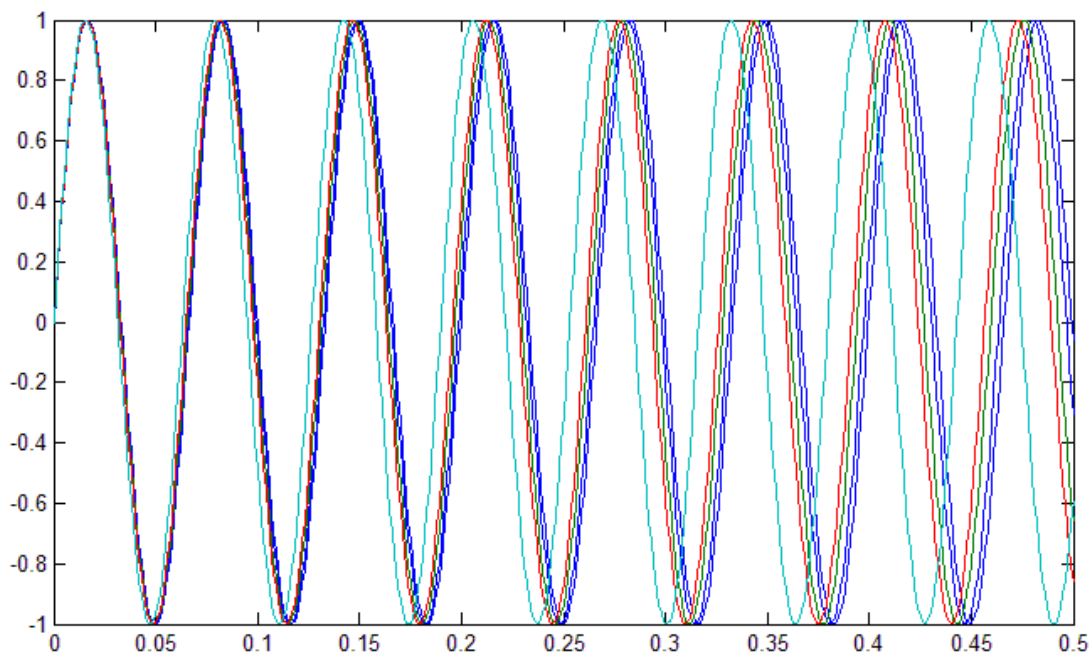
$$f_{\text{alias},2} = 10 \text{ Hz} \pm 5.1 \text{ Hz} = 15.1 \text{ Hz}$$

$$f_{\text{alias},3} = 10 \text{ Hz} \pm 5.23 \text{ Hz} = 15.23 \text{ Hz}$$

$$f_{\text{alias},4} = 10 \text{ Hz} \pm 5.33 \text{ Hz} = 15.33 \text{ Hz}$$

$$f_{\text{alias},5} = 10 \text{ Hz} \pm 5.8 \text{ Hz} = 15.8 \text{ Hz}$$

Ahora grafiquemos tales frecuencias de alias con diferente color para cada una.



*f3- 13. Frecuencias de alias calculadas.*

## Sección 2 – Diseño de muestreo adecuado

Comencemos a planear el diseño contestando directamente las preguntas formuladas en el reporte del documento de la práctica (página 53).

*¿Cuál es la amplitud máxima que tendrá la señal a muestrear?*

8.5 V.

*¿Por qué?*

Ya que las señales senoidales individuales tienen amplitudes máximas características, y como el programa las suma, la amplitud máxima será la suma de las amplitudes máximas de las ondas.

$$\text{Amplitud}_{\text{max}} = \text{Amplitud}_{\text{max},1} + \text{Amplitud}_{\text{max},2} + \text{Amplitud}_{\text{max},3} + \text{Amplitud}_{\text{max},4}$$

$$\text{Amplitud}_{\text{max}} = 2 \text{ V} + 3 \text{ V} + 1 \text{ V} + 2 \text{ V} = 8 \text{ V}$$

Se seleccionó 8.5 V para una mayor seguridad de muestreo de amplitudes.

*¿Qué frecuencia de muestreo se seleccionó?*

220 Hz.

*¿Por qué?*

La frecuencia de muestreo la obtendremos con la fórmula  $f_{\text{muestreo}} = 2BW$ , donde BW es el ancho de banda. Así,

$$BW = f_{\text{max}} = f_{\text{max},4} = 100 \text{ Hz}$$

De manera que

$$f_{\text{muestreo}} = 2BW = 2(100 \text{ Hz}) = 200 \text{ Hz}$$

Entonces la frecuencia de muestreo debe ser al menos 200 Hz, aunque se seleccionó 220 Hz para mayor seguridad de correctos muestreos.

El diseño se completa obteniendo la frecuencia de Nyquist.

$$f_{\text{Nyquist}} = \frac{f_{\text{muestreo}}}{2} = \frac{220 \text{ Hz}}{2} = 110 \text{ Hz}$$

Sería muy conveniente también anexar al diseño un filtro pasa bajas que bloquee las señales mayores a la frecuencia de Nyquist. Para esto, tal filtro tendrá una frecuencia de corte igual a 110 Hz. En resumen,

*Amplitud máxima = 8 V*

*Frecuencia de muestreo = 220 Hz*

*Ancho de banda = 100 Hz*

*Frecuencia de Nyquist = 100 Hz*

*Frecuencia de corte filtro pasa bajas = 100 Hz*

## Conclusión

Una señal es todo parámetro físico cuya variación respecto al tiempo ofrece información de algún fenómeno en específico. Existen diferentes tipos de señales. El muestreo de una señal consiste en tomar lecturas de la amplitud de la señal a una tasa constante. La frecuencia relacionada con la tasa de muestreo se llama frecuencia de muestreo.

En esta práctica aprendimos los pasos necesarios para el diseño e implementación de sistemas de muestreo y procesamiento de señales, aún y cuando no fueron implementados físicamente durante el desarrollo. Para poder diseñar un sistema de muestreo se debe tener una idea, y si es posible acotar completamente, las posibles señales que entrarán al sistema. Con esto, conoceremos las amplitudes y frecuencias de las señales. La relación del número de señales en el sistema también es importante, ya que no es lo mismo que las ondas se combinen en posición o se sumen con un dispositivo sumador como por ejemplo un amplificador operacional.

Así determinaremos el ancho de banda del sistema, y al multiplicarlo por dos obtendremos la mínima frecuencia de muestreo que el sistema necesitará. Es recomendable colocar circuitos de filtrado antes de la entrada del sistema muestreador para poder bloquear aquellos conjuntos de señales para las cuales el sistema no se diseñó.

## Bibliografía

- **Documento de práctica de laboratorio**  
**Práctica 3 – Fundamentos de muestreo, procesamiento y señales**  
Laboratorio de Adquisición de Datos  
FIME – UANL
- **Sine Wave**  
**Wikipedia – The Free Encyclopedia**  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Sine\\_wave](http://en.wikipedia.org/wiki/Sine_wave)
- **Sampling (signal processing)**  
**Wikipedia – The Free Encyclopedia**  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Sampling\\_\(signal\\_processing\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Sampling_(signal_processing))