

# Medición de vibraciones en rodamientos para cuatro estados de daño

Aguilar Valverde, Diego; Mena Navarro, Steve  
diegoaguilar0611@gmail.com st.mena@estudiantec.cr  
Área académica de Ingeniería Mecatrónica  
Instituto Tecnológico de Costa Rica

**Resumen**—El presente informe busca presentar al lector el análisis de vibraciones para ciertas condiciones de daño en rodamientos de bolas de modo que mediante este comportamiento se sepa el estado en el que se encuentran el rol para así ejecutar alguna tarea de mantenimiento enfocada a la problemática. Se construyó un prototipo funcional que permitió intercambiar rodamientos y medir vibraciones con un acelerómetro. Los datos fueron analizados en el dominio del tiempo mediante el valor RMS. Estrategias de mantenimiento fueron planteadas basadas en las condiciones encontradas y se comentó sobre la importancia de mantener un registro de los datos.

**Palabras clave**—Vibraciones, rodamientos de bola, lubricación, mantenimiento predictivo, LabVIEW, Arduino.

## I. INTRODUCCIÓN

Los equipos mecánicos han venido a cumplir un rol importante en la sociedad moderna. Estos equipos requieren de mantenimiento, diagnosticar el estado para anticipar un daño se ha convertido en una necesidad de la industria. Esto ha llevado al desarrollo del mantenimiento basado en condiciones, cuyo principal objetivo es detectar fallas basadas en comportamiento sintomático antes de que estas ocurran. [8].

Los fallos en los rodamientos se constituyen como las causas más comunes de falla en las máquinas rotativas.[7]. Resulta importante mantener controladas las condiciones de operación de estos elementos con el objetivo de maximizar su uso y rentabilidad.

Se han desarrollado técnicas de análisis de datos de vibraciones, un primer conjunto de técnicas se basan en el dominio del tiempo como el valor RMS, valor promedio y técnicas estadísticas. Otro grupo se enfocan en el dominio de la frecuencia como análisis con FFT, Wavelets y la densidad de potencia espectral.[10]

Otras técnicas de análisis utilizan inteligencia artificial como redes neuronales para estimar vida útil disponible [5], algunas utilizan *deep learning* [9] para analizar grandes cantidades de datos.

Algunas aplicaciones recientes del análisis de vibraciones se encuentran en aerogeneradores [13], plantas de generación térmica [12], motores de inducción de jaula de ardilla [11] y plantas hidroeléctricas [14].

En este informe se trata con un análisis de datos sobre rodamientos basado en la técnica RMS, en el dominio del tiempo.

## II. DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE LA INVESTIGACIÓN

El objetivo de la investigación fue medir y analizar las vibraciones de uno de rodamiento de bolas para diferentes velocidades sobre un eje con un estado de carga. Para el cumplimiento del objetivo se construyó un prototipo en MDF que contenía 4 rodamientos de bolas de 8 mm de diámetro cada uno que giraban a la misma velocidad en 5 velocidades diferentes. El diseño contuvo 2 árboles fabricados en acero inoxidable accionado por un motor AC universal. El eje estaba cargado con esferas metálicas las cuales se colocaron sobre el rodamiento que tenía el acelerómetro que medía las vibraciones. Un arduino se encargó de controlar todo el prototipo y mediante comunicación serial los datos fueron mostrados en una PC sobre una interfaz de LabVIEW como se muestra en la Fig. 1

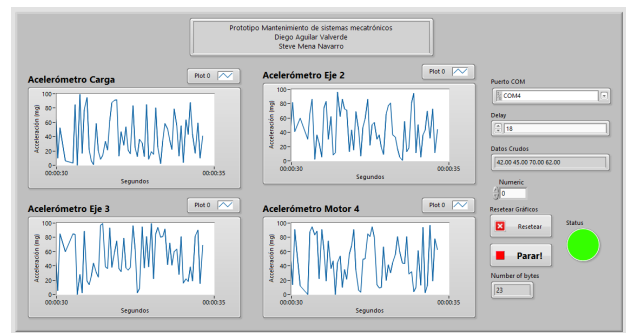


Figura 1: Interface de LabVIEW funcionando

La velocidad del motor se varió mediante una botonera que se conectó con un dimmer. La frecuencia de muestreo fue de 780 Hz. La cual fue la frecuencia más alta permitida por el puerto serial y las lecturas del Arduino. El experimento consistió en colocar 1 de los 4 rodamientos con un estado de daño diferente:

- En perfecto estado.
- Con problemas de lubricación.
- Oxidado.
- Golpeado.
- Con soldadura mecánica.

El resto de los roles fueron lubricados con aceite de banca-da. Los materiales usados para la construcción fueron acrílico de 3 mm para construir los engranes, acero inoxidable para

los ejes y MDF de 3 mm para el resto de prototipo. Se usaron además seguros, tornillos para sujetar los componentes, "jumpers", termo retráctil y cable de timbre para las conexiones. El prototipo real se muestra en Fig. 2.

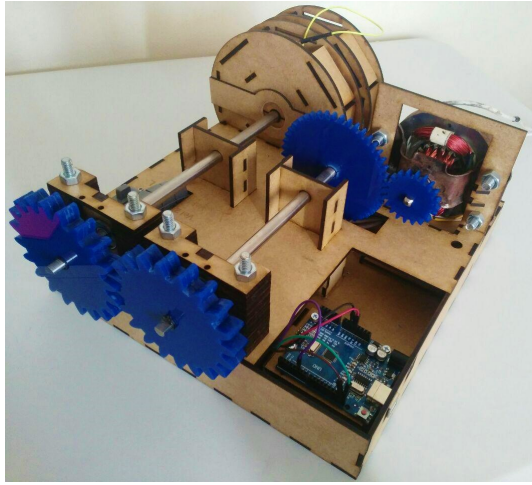


Figura 2: Imagen del prototipo real

### III. RESULTADOS

1) *Medición de la carga:* Como carga se colocaron 15 esferas metálicas en uno de los extremos de uno de los ejes. En el Cuadro I Se muestra la medición de las masas:

Cuadro I: Promedio y desviación estándar de la masa de las esferas y la carga total

Esferas	Masa promedio (g)	Desv. estándar (g)	Mediciones
Cada una	28,15	0,1	10
Total	422,25	0,3	15

También se midieron las velocidades del eje del motor, se obtuvieron los datos mostrados en el Cuadro II

Cuadro II: Medidas de la velocidad (rpm) para cada número de velocidad

No	Velocidad (rpm)
Vacio	1309
Vel 1	1211
Vel 2	7572
Vel 3	17434
Vel 4	19154

#### A. Vibraciones obtenidas para cada estado de rol

1) *Rol lubricado:* En la Fig. 3 se muestran las vibraciones obtenidas en el caso de todos los roles lubricados.

2) *Rol sin lubricar:* En la Fig. 4 se muestran las vibraciones obtenidas en el caso de un rol sin lubricar y todos los roles lubricados.

3) *Rol oxidado:* En la Fig. 5 se muestran las vibraciones obtenidas en el caso de un rol oxidado y el resto lubricados.

4) *Rol golpeado:* En la Fig. 6 se muestran las vibraciones obtenidas en el caso de un rol golpeado y los demás roles lubricados.

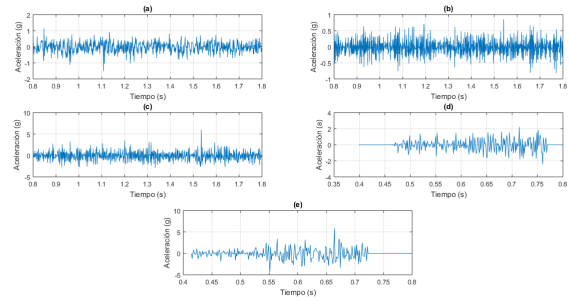


Figura 3: Vibraciones para roles lubricados (a) Sin carga, (b) con carga a velocidad 1 (c) Con carga a velocidad 2 (e) con carga a velocidad 3 (e) con carga a velocidad 4

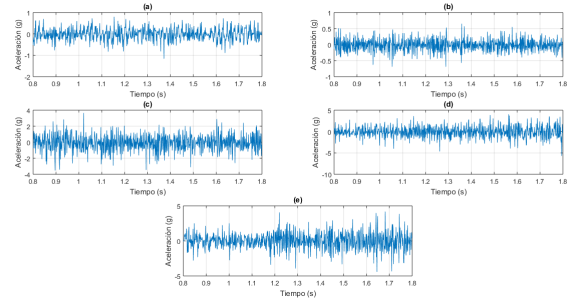


Figura 4: Vibraciones para (a) Sin carga, (b) con carga a velocidad 1 (c) Con carga a velocidad 2 (e) con carga a velocidad 3 (e) con carga a velocidad 4

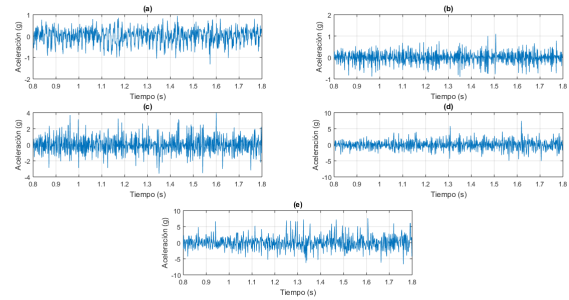


Figura 5: Vibraciones para (a) Sin carga, (b) con carga a velocidad 1 (c) Con carga a velocidad 2 (e) con carga a velocidad 3 (e) con carga a velocidad 4

5) *Rol con soldadura mecánica:* En la Fig. 7 se muestran las vibraciones obtenidas en el caso de un rol golpeado y los demás roles lubricados.

### IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los datos obtenidos fueron analizados mediante el valor cuadrático medio, una técnica en el dominio del tiempo [6].

$$RMS(X) = \sqrt{\sum_{i=0}^n x_i^2 / N}$$

Se calcularon el valor RMS para cada dato el cual se muestra en el Cuadro III. El sensor tuvo problemas de muestreo en

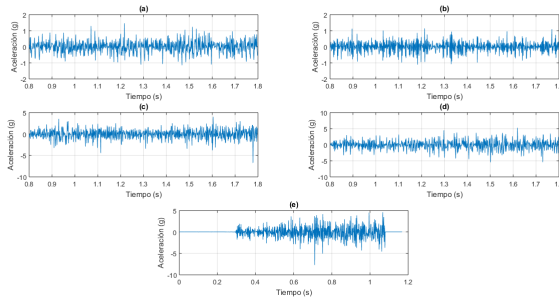


Figura 6: Vibraciones para rol golpeado (a) Sin carga, (b) con carga a velocidad 1 (c) Con carga a velocidad 2 (e) con carga a velocidad 3 (e) con carga a velocidad 4

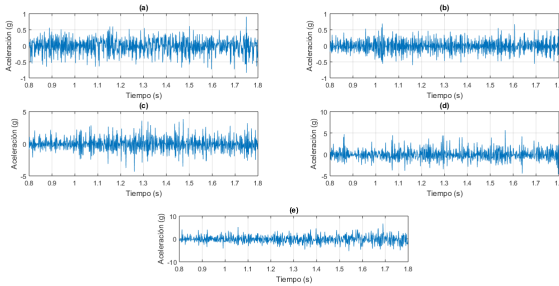


Figura 7: Vibraciones para rol con soltura mecánica (a) Sin carga, (b) con carga a velocidad 1 (c) Con carga a velocidad 2 (e) con carga a velocidad 3 (e) con carga a velocidad 4

las velocidades 3 y 4 por lo que únicamente se analizaron los datos obtenidos en las velocidades en vacío, 1 y 2.

Cuadro III: Valor RMS para todos los estados de daño en las primeras tres velocidades

	Lubricado	Sin lubricar	Oxidado	Golpeado	Soltura
Sin Carga	0,323	0,283	0,360	0,376	0,248
Vel 1	0,256	0,193	0,284	0,335	0,204
Vel 2	1,066	1,029	1,048	1,141	1,079

a) *Rol sin lubricar*: En las Fig. 4 se observó un pico de aceleración al inicio, esto se justifica porque la fricción estática es mayor y debe vencerse antes de arrancar el movimiento, además los valores RMS en el cuadro III muestran vibraciones menores debido a una mayor fricción cinética.

b) *Rol Oxidado*: Se obserbó que el valor RMS de este estado fue menor para todas las velocidades respecto al rol lubricado, esto se debe a que el óxido genera partículas que producen abrasión, y esto se traduce en fricción que se opone a las oscilaciones. [2]

c) *Rol golpeado*: Se puede observar que los valores RMS del golpeado sin carga y con la velocidad 1, tiene poca variación, además de que a mayor velocidad se tiene una mayor vibración con respecto a todas las mediciones, lo que se genera al tener una mayor fricción entre bolas que se encuentran en el rol. [1]

d) *Rol con soltura mecánica*: Al observar los valores de RMS con soltura mecánica se puede apreciar que la variación

entre los datos sin carga y y la velocidad 1 es poca, además que dicho valor sin carga es el menor con respecto a todas las mediciones, por lo que se tienen menores vibraciones a poca velocidad, pero esta aumenta con velocidades mayores.

## V. PROPUESTAS DE MANTENIMIENTO POR EMPLEAR

Teniendo en cuenta el análisis de los datos para así conocer la posible problemática, se debe proceder a una inspección del equipo para conocer la causa de fallo del rol y seguidamente proponer el mantenimiento por emplear a este.

### A. Sin lubricar

Se recomienda revisar las estrategias de mantenimiento utilizadas para el lubricado de los roles, se recomienda revisar que se utilice el aceite y las frecuencias de lubricación indicadas por el fabricante del rol y el lubricante. Además se recomienda revisar los registros de mantenimiento para asegurarse que se estén llevando a cabo.

### B. Oxidado

Las fallas por oxidación se deben a un inadecuado tratamiento de los fluidos que se encuentran en contacto con el rodamiento, se recomienda revisar el valor RMS de las señales obtenidas y compararla con los valores dados por el fabricante para determinar si el rol se debe cambiar. Finalmente se recomienda inspeccionar si hay flúidos no deseados que estén en contacto con el rodamiento.

### C. Golpeado

Las fallas del rol también pueden ser causadas por fatiga, por contar con rodamientos sobrecargados, mal aplicados (utilizar rodamientos diseñados para una posición horizontal y utilizarlos en posiciones verticales), falta de protección por la grasa de escasa resistencia, poca adherencia, alta consistencia o una por una baja resistencia a los contaminantes (agua, temperatura, gases). [4]

### D. Soltura mecánica

Estas fallas de soltura mecánica son causados por error de ajuste al instalar, revisar o realizar mantenimiento preventivo. En muchos casos se da por falta de un torquímetro, el conocimiento de este equipo o su debida calibraciones, además de problemas de ajuste por exceso de grasa y por no contar con el acabado correspondiente de eje que corresponde a este rol. [3]

Para los 3 últimos casos se debe retirar el rodamiento y conociendo el análisis de los datos, se procede a realizar una inspección para determinar la causa de fallo y ejecutar las reparaciones respectivas (mantenimiento predictivo).

## VI. CONCLUSIONES

Luego de finalizar este trabajo se concluyen los siguientes puntos:

- Se puede conocer el posible estado del rol a partir del análisis de los datos con amplitud máxima de oscilación y el valor RMS.
- Se debe conocer con certeza el tipo de lubricación que se le debe brindar a los rodamientos.
- Se debe tener en cuenta los estados de carga a los que va a estar sometido el rodamiento para escoger uno que cumpla con los requerimientos.
- Es importante no descartar los datos, sino llevar un registro y posterior análisis a través del tiempo.

## REFERENCIAS

- [1] F. Torres, J. Royo y G. Rabanaque, "Análisis de vibraciones e interpretación de datos", *DIDYF Universidad de Zaragoza, España*, 2000.
- [2] S. A. McInerny e Y. Dai, "Basic vibration signal processing for bearing fault detection", *IEEE Transactions on education*, vol. 46, n.º 1, págs. 149-156, 2003.
- [3] W. Richard, "La vida útil de rodamientos y cojinetes lubricados por grasa", *Wildman International SRL, Santa Cruz*, 2005.
- [4] A. P. González, P. J. R. Cervantes y J. L. S. Bru, *Mantenimiento mecánico de máquinas*. Publicacions de la Universitat Jaume I, 2007, vol. 25.
- [5] J. B. Ali, B. Chebel-Morello, L. Saidi, S. Malinowski y F. Fnaiech, "Accurate bearing remaining useful life prediction based on weibull distribution and artificial neural network", *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 56, págs. 150-172, 2015.
- [6] R. Sidar, P. K. Sen y G. Sahu, "Review of vibration based fault diagnosis in rolling element bearing and vibration analysis techniques", *International Journal of Scientific Research Engineering & Technology*, vol. 4, págs. 998-1003, 2015.
- [7] B. Dolenc, P. Boškoski y Đ. Juričić, "Distributed bearing fault diagnosis based on vibration analysis", *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 66, págs. 521-532, 2016.
- [8] D. Goyal, A. Saini, S. Dhami, B. Pabla y col., "Intelligent predictive maintenance of dynamic systems using condition monitoring and signal processing techniques—a review", en *Advances in Computing, Communication, & Automation (ICACCA)(Spring), International Conference on*, IEEE, 2016, págs. 1-6.
- [9] F. Jia, Y. Lei, J. Lin, X. Zhou y N. Lu, "Deep neural networks: A promising tool for fault characteristic mining and intelligent diagnosis of rotating machinery with massive data", *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 72, págs. 303-315, 2016.
- [10] A. Rai y S. Upadhyay, "A review on signal processing techniques utilized in the fault diagnosis of rolling element bearings", *Tribology International*, vol. 96, págs. 289-306, 2016.
- [11] S. Bindu y V. V. Thomas, "Detection of static air-gap eccentricity in three-phase squirrel cage induction motor through stator current and vibration analysis", en *Advances in Power Systems and Energy Management*, Springer, 2018, págs. 511-518.
- [12] C. Kurien y A. K. Srivastava, "Condition monitoring of systems in thermal power plant for vibration, motor signature, noise and wear debris analysis", *World Scientific News*, vol. 91, págs. 31-43, 2018.
- [13] C. Peeters, P. Guillaume y J. Helsen, "Vibration-based bearing fault detection for operations and maintenance cost reduction in wind energy", *Renewable Energy*, vol. 116, págs. 74-87, 2018.
- [14] G. Pino, J. R. Ribas y L. F. Guimarães, "Bearing diagnostics of hydro power plants using wavelet packet transform and a hidden markov model with orbit curves", *Shock and Vibration*, vol. 2018, 2018.

## VII. PLANOS