

## Diseño de Sistema de Analisis de Vibraciones por Adquisicion de Datos con Interfaz Grafica

Israel Viveros Torres<sup>a</sup>, Josimar Muñoz Delgado<sup>b</sup>, José Antonio Aguirre Guzmán<sup>c</sup>

Instituto Tecnológico Superior de Alvarado, Veracruz, México, Escolleras Norte S/N. Col. La Trocha, Alvarado, Ver. Email: [contacto@tecnm.mx](mailto:contacto@tecnm.mx)

---

### Resumen

*El presente proyecto refiere a un dispositivo que permita determinar y evaluar el índice de vibraciones mecánicas presentes en sistemas rotatorios, esto a fin de permitir el diagnóstico del estado de la maquinaria evaluada, esto por medio de un sistema de referencia normalizado como son las normas UNE e ISO; para de esta forma desarrollar la implementación simplificada del procedimiento para balanceo dinámico en uno o dos planos, con base en modelos matemáticos de ecuaciones diferenciales, series y transformadas; este análisis se llevara a cabo a través de tecnología de acelerómetros de bajo costo, así como el uso de microcontroladores como dispositivo de adquisición de datos, para de esta manera reducir significativamente factores de riesgo de falla, al generar una herramienta accesible respecto a modelos extranjeros además de ser un sistema que no requiere un alto nivel de especialización en los usuarios del dispositivo.*

*El instrumento propuesto proporcionara información de la condición de la máquina medida en tiempo real. La información obtenida, ayudara a anticiparse a las fallas, las cuales pueden ser en la mayoría de las veces catastróficas. Con la realización de este prototipo se pretende obtener competencias y aptitudes en las ramas de instrumentación y control, como de igual manera en el área de mantenimiento predictivo.*

**Palabras clave:** *Vibración, rotatorio, acelerómetro, microcontrolador.*

## **Introducción**

El desbalance en sistemas rotatorios es una afectación de alta recurrencia en el sector industrial y el cual genera altos índices de vibraciones mecánicas en las máquinas y sistemas de potencia por lo que en toda industria que utilice sistemas rotatorios de alto par y velocidad (básicamente el 100%), es imprescindible un diagnóstico adecuado y la corrección respectiva de este fenómeno, el cual es el principal factor de fallas graves en incluso fatales en las conexiones mecánicas y sistemas motrices; sin embargo la realidad en nuestro entorno es que actualmente la industria en el estado de Veracruz y específicamente en nuestro municipio no existen protocolos de mantenimiento predictivo como tal, específicamente balanceo dinámico en máquinas; esto evidencia una alta dependencia de integradores de otros estados e incluso extranjeros así como tecnologías de origen extranjero prácticamente en su totalidad, lo que representa altos costos de adquisición. Además de lo anterior, este tipo de dispositivos demandan un alto grado de entrenamiento, por parte del usuario. Lo anterior crea dos barreras que se desean abatir a través de esta invención proveer de tecnología accesible y reducir significativamente la curva de aprendizaje para la interpretación y aplicación de los datos generados, de esta manera permitiendo el uso generalizado de la herramienta en un mayor número de personal.

Además es importante resaltar que la tendencia mundial en materia de mantenimiento industrial va enfocado a la implementación de sistemas de mantenimiento predictivo, este hecho contrasta con el estado actual del enfoque del mantenimiento nacional y estatal donde, a lo más se tienen estructuradas estrategias enfocadas en mantenimientos preventivos, y aun en muchos casos el tipo correctivo se mantiene en aplicación, este déficit en los procesos industriales, reiteramos tienen como origen, dos factores: los altos costos de los equipos y el nivel de especialización requerido por el personal técnico para una correcta aplicación del instrumento.

## **Desarrollo.**

El presente, proyecto se enfoca particularmente al campo técnico de la instrumentación y control y más particularmente al campo técnico del mantenimiento predictivo. Es por lo tanto el objeto principal de la presente invención el proporcionar un dispositivo que permita determinar y evaluar el índice de vibraciones mecánicas presentes en sistemas rotatorios, la vibración es un parámetro prioritario de medición de la condición o salud mecánica de una máquina en particular. Una máquina “sana” tendrá un valor bajo de vibración, indicando que el motor, así como sus dispositivos periféricos tales como engranajes, ventiladores y compresores están adecuadamente balanceados, alineados y correctamente montados. La medida de vibración es, por lo tanto, una poderosa ayuda en el mantenimiento predictivo de tales equipos. Con base en lo anterior la meta principal es: desarrollar un dispositivo portátil de análisis para vibraciones mecánicas como herramienta de diagnóstico y detección de fallas a través de la interpretación de parámetros de referencia que evidencien desbalance en

elementos rotatorios de transmisión de potencia, así como errores de montaje en los mismos, para diagnosticar fallas en equipos industriales con oportunidad, bajo las siguientes consideraciones: Análisis y selección de los diferentes elementos que conformen dicho prototipo a través de herramienta CAE (ingeniería asistida por computadora). Diseño virtual del prototipo con base en parámetros definidos para el análisis de vibraciones. Diseño y programación del HMI (interfaz hombre-máquina) a través de software adquisición de datos en tiempo real. Implementación y puesta a punto del prototipo, con base a la evaluación de equipos industriales. Evaluación e interpretación de resultados.

## Procedimientos y Ensayos

### 3.1 Análisis y selección de los diferentes elementos que conformen dicho prototipo a través de herramienta CAE (ingeniería asistida por computadora).

El proyecto busca establecer una aplicación de tipo industrial para esto, nos fundamentaremos en los estándares establecidos en materia de vibraciones mecánicas. En el presente trabajo nos basaremos en International Standards Organization (ISO); bajo este criterio existen dos paradigmas para la evaluación de la severidad de la vibración:

Estándares para los ensayos de la aceptación de las máquinas y estándares para el monitoreo de la vibración durante la operación de las máquinas. El primer enfoque se fundamenta básicamente en la instalación y puesta en servicio de una máquina rotatoria. Si bien la herramienta propuesta es útil para este enfoque específicamente en la determinación de los niveles de aceptación, se considera un campo de aplicación de mayor interés el segundo enfoque en el cual se establece el siguiente análisis.

#### Estándares para el monitoreo operacional de las máquinas

Estos estándares establecen niveles vibratorios para el monitoreo de una máquina durante su operación, afín de evaluar su condición, es decir, se utilizará el valor de la vibración como un indicador de la condición de la máquina, como se muestra en la figura 1.

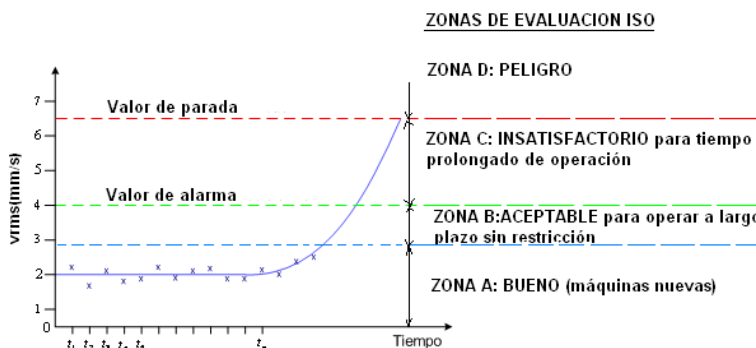


Figura 1. Gráfico de evaluación de severidad de vibración ISO

En nuestro caso aplicaremos como base la norma ISO 2372: Vibraciones mecánicas de máquinas que operan con velocidades entre 10 y 200 (rev/s). La cual evalúa máquinas pequeñas que son las que en primera instancia podremos evaluar además de ser aplicables en gran variedad de equipos aun en operación en la industria local y nacional, donde se presenta la siguiente clasificación:

CLASE I : Máquinas pequeñas con potencia menor a 15 KW.

CLASE II: Máquinas de tamaño mediano con potencia entre 15 y 300 KW.

CLASE III: Máquinas grandes con potencia sobre 300 KW, montadas en soportes rígidos.

CLASE IV: Máquinas grandes con potencia sobre 300 KW, montadas en soportes flexibles.

Así como una tabla de referencia para la evaluación de los datos que se obtendrán, como se advierte En la figura 2:

Rango de velocidad efectiva ó RMS (mm/s)	Tipos de Máquinas			
	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV
0,18 - 0,28	A	A	A	A
0,28 - 0,45				
0,45 - 0,71				
0,71 - 1,12	B	B	B	B
1,12 - 1,8				
1,8 - 2,8	C	C	C	C
2,8 - 4,5	D	D	D	D
4,5 - 7,1				
7,1 - 11,2	D	D	D	D
11,2 - 18				
18 - 28	D	D	D	D

Figura 2. Parámetros de referencia y diagnostico ISO 2372

Con base a las consideraciones técnicas anteriormente expuestas y debido a considerar un elemento de capacidad portable y de alta adaptabilidad en los modos de medición, se deben considerar aspectos básicos de la geometría de las máquinas a evaluar, en la figura 3 podemos verificar los puntos básicos de medición:

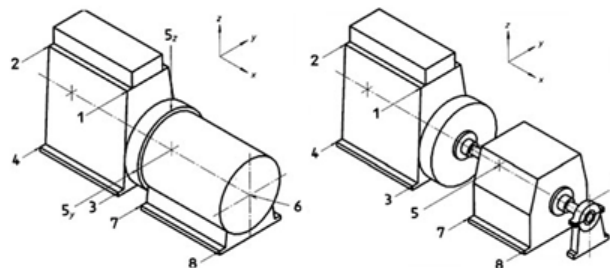


Figura 3. Ubicación de puntos de medición

De esta forma se advierte que los puntos clave para las lecturas se sitúan en la “caras” principales del conjunto motriz así como en los elementos de acoplamiento mecánico y principalmente en los rodamientos y chumaceras. De esta forma se diseñan los elementos de sujeción, un palpador con imán de neodimio y como sensor un acelerómetro MPU6050, el cual por su bajo costo y compacta fabricación facilita la construcción de la invención.

### 3.2 Diseño virtual del prototipo con base en parámetros definidos para el análisis de vibraciones.

Ya teniendo una idea estructurada de los requerimientos del modelo procedemos a establecer el diseño en la plataforma seleccionada, la cual fue Google Sketchup la cual es una aplicación CAD capaz de implementar diseño 3D, con buen grado de precisión dimensional, además de permitir en forma directa exportar los diseños generados. Esto es como se muestra en la figura 4.

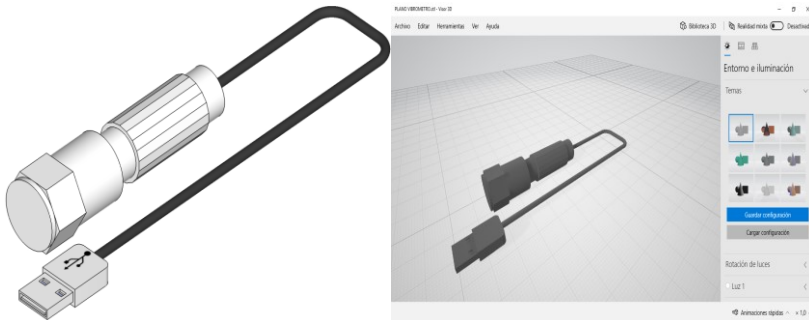
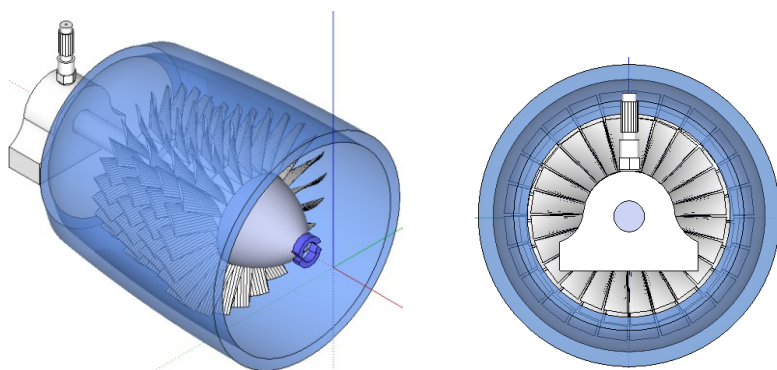


Figura 4. Modelo desarrollado para sensor de vibraciones.

### 3.3 Diseño y programación del HMI (interfaz hombre-máquina) a través de software adquisición de datos en tiempo real.

La medición y adquisición de los parámetros de vibración para maquinas rotatoria se lleva a cabo a través del instrumento elaborado que consta de una sujeción magnética, que hace las veces de un palpador, así como un encapsulado de sensor analógico de aceleración para detección en los tres ejes físicos X, Y, y Z junto con un microcontrolador a 16 GHz de frecuencia de operación. Estos elementos se encargan de adquirir los parámetros de vibración de la maquinaria y transferir estos datos a la terminal de cómputo o tableta, desplegando de esta forma la información del equipo por la interfaz gráfica precargada en LabVIEW. El sistema permite la interconexión a través de cable de datos y terminal, bajo esta configuración el sistema no requiere encendido manual ni recarga de baterías ya que el conjunto enciende de forma instantánea a la conexión y queda autónomo con la energía del computador asumiendo función de un periférico agregado con bajo consumo eléctrico en un orden de 5 VDC. De esta forma el conjunto tiene la capacidad de graficar y analizar los índices de oscilación transformando los valores obtenidos del dominio (rango) del tiempo al dominio de frecuencia,

esto evita una manipulación matemática o interpretación de parámetros con alto grado de complejidad, evitando que el usuario deba ostentar un alto grado de especialización en la materia permitiéndole así detectar comportamientos anómalos por simple lectura del instrumento. Habiendo establecido la ingeniería de diseño requerida. Se establece ahora como método de solución el algoritmo de cuatro corridas con carga de desbalance; este consiste en realizar cuatro lecturas a través de transductor (acelerómetro), aplicando una misma carga de compensación en posiciones angulares diferentes las cuales deben estar en un rango dentro de los  $120^\circ$  de espaciamiento partiendo de un punto arbitrario. De esta forma el transductor adquiere a través del microcontrolador los valores de amplitud en RMS. El Sistema permite la captura de la lectura en cuanto se alcance la velocidad de prueba en operación; este arreglo se expresa en la figura 5.



**Figura 5. Esquema de medición de máquina rotatoria con transductor**

Una vez obtenidos los parámetros en las corridas sucesivas se aplica la programación respectiva. Se aplican las fórmulas para masa de corrección y ángulo en el cual se debe de posicionar (figura 6). Estas serán programadas en el entorno LabVIEW. En la figura 7 se expresa la ventana GUI donde se despliega la serie de datos adquiridos por el sistema:

$$V_t = \sqrt{\frac{V_1^2 + V_2^2 - 2V_0^2}{2}} = 6.26 \quad M_c = M_p \frac{V_0}{V_t} = 8.85 \quad \alpha_0 = \cos^{-1}\left(\frac{V_2^2 - V_1^2}{4V_t V_0}\right) = 87.25^\circ$$

NIVELES DE VIBRACIÓN (mm/s RMS)	
V <sub>0</sub>	5.6
V <sub>1</sub>	8.2
V <sub>2</sub>	8.6
V <sub>3</sub>	3.5

MASA DE PRUEBA (gr)	
M <sub>p</sub>	9.9

**Figura 6. Datos obtenidos de las corridas de prueba.**

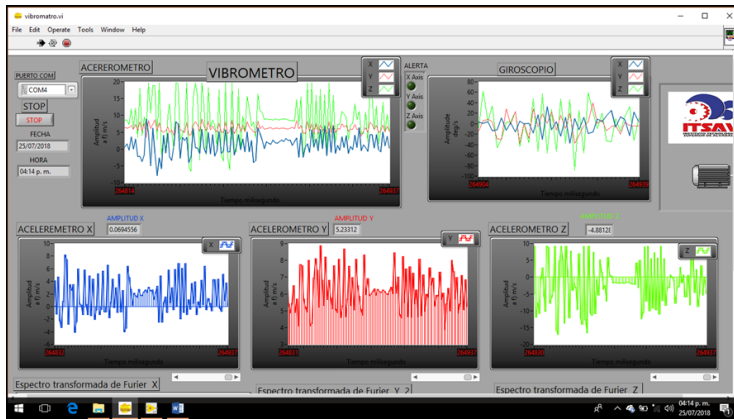


Figura 7. Programación en LabVIEW y pantalla de interfaz gráfica de datos.

### 3.4 Implementación y puesta a punto del prototipo, con base a la evaluación de equipos industriales.

Análisis de vibración en maquinaria etiquetadora empresa ICEMC S.A. DE C.V. aplicando el prototipo de medición vibratorio con interfaz gráfica. La máquina etiquetadora presentaba ciertos problemas en la estrella de entrada y de salida a la hora de la producción ya después de una hora de trabajo empezaba a tener cierto des alineamiento en el eje del rotor por lo mismo comenzaba a tener vibraciones excedidas y los rodamientos se dañaban y en algunos casos llegaban a fracturarse. La mejora en rendimiento con base a detección oportuna es apreciable en la siguiente figura 8.

Mantenimiento trimestral	Sin uso de sensor	Con uso de sensor
Rodamientos dañados por vibraciones	6 rodamientos	2 rodamientos
Paros de emergencia por desbalanceo.	6 paros	1 paro
Horas de mantenimiento	5 horas	1 hora
Producción	45,900 unidades	64,800 unidades

Figura 8. Tabla comparativa antes y después de la aplicación del sistema de balanceo

La comparativa contrasta las condiciones antes y después de la implementación de la invención en un equipo comercial presentando mejoras sustanciales en diagnóstico

funcionalidad. En las siguientes dos columnas se contrastan los parámetros antes referidos evidenciando la mejora en el indicador con la aplicación de la invención.

### **3.5 Evaluación e interpretación de resultados**

Con base a los resultados se concluye respecto al proyecto, como dispositivo portátil, al no requerir accesorios especializados de fijación y herramienta de ajuste; y que permite una conectividad generalizada a equipos de cómputo o tabletas vía USB y cable de datos. Presenta respuesta en tiempo real de los parámetros funcionales de la maquinaria. Identifica en primera instancia naturaleza de falla con base a dos discriminantes balanceo o desalineación a través de los sensores de aceleración axial y radial. Implementar algoritmo directo de solución, tras la ejecución de corridas del sistema, determinando así, aun sin intervención analítica del usuario, el criterio de corrección. Se destaca que la capacitación para el manejo del dispositivo, fue de un promedio de 4 horas, y fue aplicado exitosamente, por personal de nivel académico bachiller o profesional técnico. Franqueando de esta forma la limitante de expertis y aplicabilidad en sistemas reales de tipo industrial.

### **Referencias**

- Adash. ((S.F)). *¿Qué es un acelerómetro y un medidor/analizador de vibraciones?* Obtenido de Adash: <https://adash.com/es/diagnostico-vibraciones/aceler%C3%B3metro-medidor-analizador-de-vibraciones/>
- Rao, S. S. (2012). Rao, Singiruse S. En V. Mecanicas, *Vibraciones Mecanicas* (págs. 13-16). Mexico: Pearson Educacion.
- Royo, J. A., Rabanaque, G., & Torres, F. (4 de Octubre de 2016). *www.guemisa.com*. Obtenido de *www.guemisa.com*: <http://www.guemisa.com/articul/pdf/vibraciones.pdf>
- Seto, W. W. (2010). *Vibraciones Mecanicas*. En W. W. Seto, *Vibraciones Mecanicas* (pág. 1).
- Considine, D.M. and Considine, G.D. *Process Instruments and Control Handbook*. Mc.Graw Hill. 1985.
- Coughanowr, D.R. and Koppel, L.B. *Process System Analysis and Control*. Prentice Hall, 1993.
- Creus, A. *Instrumentación Industrial*. Alfa Omega Marcombo. 1997.
- Deshpande, P.B. and Ash, R.H. *Elements and Computer Process Control*. Prentice-Hall, 1981.
- [http://www.ing.udec.cl/upload/paginas/archivos/20-10-2017-15-22-35\\_26-04-2017-15-43-21\\_tutorial-severidad-vibratoria-parte-i.pdf](http://www.ing.udec.cl/upload/paginas/archivos/20-10-2017-15-22-35_26-04-2017-15-43-21_tutorial-severidad-vibratoria-parte-i.pdf)