



Diseño de un analizador de vibraciones

Luis Carlos Pérez Carbajal, Gilberto Amaya Ventura*

RESUMEN

Se presenta el diseño de un instrumento capaz de procesar señales de vibraciones mecánicas. Estas señales son pulsos (voltaje eléctrico) que emite el transductor o sensor de proximidad “HC-SR04”, el cual detecta el cambio de estado (posición) de un objeto sólido mediante el efecto Doppler. Estas señales son adquiridas y almacenadas mediante un “microprocesador” de la marca “Arduino UNO”, programado en “MATLAB” o “GNU-Octave”. Las señales se procesan y analizan en una computadora “ACER Aspire 3 A315-53-596T, 8 GB de RAM, con procesador intel CORE i5 7th Gen.” y sistema operativo “LINUX UBUNTU”.

Para simular vibraciones mecánicas se desarrolló un montaje experimental de un resorte de aluminio soldado a una masa de acero inoxidable, equipado con una escuadra de acero inoxidable, y barrenos para el sistema de anclaje. Con este laboratorio móvil se calibran los sensores con el fin de tener confiabilidad en nuestras mediciones y valores adquiridos. Se procesó y analizó los datos (señales) se utilizó GNU-Octave (MATLAB), así como para obtener las gráficas y espectros de vibraciones correspondientes.

ABSTRACT

This work present the design of an instrument capable to process signals of mechanical vibration. Those signals are electric pulses that our proximity sensor (HC-SR04) emit when a solid object (particle) change of state (position) by the Doppler effect. Those signals are processed by a micro-processor “Arduino UNO” that was programmed on MATLAB-ARDUINO. We analyzed the data on a “ACER Aspire 3 A315-53-596T, 8 GB RAM, intel CORE i5 7th Gen.” whith “LINUX UBUNTU”.

Palabras claves: Analizador, Vibraciones, MATLAB, GNU-OCTAVE, Transformada Rápida de Fourier, ISO-10816, Diseño.

INTRODUCCIÓN

La norma ISO 10816 describe los requisitos generales para evaluar la vibración de diversos tipos de máquinas cuando las mediciones se realizan en piezas no giratorias; como en rodamientos o carcasas de máquinas industriales.

Dependiendo de los criterios de vibración, se puede requerir mediciones de desplazamiento, velocidad o combinaciones de ambas (ISO 10816-1).

Es una práctica común en maquinaria crítica tener instrumentación instalada para el monitoreo en vivo de valores de vibración en puntos claves. Para muchas máquinas, principalmente las de pequeño tamaño o baja potencia, no necesariamente se lleva a cabo un monitoreo continuo de los parámetros de vibración; problemas como desbalance, fallas en los rodamientos, alineación, etc. se pueden detectar con suficiente fiabilidad a partir de mediciones periódicas con instrumentos instalados permanentemente o portátiles. El uso de computadoras para el análisis de tendencias y alertas contra el mal funcionamiento se está volviendo más común.

ANTECEDENTES

Bajo la teoría atómica de la materia, podemos simplificar que todo está compuesto de partículas (electrones, protones y neutrones forman átomos que a su vez forman moléculas), por ende, podemos describir a lo que nos rodea, de forma simplificada, bajo esta premisa.

Denotamos la posición de una partícula en el espacio por el vector r . La velocidad instantánea la partícula está dada por el límite:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{r(t + \Delta t) - r(t)}{\Delta t} = \frac{dr}{dt} = \dot{r}. \quad (1)$$

La aceleración instantánea viene dada por el límite:

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{v(t + \Delta t) - v(t)}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} = \dot{v} = \ddot{r}. \quad (2)$$

Cuando la partícula se mueve a lo largo de una curva en el espacio, la velocidad instantánea es un vector que se puede describir en términos de las distancias x , y , z en tres direcciones perpendiculares i , j , k , desde un origen:

$$v = \frac{dx}{dt} i + \frac{dy}{dt} j + \frac{dz}{dt} k \quad (3)$$

* FESC, UNAM, Departamento de Física, iqlpc98@gmail.com.
Ingeniero de Procesos Luis Pérez y M.C.Q. Gilberto Amaya.





Son los vectores unitarios i, j, k , apuntando a lo largo de los ejes X, Y & Z de longitud unitaria, como se muestra en la Figura 1. Se puede escribir cualquier vector como un número A_x multiplicado por i , más un número A_y multiplicado por j .

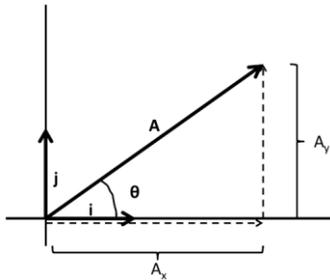


Figura 1.- Los vectores unitarios i & j y un vector arbitrario $A=iAx + jAy$ construido de ellos.

A lo largo de estos antecedentes, la relación fundamental entre fuerza y aceleración es dada por la segunda ley del movimiento de Newton, en forma vectorial:

$$\Psi = ma \quad (4)$$

donde Ψ es la suma (resultante) de todas las fuerzas aplicadas que actúan sobre la partícula con masa "m".

Ejemplo de límites de vibraciones según la ISO 10816-1.

ISO 10816-1 Overall velocity vibration guidelines

0 – 15 KW – Class I ; 15 – 75 KW – Class II ; > 75 KW – Class III

Velocity Severity		Velocity Range Limits and Machine Classes ISO Standard 10816-1			
mm/s RMS	in/s PEAK	Small Machines Class I	Medium Machines Class II	Large Machines	
				Rigid Supports Class III	Less Rigid Supports Class IV
0.28	0.02	Good	Good	Good	Good
0.45	0.03				
0.71	0.04	Satisfactory	Satisfactory	Satisfactory	Satisfactory
1.12	0.06				
1.80	0.10	Unsatisfactory (Alert)	Unsatisfactory (Alert)	Unsatisfactory (Alert)	Satisfactory
2.80	0.16	Unsatisfactory (Alert)	Unsatisfactory (Alert)	Unsatisfactory (Alert)	Unsatisfactory (Alert)
4.50	0.25				
7.10	0.40	Unacceptable (Danger)	Unacceptable (Danger)	Unacceptable (Danger)	Unacceptable (Danger)
11.20	0.62				
18.00	1.00	Unacceptable (Danger)	Unacceptable (Danger)	Unacceptable (Danger)	Unacceptable (Danger)
28.00	1.56				
45.00	2.51				

Figura 2.- Valores de vibración de la ISO 10816-1

DESARROLLO

Se utilizó el software Arduino-Matlab, en su versión libre GNU-OCTAVE, para poder recibir y procesar las señales de nuestro sensor de desplazamiento tipo "HC-SR04" que funciona bajo el efecto "Doppler". Se invocó la función "Ultrasonic" que tiene Arduino-Matlab para el tratamiento de los datos recibidos por el sensor; tomando muestras cada 0.1 segundos en un intervalo de 1 a 100 segundos. Los datos crudos son voltaje contra tiempo, y al utilizar la función "Ultrasonic" se hace el tratamiento adecuado para transformar de voltaje a desplazamiento en cm.

Con los datos obtenidos de desplazamiento contra tiempo, se aplicó el tratamiento de estos mediante la transformada rápida de Fourier, con la función "FFT". La FFT se calcula a lo largo de la primera dimensión "no singleton" de la matriz. Por lo tanto, si x es una matriz, $fft(x)$ calcula la FFT para cada columna de x .

La paquetería FFTW fue desarrollado en el MIT por Matteo Frigo y Steven G. Johnson.

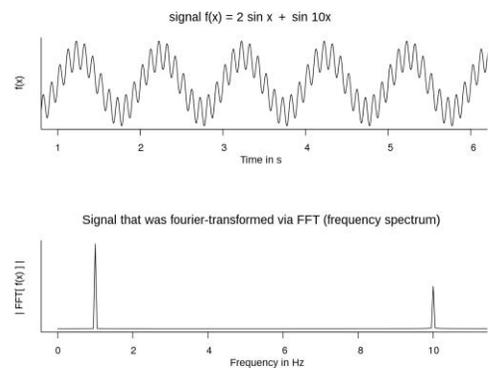


Figura 3.- Representación general de la Transformada Rápida de Fourier

A continuación, se anexa el código para poder tomar los datos de desplazamientos, aplicar la FFT y analizar los datos:

```
clear; close all; clc;
a=arduino('/dev/ttyACM0','uno','libraries','Ultrasonic');
sensor=ultrasonic(a,'D2','D3');
tiempo = 1:100;

for i=1:100 %Número de Muestras
distX(i) = readDistance(sensor); % Guarda el valor Adquirido
pause(0.1) %Frecuencia de Muestra -Cada "tanto" se toma muestra
end

distXcm = distX*100;
figure (1);
plot(distXcm)
xlabel('Tiempo (s)')
ylabel('Distancia(cm)')
title('Cambio de Estado Vs Tiempo')
disp(tiempo' distXcm')
```



```
%FFT ALGORITHM
```

```
N = 100;  
T = 1.0/N;  
distf = fft(distXcm, 1/T);  
distf = abs(distf);  
figure (2);  
plot(distf)
```

```
clear a;
```

RESULTADOS Y ANÁLISIS

La programación de este software se hizo a través del sistema operativo LINUX-UBUNTU que servirá como un ANALIZADOR DE VIBRACIONES.

Se montó el siguiente sistema experimental para calibrar nuestro sensor de desplazamiento. Donde se midió un sistema masa resorte en acero inoxidable en reposo y después de una perturbación:

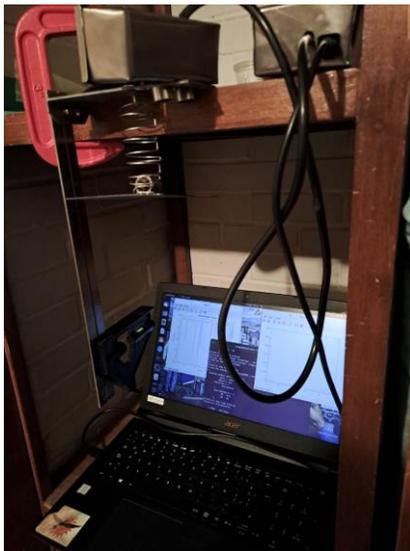


Figura 4.- Montaje Experimental. A la izquierda el sistema masa resorte junto con el módulo del sensor de proximidad, y a la derecha el módulo del microprocesador. Se envía los datos vía cable USB-B.

Los resultados del sistema en reposo fueron los siguientes:

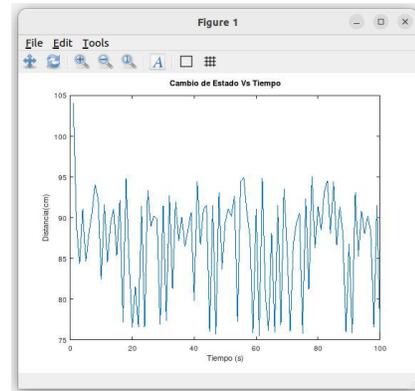


Figura 5.- Distancia (mm) Vs tiempo (s)

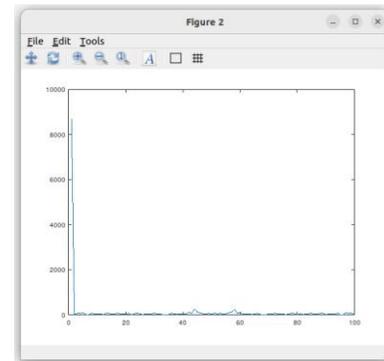


Figura 6.- Espectro de vibración

Los resultados del sistema a aplicar una perturbación fueron los siguientes:

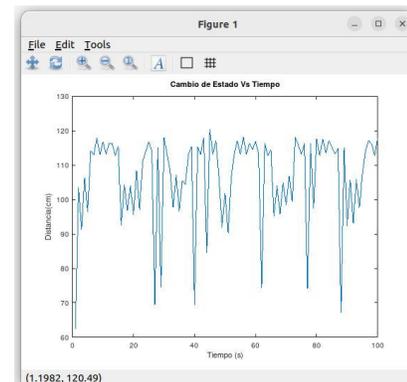


Figura 7.- Distancia (mm) Vs tiempo (s)

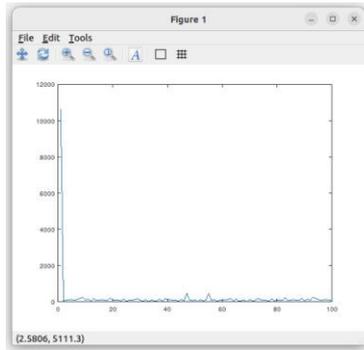


Figura 8.- Espectro de vibración

Los resultados coinciden con los valores de la escuadra inoxidable que es parte del sistema experimental, esta escuadra tiene la función de verificar de forma física los resultados obtenidos por el programa que hemos creado.

Las gráficas que obtuvimos corresponden con el comportamiento esperado de un oscilador armónico amortiguado, característico del sistema masa resorte.

CONCLUSIONES

Se diseñó un equipo capaz de procesar vibraciones mecánicas mediante el software Arduino-Matlab & LINUX-UBUNTU.

Obtuvimos el espectro de vibración, el cual nos ayuda a la hora de realizar mantenimientos predictivos a nuestra maquinaria rotativa, según la norma ISO 10816-1.

Diseñamos un sistema para calibrar nuestro sensor de desplazamiento, el cual nos sirve para tener confiabilidad a la hora de realizar mediciones en campo a la maquinaria rotativa.

Una de las aplicaciones para este equipo analizador de vibraciones es para el control de turbinas, donde se necesita que se mantenga lo más fija posible, al igual que para realizar balanceos dinámicos a turbinas de aire, ventiladores y molinos, etc.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

Frigo, M., and S. G. Johnson. (1998). "FFTW: An Adaptive Software Architecture for the FFT." Proceedings of the International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. Vol. 3, pp. 1381-1384.

S/A. (1997). "The Fastest Fourier Transform in the West," MIT-LCS-TR-728 (September 1997).

Shankar, R. (2014). Fundamentals of Physics. Mechanics, Relativity, and Thermodynamics. Editorial "Yale UNIVERSITY PRESS". Páginas 19-22.

Whitman, A. (2020). Thermodynamics: Basic Principles and Engineering Applications. Editorial "Springer". Páginas 15-18.

Zohdi, T. (2007). An Introduction to Modeling and Simulation of Particulate Flows. Editorial "Society for Industrial and Applied Mathematics". Páginas 1-3.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Gilberto Amaya Ventura: Ingeniero Químico de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM, Maestro en Ciencias Químicas con orientación en Simulación de Fenómenos Físicos y Físico-Químicos egresado de la División de Estudios de posgrado de la FESC de la UNAM y candidato a Doctor en Ciencias Químicas con orientación en Simulación de Fenómenos Físicos y Físico-Químicos.

Luis Carlos Pérez Carbajal: Ingeniero Químico pasante de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM, dos años de Ing. Jr. En mantenimiento preventivo y un año de Ing. Jr. De Procesos de refrigeración y diseño metal-mecánico. Aspirante a posgrado en matemáticas aplicadas.