

Diseño de una interfaz en LabVIEW para el análisis de vibraciones mecánicas en máquinas rotativas.

Diego Alfredo Domínguez-Ulín
diegoalfredo2908@gmail.com

Luz Eréndira Velázquez-Reyes
luz.erendira.vel@gmail.com

Ernesto Alonso Ocaña Valenzuela
ernesto.alonso@comalcalco.tecnm.mx
<https://orcid.org/0000-0002-8604-149X>

Miguel Antonio Caraveo Cacep
miguel.caraveo@comalcalco.tecnm.mx

Alejandro Arias Cruz
alejandro.arias@comalcalco.tecnm.mx

Tecnológico Nacional de México campus Comalcalco
Comalcalco, Tabasco – México

Correspondencia: diegoalfredo2908@gmail.com

Artículo recibido: 15 julio 2022. Aceptado para publicación: 25 agosto 2022. Conflictos de Interés: Ninguna que declarar. Todo el contenido de **Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar**, publicados en este sitio están disponibles bajo Licencia [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) . Como citar: Domínguez-Ulín, D. A., Velázquez-Reyes, L. E., Ocaña Valenzuela, E. A., Caraveo Cacep, M. A., & Arias Cruz, A. (2022). Diseño de una interfaz en LabVIEW para el análisis de vibraciones mecánicas en máquinas rotativas. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(4), 4210-4222. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.2929

Resumen

En los últimos años, el estudio de las vibraciones mecánicas ha ido en aumento debido a las enormes ventajas que se pueden obtener con la medición de las variables relativas a este campo, permitiendo ahorros significativos en el área del mantenimiento y producción. Con el uso de sensores, tarjetas de adquisición de datos, el software LabVIEW®, guiándose con las normas internacionales que regulan los dispositivos analizadores de vibraciones, así como una programación sencilla es posible diseñar estos medidores a costos más bajos que los comerciales. El trabajo consiste en la utilización de una tarjeta Arduino UNO, la cual se programa y vincula como tarjeta de adquisición de datos, cuya conexión con sensores acelerómetros como el MMA7631 y el ADXL335 mediante el software LabVIEW®. Se presentan los procesos, así como los resultados obtenidos, de igual manera el análisis de su eficiencia.

Dentro del trabajo realizado se llevó a cabo la medición de variables importantes para la oportuna medición de las vibraciones mecánicas tales como los rpm (revoluciones por minuto), mm/s (milímetro sobre segundo), fase, rps (revoluciones por segundo), rms (valor eficaz), etc. los cuales permiten conocer el estado de una máquina rotativa de corriente alterna que funciona bajo condiciones de carga.

Palabras clave: acelerómetro; analizador de vibraciones; interfaz; sensor; vibraciones mecánicas

Design of an interface in LabVIEW for the analysis of mechanical vibrations

Abstract

In recent years, the study of mechanical vibrations has been increasing due to the enormous advantages that can be obtained with the measurement of variables related to this field, allowing significant savings in the area of maintenance and production. With the use of sensors, data acquisition cards, LabVIEW® software, guided by the international standards that regulate vibration analyzer devices, as well as simple programming, it is possible to design these meters at lower costs than commercial ones. The work consists of the use of an Arduino UNO card, which is programmed and linked as a data acquisition card, whose connection with accelerometer sensors such as the MMA17631 and ADXL335 through LabVIEW® software. The processes and the results obtained are presented, as well as the analysis of its efficiency.

The work carried out included the measurement of important variables for the timely measurement of mechanical vibrations such as rpm (revolutions per minute), mm/s (millimeter per second), phase, rps (revolutions per second), rms (rms value), etc., which allow to know the state of an alternating current rotating machine operating under load conditions.

Keywords: accelerometer; vibration analyzer; interface; sensor; mechanical vibrations

INTRODUCCIÓN

En los entornos industriales existen muchas fuentes de vibración: procesos de impacto como el hincado de motores, vehículos de transporte, flujo de fluidos y maquinaria rotatoria o reciprocante como motores, compresores y motores eléctricos (Rao, 2012).

Un sistema el cual puede detectar, medir y analizar el comportamiento vibratorio, antes del momento de su falla puede ahorrar costos e incrementar la competitividad de las compañías. Al analizar dichas vibraciones es posible diagnosticar problemas de maquinaria rotativa como desbalance, falta de alineación, problemas en engranes, resonancia estructural (Dos Santos et al, 2017).

La razón por la cual es importante relacionar el mantenimiento con el análisis de vibraciones radica en que se pueden detectar problemas en la maquinaria de forma temprana y que un mantenimiento apropiado puede ahorrar un 30% los costos totales de mantenimiento (Villaroel, 2019).

El acelerómetro es el mejor dispositivo para determinar las fuerzas de la fuente de la vibración. De los modelos existentes, el acelerómetro con tecnología MEMS (Sistema Micro-Electro-Mecánico) es el más ampliamente usado, debido a que son desarrollos de bajo costo, lo cual favorece la realización de proyectos del tipo educativo (Aswin et al, 2020).

La realización de proyectos del tipo educativo, donde se incluyen prototipos, proyectos de innovación, desarrollo de software, constituye hoy un aporte de la tecnología al campo de la Educación como un medio o recurso que sirve de apoyo en los procesos de enseñanza y aprendizaje, el cual busca facilitar tanto el trabajo del docente como el logro de propósito de aprendizaje por parte del estudiante.

Basándose en consideraciones teóricas y experimentales, el valor RMS se ha definido como unidad de medida para cuantificar la severidad vibratoria (Longoria, 2014).

Las normas ISO son un conjunto de estándares con reconocimiento internacional que proporcionan reglas, pautas o características para las actividades o para sus resultados, con el objetivo de lograr el grado óptimo de orden en un contexto dado. Su propósito consiste en establecer unos niveles reconocidos de cumplimiento de calidad, eficiencia y seguridad en relación con la áreas y actividades concretas que desarrolla cada norma (ISO, 2022).

MATERIALES Y MÉTODOS

La selección de los materiales para la elaboración de la Interfaz LabVIEW analizador de vibraciones, se realizó mediante una investigación sobre los métodos de adquisición de datos y los materiales utilizados.

La búsqueda de información acerca de los sensores permitió conocer las ventajas y desventajas de cada uno de los modelos que se han utilizado para la adquisición de datos en temas de analizar vibraciones. Por último, es necesario mencionar, que estos fueron seleccionados con base en valor adquisitivo, tiempo y sus características, con lo que se pudo comenzar la primera fase de desarrollo.

Los modelos seleccionados fueron los siguientes:

- **Sensor acelerómetro ADXL335**

La característica principal de este sensor es la ventaja que tiene en la velocidad para captar la señal y enviarla, lo cual permite calibrar su magnitud, ya que es un sensor

análogo que puede detectar todas las vibraciones de baja y alta frecuencia de 1-10g (g, constante de gravedad). Con esto, este dispositivo compite en el mercado por ser un sensor económico como se muestra en la figura 1 (Analog Devices, 2022).



Figura 1. Sensor ADXL 335.

- **Sensor acelerómetro MMA7631**



Es un sensor seleccionado por contar con características más sensibles, ya que permite captar todas las señales, consta de un arreglo físico y de software que le da la capacidad de recalibrar y ajustar la manera en la que se requiere realizar el trabajo. Además, es compatible con la placa de Arduino uno, el cual realiza y comunica una lectura promediada si así se requiere. Este sensor es de alta competencia en el mercado derivado de su bajo valor económico y debido a que detecta vibraciones de 1-16g. (Anexo 1), como se muestra en la figura 2 (NXP Semiconductors, 2022).

Figura 2. Sensor MMA7631.

Arduino Uno

En la familia Arduino existe el modelo denominado Arduino UNO, el cual cuenta con una capacidad de conectividad con los diferentes tipos de sensores y con una frecuencia de trabajo de 16Mhz, que permite leer los datos a la velocidad de la frecuencia que se requiere.



Figura 3. Arduino UN

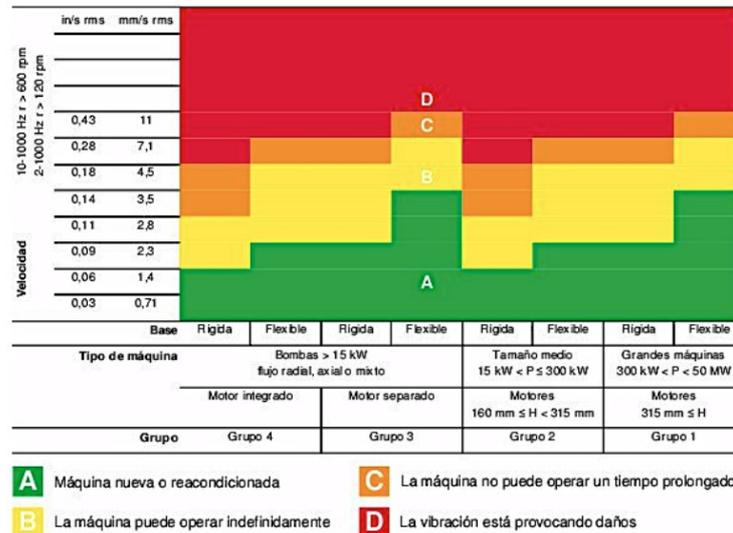
Norma ISO 10816

Establece las condiciones y procedimientos generales para la medición y evaluación de la vibración, utilizando mediciones realizadas sobre partes no rotativas de las máquinas. El criterio general de evaluación se basa tanto en la monitorización operacional como en pruebas de validación que han sido establecidas fundamentalmente con objeto de garantizar un funcionamiento fiable de la máquina a largo plazo. Esta norma reemplaza a las ISO 2372 e ISO 3945, que han sido objeto de revisión técnica (Medrano et al. 2017). Este estándar consta de cinco partes:

- Parte 1: Indicaciones generales.
- Parte 2: Turbinas de vapor y generadores que superen los 50 MW con velocidades típicas de trabajo de 1500, 1800, 3000 y 3600 RPM.
- Parte 3: Maquinaria industrial con potencia nominal por encima de 15 kW y velocidades entre 120 y 15000 RPM.
- Parte 4: Conjuntos movidos por turbinas de gas excluyendo las empleadas en aeronáutica.
- Parte 5: Conjuntos de máquinas en plantas de hidrogenación y bombeo (únicamente disponible en inglés).

La tabla que se muestra a continuación (Figura 4) fue recuperada de la norma ya descrita. Este recurso grafico nos facilita la interpretación de los resultados para posterior prueba de la interfaz. Como se puede observar, las máquinas tendrán diferentes rangos de descalibración dependiendo de su flexibilidad, rigidez y tipo de motor.

Figura 4. Tabla con la clasificación respecto al resultado de la lectura



Se llevo a cabo una investigación experimental donde se realizaron diferentes pruebas con sensores para definir cual cumplía de mejor manera con las expectativas de tener un equipo analizador de vibraciones educativo con similitudes con un equipo comercial cumpliendo con las especificaciones dadas por la norma ISO 10816.

PROCEDIMIENTO

Habiendo seleccionado los materiales, se realizó el diseño de un programa base que permite la conectividad de la tarjeta de adquisición de datos Arduino Uno y la interfaz LabVIEW. Se muestra la pantalla principal de la interfaz para el análisis de vibraciones en la figura 5.



Figura 5. Interfaz en LabVIEW para el análisis de las vibraciones.

Dicha interfaz se compone de unos botones los cuales se describen a continuación:

1. Alto: Paro del programa.
2. Eje x, y, z: Selecciona a un subpanel que despliegan los datos del sensor para cada eje respectivamente.
3. Tacómetro: Acceso a un subpanel donde se visualiza un tacómetro con los datos que se obtienen del sensor.

El subpanel para cada eje x, y, z, contiene los siguientes datos mostrados en la figura 6 (el ejemplo solo es del eje x, pero es el mismo subpanel para los ejes y y z):

1. Datos obtenidos Byte: Se encarga de mantener el rango de la señal y el estado de esta misma.
2. Estado: indica las condiciones en las que se encuentra el motor en código de colores, verde: maquina nueva o reacondicionada; amarillo: la máquina puede operar indefinidamente; naranja: la máquina no puede operar un tiempo prolongado; rojo: la vibración está prolongando daños.
3. Acelerometer X: La gráfica superior representa la señal de entrada y la gráfica inferior la misma señal, pero filtrada.
4. En la tabla de datos de la parte central se observan los datos que proyecta el sensor y la selección del canal.
5. Datos recibidos: indica los datos que recibe el sensor.



Figura 6. Subpanel del eje x.

El subpanel del tacómetro (figura 7) contiene la siguiente información:
Selección de puerto serial banda de ancho de baudios.

1. Alto de programa.
2. Velocidad de lectura
3. Frecuencia de la señal
4. RPS (revoluciones por segundo) de manera análoga y digital.
5. RPM (revoluciones por minuto) de manera gráfica y digital.



Figura 7. Subpanel del tacómetro.

La forma de trabajar con la interfaz consiste en que se tiene que analizar las características de la máquina a la que se le hace la prueba, considerando las descripciones de la tabla, por ejemplo, se debe tomar en cuenta el tipo de máquina de acuerdo con su potencia, si el eje del motor es integrado o separado, igual verificar el grupo al cual pertenece y si la base es rígida o flexible. Esto se debe distinguir porque la tabla tiene rangos diferentes para cada clasificación.

Una vez sabiendo a qué grupo pertenece y conociendo la constante de velocidad establecida por el fabricante, el sensor es calibrado automáticamente por el software y la constante de gravedad quedará definida a la mayor capacidad para su sensibilidad que pueda otorgar el sensor, entonces al colocar el sensor detectará las vibraciones del rodamiento ya establecido a la velocidad del fabricante, esta señal obtenida es tomada por 3 microsensores representando cada eje, la señal tomada se representa en voltaje RMS (valor eficaz), para la clasificación del rango en la norma se toma el valor eficaz de la señal con grosor de su eje mm/s este puede variar dependiendo que tipo de motor sea que clase de eje se emplea flexible o rígido, para un motor convencional rígido que cuenta con una consumo menor a 15kwh este tiene un valor nominal en la clasificación de la norma de 0.71 a 1.4 esta se tomará como reacondicionado, después la clasificación sube a 2.3 a 2.8 que significa que la máquina puede operar indefinidamente, si se encuentra en un rango de 2.5 a 4.5 la máquina no puede operar durante un tiempo prolongado, por último, se sabrá que la máquina está presentando daños si la medición se encuentra en un rango de 7.1 a 11.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de realizar la interfaz, lo siguiente que se llevó a cabo fueron las pruebas con los sensores MMA7631 y ADXL335 tomando en cuenta las dos conexiones posibles (LINX y Serial). En primera instancia se hizo la prueba para una bomba de agua debajo de los 15

KW con las condiciones que marca la norma ISO-10816 la cual se llamará motor 1. La figura 8 muestra una fotografía del primer equipo analizado.



Figura 8. Prueba hecha en el motor 1

Para cada una de las conexiones y para cada uno de los sensores se revisaba en qué condiciones estaba.

En la figura 9 se ve un ejemplo del eje Y utilizando el sensor ADXL335 con la conexión de LINX.

En lo que respecta a la gráfica superior se puede ver la señal directamente medida con el sensor, y en la parte de abajo la misma señal aparece, pero con filtros que terminan dando un aspecto más estable de la señal, de igual manera se muestran los resultados en tiempo real, los cuales se colocaron en una tabla y en la figura de estado, con base a las mediciones el software determinó que pertenece al estado de nueva o reacondicionada.

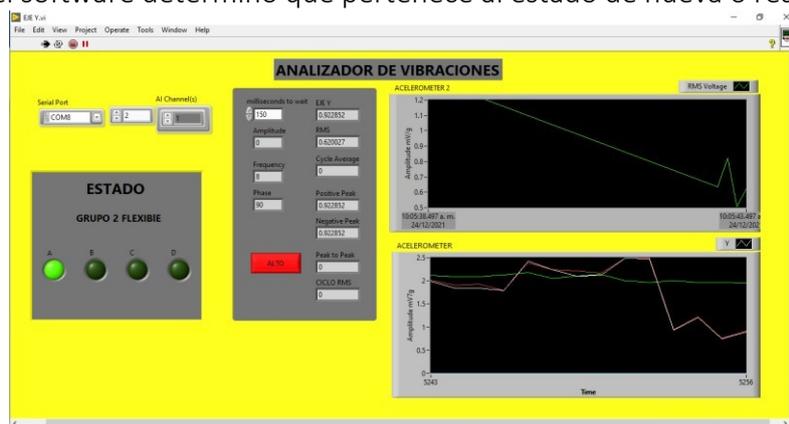


Figura 9. Lectura de sensor MMA7631 eje Y con Linx para el motor 1

En cada una de las pruebas que se hizo con este motor, aunque se tuvieron variaciones mínimas en los valores finales, la condición de nueva o reacondicionada apareció en todas las mediciones hechas. En la tabla 1 se muestra un resumen con los datos medidos para el denominado motor 1.

En segunda instancia, se muestran los resultados de pruebas hechas con un segundo motor, el cual se denominará motor 2, como puede observarse en la figura 10, con

características similares que el motor 1 (bomba de agua debajo de los 15 KW) que tenía algunos detalles de ruido fuera de lo normal.



Figura 10. Prueba hecha en el motor 2

Se puede visualizar en la figura 11 que el analizador logró determinar que el estado en el que se encontraba era “B” significa que el motor puede operar indefinidamente, que significa que el dispositivo puede estar operando, pero sufrirá un desgaste mayor en menor tiempo.



Figura 11. Lectura de sensor MMA7631 eje Y con Linx para el motor 2

Los resultados completos de las mediciones hechas con los sensores ADXL335 y MMA7631 con la interfaz utilizando conexión LINX y Serial se muestra en la tabla 1 para el motor 1.

Tabla 1. Resultados de la medición del motor 1 utilizando las diferentes interfaces.

Tipo de placa	Interfaz	Sensor	Resultados	Eje X	Eje Y	Eje Z
Arduino	LINX	MMA7631	El motor se encuentra reacondicionado	0.8135rms	0.6200	1.4500
		ADXL335	El motor se encuentra reacondicionado	0.9874rms	1.0071	1.0627
	SERIAL	MMA7631	El motor se encuentra reacondicionado	0.9058rms	1.3097	1.4936
		ADXL335	El motor se encuentra reacondicionado	0.9129rms	1.2801	1.0765

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del mismo conjunto de pruebas (con los dos sensores MMA73621 y ADXL335 y la conexión vía LINX y vía Serial) con el motor 2 que presentaba un grado de vibración mayor para que se pudiera tener un resultado diferente en la medida del estado de la máquina.

Tabla 2. Resultados de la medición del motor 2 utilizando las diferentes interfaces.

Tipo de placa	Interfaz	Sensor	Resultados	Eje X	Eje Y	Eje Z
Arduino	LINX	MMA7631	La máquina puede operar indefinidamente	2.2209rms	2.2275rms	2.2340rms
		ADXL335	La máquina puede operar indefinidamente	2.2406rms	2.2242rms	2.2275rms
	SERIAL	MMA7631	La máquina puede operar indefinidamente	2.2301rms	2.2098rms	2.2201rms
		ADXL335	La máquina puede operar indefinidamente	2.2259rms	2.2184rms	2.2157rms

DISCUSIÓN

Es necesario mencionar que las características de los 2 equipos medidos cumplían con la primera condición de la máquina que trae la tabla de la figura 4 ya que se necesita configurar la interfaz cada vez que se le conecte a un motor porque todas las condiciones varían. En la parte del medidor de revoluciones, el trabajo tendrá una continuación, debido a que las pruebas realizadas presentaban fallas, teniendo en su mayoría errores en las mediciones de tiempo real, ya que las medidas obtenidas variaban con respecto a las medidas del medidor comercial, por lo que se hará una investigación posterior acerca de este tema, ya que esta variable es importante para otras mediciones de las que se hacen para determinar el grado de falla que puede tener un motor. En este trabajo, para evitar problemas con ese número, se prefirió colocarlo de manera manual en las fórmulas, de acuerdo a los datos dados del motor. En cuanto a respuestas de los sensores se determinó que el sensor MMA7631 se comportó de manera más eficiente. El rango de medición es más es más precisa y exacta, ya que tiene mejor sondeo.

CONCLUSIONES

El trabajo presentado, ha sido realizado como parte del desarrollo de un sistema completo de análisis de vibraciones. La investigación llevada a cabo tiene mucha importancia ya que ha permitido explicar información relevante acerca de la tarjeta de adquisición de datos Arduino UNO y algunos modelos de sensores, buscando la selección más apropiada de los materiales a utilizar para poder concretar este proyecto. Otro tema interesante fue la manera de implementar las normas ISO, en este caso con el fin de conocer los estados de los motores, que vino a ser la parte fundamental de este trabajo. Se espera que en los próximos avances se vaya encontrando solución a los problemas encontrados y se siga desarrollando el sistema analizador de vibraciones que resulte benéfico para los estudiantes.

LISTA DE REFERENCIAS

- Analog Devices (2022). [Internet]. "ADXL335". Disponible en: <https://www.analog.com/en/products/adxl335.html#product-overview>
- Aswin, F., Dwisaputra, I., Afriansyah, R. (2020). Online vibration monitoring system for rotating machinery based on 3-axis MEMS accelerometer. *Journal of Physics: Conference Series*. 1450. 012109. 10.1088/1742-6596/1450/1/012109.
- Dos Santos, L, Zago, R., Fruett, F. (2017). Fault diagnostics in rotary machines through spectral vibration analysis using low-cost MEMS devices. *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, 20(6), 39–44. doi:10.1109/mim.2017.8121950
- Longoria-Cordero, G. (2014). Reconocimiento de fallas en motores de inducción mediante patrones orbitales de vibraciones. Tesis. Instituto Politécnico Nacional.
- Medrano-Márquez, J., González-Ajuech, V., Díaz de León-Santiago, V. (2017). *Mantenimiento. Técnicas y Aplicaciones Industriales*. Editorial Grupo Editorial Patria. Primera Edición.

NXP Semiconductors (2022). [Internet]. "MMA7361LC: $\pm 1.5g$, $\pm 6g$, 3-Axis Analog Output Acceleration Sensor". Disponible en: <https://www.nxp.com/products/no-longer-manufactured/1-5g-6g-3-axis-analog-output-acceleration-sensor:MMA7361LC>

Rao, S.S. "Vibraciones Mecánicas" 5ª edición. Pearson Educación, México, 2012.

Villarroel A, Zurita G, Velarde R. "Development of a Low-Cost Vibration Measurement System for Industrial Applications". *Machines*. 2019; 7(1):12. <https://doi.org/10.3390/machines7010012>