

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**



**TEMA:**

**IMPLEMETACIÓN DE UN MÓDULO PARA PRUEBAS DE  
VIBRACIONES EN MOTORES ELÉCTRICOS DE BAJA  
POTENCIA.**

Trabajo de grado previo a la obtención del título de Ingeniero

**Línea de investigación:** Producción industrial y tecnología sostenible

**AUTOR:**

Paúl René Velasteguí Pabón

**DIRECTOR:**

MSc. Jhonny Javier Barzola Iza

Ibarra- 2026



## AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	1004747497		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Velasguí Pabón Paúl René		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Ciudadela Rosita Paredes, Casa 4-12, Calles Agustín Cueva y Manuel Sánchez		
<b>EMAIL:</b>	prvelastegui@utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	S/N	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0997286634

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO:</b>	IMPLEMTACIÓN DE UN MÓDULO DE PRUEBAS DE VIBRACIONES EN MOTORES ELÉCTRICOS DE BAJA POTENCIA
<b>AUTOR (ES):</b>	Velasguí Pabón Paúl René
<b>FECHA DE APROBACIÓN: DD/MM/AAAA</b>	12 de febrero 2026
<b>PROGRAMA:</b>	<b>PREGRADO</b> <input checked="" type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b> <input type="checkbox"/>
<b>TITULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniero(a) Eléctrico(a)
<b>ASESOR /DIRECTOR:</b>	Ing. Isabel Quinde,Msc. Ing. Jhonny Barzola,Msc.



## 2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 03 días del mes de marzo de 2026

### **EL AUTOR:**

Nombre: Paúl René Velasteguí Pabón



**CERTIFICADO DEL DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN  
CURRICULAR**

Yo, Ing Jhonny Javier Barzola Iza Msc en calidad de director del señor estudiante Paúl René Velasteguí Pabón certifico que ha culminado con las normas establecidas en la elaboración del Trabajo de Integración Curricular con el tema: “IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE PRUEBAS DE VIBRACIONES EN MOTORES ELÉCTRICOS DE BAJA POTENCIA”

Para la obtención del título de Ingeniero Eléctrico, aprobado la defensa, impresión y empastado.

Ing Jhonny Javier Barzola Iza Msc

**DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**DEDICATORIAS**

El presente trabajo de grado está dedicado con todo mi cariño y gratitud a mis padres, Flor Pabón y Javier Velasteguí, quienes han sido el pilar fundamental en mi vida. En especial, a mi madre, por estar siempre a mi lado en los momentos buenos y, sobre todo, en los difíciles; por su apoyo incondicional, su fortaleza y su amor constante que me han impulsado a seguir adelante cuando más lo necesitaba.

Dedico también este logro a una persona muy especial en mi vida, Ximena Durango, a quien le prometí que este trabajo llevaría su nombre. Su presencia, apoyo y motivación marcaron profundamente esta etapa, y le debo gran parte de esta experiencia. Gracias por haber sido parte de mi camino.

Este trabajo no solo representa un objetivo académico alcanzado, sino también un tributo a quienes creyeron en mí y caminaron conmigo en este proceso.



### **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres, Flor Pabón y Javier Velasteguí, por su amor incondicional, por ser mi mayor fuente de inspiración y por brindarme siempre el apoyo necesario en cada etapa de mi vida. En especial, a mi madre, quien ha estado a mi lado en los momentos más difíciles, impulsándome con su fuerza y cariño a seguir adelante y no rendirme. Este logro también es suyo.

Mi más sincero agradecimiento al Ingeniero Jhonny Barzola, Msc., por darme la oportunidad de desarrollar este trabajo de grado bajo su dirección. Su guía, compromiso y ejemplo profesional han sido fundamentales para culminar con éxito este proyecto. Es un verdadero pilar y modelo a seguir, y le estaré siempre agradecido por su apoyo y confianza.

De igual manera, agradezco profundamente a mi asesora, la Ingeniera Isabel Quinde, Msc., por acompañarme con su conocimiento, paciencia y dedicación durante todo este proceso. Su orientación no solo ha sido clave para este trabajo de titulación, sino también para mi formación profesional y personal. Gracias por ser una excelente mentora y amiga a lo largo de esta carrera.

Finalmente, extendiendo mi gratitud a todos los docentes de la carrera de Electricidad, quienes con su enseñanza y entrega han contribuido significativamente a mi crecimiento académico y profesional. A todos ustedes, muchas gracias por formar parte esencial de este logro.



**ÍNDICE DE CONTENIDOS**

**RESUMEN ..... 11**

**ABSTRACT ..... 12**

**CAPITULO I..... 12**

**INTRODUCCIÓN ..... 13**

**Tema ..... 13**

**El problema..... 13**

**Objetivos ..... 14**

**1.3 Alcance y delimitación ..... 14**

**1.4 Justificación ..... 15**

**CAPÍTULO II..... 17**

**MARCO TEÓRICO ..... 17**

**2.1 Antecedentes ..... 17**

**2.2 Bases teóricas ..... 20**

**CAPÍTULO III ..... 35**

**MATERIALES Y MÉTODOS ..... 35**

**3.1 Metodología ..... 35**

**3.1.1 Bibliográfica..... 36**

**3.1.2 Diseño del módulo de pruebas: ..... 37**

**3.1.3 Selección de materiales, equipos y ecuaciones. .... 37**

**3.1.4 Implementación del módulo de pruebas ..... 37**

**3.1.5 Análisis del funcionamiento del módulo..... 38**

**3.1.6 Toma de datos del módulo de pruebas ..... 38**

**3.1.7 Resultados y comparaciones..... 38**

**3.2 Diseño del módulo de pruebas ..... 38**

**3.2.1 Motor de inducción trifásico ..... 40**

**3.3 Selección de materiales, equipos y ecuaciones..... 42**

**3.3.1 Probador de vibraciones UT315A ..... 42**

**3.3.2 Software UNI-T UT315A V2..... 51**

**3.3.3 Métodos ..... 51**

**3.3.4 Ecuaciones..... 53**



3.4 Modificaciones en el motor de prueba .....	56
3.5 Configuración de la conexión del motor .....	59
3.6 Montaje Final del Módulo de Pruebas .....	60
<b>CAPITULO IV.....</b>	<b>62</b>
<b>RESULTADOS Y ANÁLISIS .....</b>	<b>62</b>
4.1 Mediciones de vibraciones.....	63
4.2.1 Motor en buen estado al vacío.....	64
4.2.2 Motor en buen estado con carga .....	75
4.2.3 Motor con daño en el eje al vacío.....	84
4.3.4 Motor con daño en el eje con carga. ....	95
4.2.5 Motor con daño en el rodamiento al vacío.....	106
4.2.6 Motor con daño en el rodamiento con carga .....	117
4.2.7 Motor con daño total al vacío.....	130
4.2.8 Motor con daño total con carga .....	139
4.3 Comparativa general de condiciones de medición .....	148
4.3.1 Gráficos comparativos .....	148
4.3.2 Conclusión global de los gráficos .....	154
4.3.3 Análisis global de resultados .....	156
4.4 Análisis de resultados .....	158
4.4.1 CONDICIÓN 1 y 2: Motor en buen estado (vacío y con carga) .....	159
4.4.2 CONDICIÓN 3 y 4: Eje dañado (vacío y con carga) .....	160
4.4.3 CONDICIÓN 5 y 6: Rodamiento dañado (vacío y con carga) .....	160
4.4.4 CONDICIÓN 7 y 8: Eje y rodamiento dañados (vacío y con carga) .....	160
4.4.3. Cálculo Comparativo .....	161
4.5 Diferencias entre daño en el eje y daño en el rodamiento .....	163
4.5.1 Importancia del análisis de vibraciones en mantenimiento preventivo	163
4.5.2 Factores Externos y su Impacto en las Vibraciones.....	164
4.5.3 Comparación con Motores de Combustión y Superficies de Apoyo .....	164
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>165</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>166</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>167</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>170</b>



## INDICE DE FIGURAS

Fig 1 Rotor jaula de ardilla [1] .....	20
Fig 2 Motor de inducción pequeño [1] .....	21
Fig 3. Circuito equivalente del modelo del transformador [1] .....	22
Fig 4. Partes de la medición de la condición del eje del motor [18] .....	25
Fig 5. Señal de vibración [20] .....	27
Fig 6. Transformada de Fourier [21] .....	28
Fig 7. Norma ISO 10816 [24].....	32
Fig 8 Metodología para la implementación del Módulo de pruebas de vibraciones. ....	36
Fig 9. Diseño inicial del módulo de pruebas. ....	40
Fig 10. Motor trifásico de inducción 1HP. ....	40
Fig 11. Datos de placa del motor de Inducción. ....	41
Fig 12. Probador de vibraciones UT315A.....	41
Fig 13. Probador de vibraciones UT315A.....	42
Fig 14. Sonda Corta .....	45
Fig 15. Sonda Larga.....	45
Fig 16. Mandril Magnético.....	45
Fig 17. Sonda de hardware. ....	46
Fig 18. Medición de Aceleración. ....	46
Fig 19. Medición de Velocidad. ....	47
Fig 20. Medición de Desplazamiento .....	47
Fig 21. Software UNI-T UT315A V2 .....	51
Fig 22. Motor modificado.....	57
Fig 23. Ventilador del motor. ....	58
Fig 24. Freno de carga del motor.....	58
Fig 25. Conexión de las bobinas del motor .....	60
Fig 26. Esquema de la conexión.....	60
Fig 27. Módulo de Pruebas.....	61
Fig 28. Ilustración de aceleración del motor en buen estado al vacío. ....	67
Fig 29. Ilustración de velocidad del motor en buen estado al vacío.....	71
Fig 30. Ilustración de desplazamiento del motor en buen estado al vacío. ....	74
Fig 31. Ilustración de aceleración del motor en buen estado con carga. ....	77
Fig 32. Ilustración de velocidad del motor en buen estado con carga. ....	80
Fig 33. Ilustración de desplazamiento del motor en buen estado con carga. ....	84
Fig 34. Ilustración de aceleración del motor con daño en el eje al vacío. ....	88
Fig 35.. Ilustración de velocidad del motor con daño en el eje al vacío.....	91
Fig 36. Ilustración de desplazamiento del motor con daño en el eje al vacío. ....	95
Fig 37. Ilustración de aceleración del motor con daño en el eje con carga. ....	98
Fig 38. Ilustración de velocidad del motor con daño en el eje con carga.....	102
Fig 39. Ilustración de desplazamiento del motor con daño en el eje con carga. ....	105



Fig 40. Ilustración de aceleración del motor con daño en el rodamiento al vacío. ....	109
Fig 41. Ilustración de velocidad del motor con daño en el rodamiento al vacío. ....	113
Fig 42. Ilustración de desplazamiento del motor con daño en el rodamiento al vacío. ....	117
Fig 43. Ilustración de aceleración del motor con daño en el rodamiento con carga. ...	121
Fig 44. Ilustración de velocidad del motor con daño en el rodamiento con carga. ....	125
Fig 45. Ilustración de desplazamiento del motor con daño en el rodamiento con carga. .....	129
Fig 46. Ilustración de aceleración del motor con daño total al vacío. ....	132
Fig 47. Ilustración de velocidad del motor con daño total al vacío. ....	135
Fig 48. Ilustración de desplazamiento del motor con daño total al vacío. ....	138
Fig 49. Ilustración de aceleración del motor con daño total con carga. ....	141
Fig 50. Ilustración de velocidad del motor con daño total con carga. ....	144
Fig 51. Ilustración de desplazamiento del motor con daño total con carga. ....	147
Fig 52. Gráfico comparativo de la aceleración al vacío. ....	148
Fig 53. Gráfico comparativo de aceleración con carga. ....	150
Fig 54. Gráfico comparativo de velocidad al vacío. ....	151
Fig 55. Gráfico comparativo de velocidad con carga. ....	152
Fig 56. Gráfico comparativo de desplazamiento al vacío. ....	153
Fig 57. Gráfico comparativo de desplazamiento con carga. ....	154



**ÍNDICE DE TABLAS**

**Tabla 2.** Tabla de ventajas y desventajas del mantenimiento predictivo..... 24

**Tabla 3.** Tabla de medición de aceleración del motor en buen estado al vacío..... 64

**Tabla 4.** Medición de velocidad del motor en buen estado al vacío..... 67

**Tabla 5.** Tabla de medición de desplazamiento del motor en buen estado al vacío ..... 71

**Tabla 6.** Tabla de medición de aceleración del motor en buen estado con carga..... 75

**Tabla 7.** Tabla de medición de velocidad del motor en buen estado con carga ..... 78

**Tabla 8.** Tabla de medición de desplazamiento del motor en buen estado con carga ... 81

**Tabla 9.** Tabla de medición de aceleración del motor con daño en el eje al vacío..... 85

**Tabla 10.** Tabla de medición de velocidad del motor con daño en el eje al vacío ..... 89

**Tabla 11.** Tabla de medición de desplazamiento del motor con daño en el eje al vacío 92

**Tabla 12.** Tabla de medición de aceleración del motor con daño en el eje con carga... 96

**Tabla 13.** Tabla de medición de velocidad del motor con daño en el eje con carga ..... 99

**Tabla 14.** Tabla de medición de desplazamiento del motor con daño en el eje con carga ..... 103

**Tabla 15.** Tabla de medición de aceleración del motor con daño en el rodamiento al vacío..... 107

**Tabla 16.** Tabla de medición de velocidad del motor con daño en el rodamiento al vacío ..... 110

**Tabla 17.** Tabla de medición de desplazamiento del motor con daño en el rodamiento al vacío..... 114

**Tabla 18.** Tabla de medición de aceleración del motor con daño en el rodamiento con carga..... 118

**Tabla 19.** Tabla de medición de velocidad del motor con daño en el rodamiento con carga..... 122

**Tabla 20.** Tabla de medición de desplazamiento del motor con daño en el rodamiento con carga..... 125

**Tabla 21.** Tabla de medición de aceleración del motor con daño total al vacío..... 130

**Tabla 22.** Tabla de medición de velocidad del motor con daño total al vacío ..... 133

**Tabla 23.** Tabla de medición de desplazamiento del motor con daño total al vacío ... 136

**Tabla 24.** Tabla de medición de aceleración del motor con daño total con carga ..... 139

**Tabla 25.** Tabla de medición de velocidad del motor con daño total con carga..... 142

**Tabla 26.** Tabla de medición de desplazamiento del motor con daño total con carga 145

**Tabla 27.** Tabla de clasificación ..... 155

**Tabla 28.** Tabla de comparativa general de las mediciones obtenidas ..... 156

**Tabla 29.** Tabla de referencias..... 158



## RESUMEN

El presente proyecto de titulación se desarrolló en la Universidad Técnica del Norte, edificio Electricidad, laboratorio de máquinas y tiene como finalidad el diseño e implementación de un módulo de mantenimiento para pruebas de vibraciones en motores eléctricos de baja potencia, con el objetivo de detectar posibles fallas como desbalanceo del eje o desgaste de rodamientos o anomalías presentes en los procesos operacionales mediante la medición de parámetros vibratorios como aceleración, velocidad y desplazamiento, para realizar un mantenimiento predictivo.

Este módulo está basado en el uso probador de vibraciones UT315A de la marca UNI-T, se tomaron en cuenta ocho condiciones operativas y se emplearon ecuaciones fundamentales del análisis de vibraciones.

Los datos recopilados permitieron crear comparaciones significativas entre condiciones normales y condiciones defectuosas, se utiliza como referencia la norma ISO 10816 dicha norma establece los procedimientos generales para medir y evaluar la vibración mecánica en partes no rotativas en la industria. Los resultados demostraron que las magnitudes de vibración aumentan considerablemente cuando existen fallas mecánicas, lo cual valida la eficacia del módulo implementado. Este proyecto subraya la importancia del mantenimiento preventivo reduciendo así un mantenimiento correctivo, ya que permite identificar con antelación los fallos evitando así daños económicos mayores.

En conclusión, este módulo experimental para pruebas de vibraciones en motores eléctricos de baja potencia, representa una herramienta viable y fiable para entornos educativos como industriales, con posibilidades de expansión y adaptación a otros tipos de máquinas rotativas.

**Palabras clave:** Mantenimiento, Motores, Desplazamiento, Vibraciones, Aceleración.



## ABSTRACT

This thesis project was developed at the Universidad Técnica del Norte, in the Electricity building, machine laboratory. Its purpose is the design and implementation of a maintenance module for vibration testing of low-power electric motors. The objective is to detect potential failures such as shaft imbalance, bearing wear, or anomalies present in operational processes by measuring vibration parameters such as acceleration, velocity, and displacement, in order to perform predictive maintenance.

This module is based on the use of the UNI-T UT315A vibration tester. Eight operating conditions were considered, and fundamental equations of vibration analysis were employed.

The collected data allowed for meaningful comparisons between normal and faulty conditions. The ISO 10816 standard, which establishes general procedures for measuring and evaluating mechanical vibration in non-rotating parts in industry, was used as a reference. The results demonstrated that vibration magnitudes increase considerably when mechanical faults are present, thus validating the effectiveness of the implemented module. This project underscores the importance of preventive maintenance, thereby reducing corrective maintenance, as it allows for the early identification of faults and prevents greater economic losses. In conclusion, this experimental module represents a feasible and highly useful tool for both educational and industrial environments, with potential for expansion and adaptation to other types of rotating machinery.

**Keywords:** Maintenance, Motors, Displacement, Vibrations, Acceleration.



## CAPITULO I

### INTRODUCCIÓN

#### Tema

Implementación de un módulo para pruebas de vibraciones en motores eléctricos de baja potencia

#### El problema

##### 1.1 Problema de investigación.

##### 1.1.1 Problemática a investigar.

En la industria, los motores eléctricos son componentes fundamentales que alimentan una amplia gama de aplicaciones críticas. Estos motores, que varían en capacidad y potencia, se utilizan en una variedad de entornos, desde el bombeo de líquidos hasta el funcionamiento de maquinaria industrial. La industria afronta dos principales desafíos que son la falta de mantenimiento preventivo y la falta de capacitación sobre el estado de funcionamiento de dichos motores, las cuales conllevan a situaciones en las que los motores pueden presentar fallas inesperadas que en costos de producción resultan fatales ya que representan grandes pérdidas económicas por los paros en los procesos industriales. En muchos casos no se tiene información sistemática, por lo cual el estudio de las vibraciones en tiempo real se torna fundamental para prever posibles fallas, teniendo en cuenta que la vibración exagerada es un indicador clave sobre el desperfecto en los motores. Esta falta de conocimiento sobre el estado de los motores lleva a la incapacidad de tomar medidas preventivas, lo que a su vez resulta en costosos tiempos de inactividad no planificados y reparaciones urgentes.

##### 1.1.2 Formulación de la pregunta de investigación

¿El nivel de vibraciones permite determinar el estado de funcionamiento de un motor eléctrico de baja potencia?



## Objetivos

### 1.2.1 Objetivo general

Implementar un módulo para medición de nivel vibraciones, mediante un sistema de monitoreo, para la determinación de fallas en el funcionamiento de motores eléctrico de baja potencia.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Describir tipos de fallas en los motores y el monitoreo de vibraciones en motores eléctricos.
- Diseñar un sistema de adquisición de vibraciones para motores eléctrico de baja potencia.
- Realizar pruebas de vibraciones con referencia a normas establecidas, para la determinación de fallas.

### 1.3 Alcance y delimitación

Con el objetivo de prever fallas en motores, evitar paros inesperados y establecer un mantenimiento preventivo, se realizará una revisión exhaustiva de las normativas de vibraciones en motores eléctricos. Este análisis se enfocará en identificar los tipos de fallas vinculadas a vibraciones y comprender en detalle los parámetros esenciales para la realización de pruebas vibratorias. Además, se llevará a cabo una revisión de los conceptos fundamentales sobre vibraciones para respaldar la implementación del módulo de monitoreo diseñado.

Con lo antes mencionado, mediante un dispositivo específico diseñado para medir vibraciones se pretende desarrollar un sistema de monitoreo de vibraciones, mediante la compilación de resultados de las pruebas vibratorias que serán almacenados en la memoria card del dispositivo, para su posterior análisis.

Para poner en marcha el dispositivo se implementará en un motor trifásico de 1Hp, el cual será modificado para inducir diversas perturbaciones, modificando la alineación de las partes móviles, como ejes con desbalances de carga mediante la introducción de pesos



desiguales o ajustes en las características geométricas de las partes móviles. Las vibraciones son un punto clave para determinar el estado del motor ya que la presente modificación permitirá evaluar y determinar diversas condiciones en un solo motor de prueba.

Adicionalmente, se incorporará un sistema de adquisición de datos, este constará de la elección del sensor y el software libre para que facilite la adquisición, procesamiento y almacenamiento de datos que permita la captura detallada de las señales de vibración. Este sistema registrará las variaciones en las características vibracionales del motor durante su operación, generando un conjunto de datos que permitan el análisis correspondiente de vibraciones. Posteriormente, se emplearán técnicas para el análisis de señales, con el objetivo de extraer patrones significativos que contribuyan a la identificación temprana de posibles problemas en el motor.

Al implementar este módulo de monitoreo busca mejorar la capacidad de diagnóstico de fallos mediante el análisis de los datos compilados en la memoria card, se pretende sistematizar una base sólida para el desarrollo del mantenimiento preventivo en los motores eléctricos de baja potencia prolongando así la vida útil de los motores.

#### **1.4 Justificación**

Este proyecto pretende identificar posibles fallos provocados por diversos factores en los motores garantizando una operación continua y evitando pérdidas mayores mediante un método para evaluar las vibraciones en motores de baja potencia el cual aportara información novedosa, practica y accesible que nos ayudara a determinar soluciones innovadoras en tiempo real.

La justificación de la presente investigación se basa en garantizar la continuidad y la eficiencia operativa presente en la industria actual, la cual pretende minimizar o cerrar la brecha en la comprensión de las vibraciones en motores eléctricos de baja potencia. La implementación de este dispositivo posibilita un mantenimiento predictivo en diversos entornos en tiempo real aumentando así la confiabilidad del equipo.



La implementación de este módulo no solo optimiza la durabilidad de los motores eléctricos de baja potencia en la industria, sino que también representa un avance significativo en la industria al reducir los tiempos de inactividad, mejorar la operación y garantizar un funcionamiento más confiable de los motores, reduciendo así los costos operativos.

La Universidad Técnica del Norte tiene tecnología disponible en el laboratorio de electricidad, tiene sistemas de medición de vibraciones de motores respaldados que avala la viabilidad de la presente investigación al fomentar un ambiente práctico en contextos reales. Las pruebas de vibraciones se practicarán en un motor facilitado por los mismos laboratorios, lo que optimizará la ejecución de las pruebas y garantizará la disponibilidad de recursos necesarios para el desarrollo de este proyecto, fortaleciendo la realización de pruebas y detallando los análisis de los motores eléctricos de baja potencia.

La implementación del módulo para pruebas de vibraciones contribuirá al conocimiento técnico sobre el estudio de vibraciones en motores, tendrá como resultado una mejor comprensión de su funcionamiento. Los técnicos de mantenimiento y a las industrias que emplean motores serán sus principales beneficiarios ya que se proporciona información valiosa para prevenir posibles fallas, mejorar el rendimiento al reducir tiempos de inactividad y optimizar los costos operaciones en la industria.



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes

Los motores eléctricos desempeñan un papel crucial en diversas aplicaciones, abarcando desde electrodomésticos y sistemas de climatización hasta maquinaria industrial y vehículos eléctricos. Los motores eléctricos se basan en principios electromagnéticos y utilizan un estator y un rotor para generar movimiento [1].

Sin embargo, estos motores, al ser una máquina que opera en condiciones dinámicas, pueden experimentar o estar sujetos a vibraciones. Los fallos en los componentes, el desgaste mecánico y las vibraciones excesivas tienden a reducir la vida útil del motor, el monitoreo continuo reduce reparaciones imprevistas maximizando la eficiencia operativa del motor [2].

Para determinar el estado de una máquina giratoria las vibraciones son un factor crucial., si las vibraciones son mínimas concluimos que la máquina está en buen estado de funcionamiento y si las vibraciones comienzan a aumentar, esto sugiere que pueden existir irregularidades en el rendimiento del motor [3].

Es bien sabido que todas las máquinas generan vibraciones como resultado de las cargas a las que están sometidas, y con el paso del tiempo, ciertos componentes tienden a sufrir fallos. Las características de estas vibraciones cambian con el tiempo, lo que posibilita, a través de este análisis, la identificación del lugar y tipo de fallo [4].

Las principales variables que afectan la vida útil de los motores son la temperatura y la vibración, por lo tanto, una vibración anormal puede decirnos que existe un desalineado o desbalanceo, problemas en sistemas de bandas y poleas, pérdida de compresión en los cilindros, dificultades en el arranque, fallos en los sistemas de enfriamiento, problemas en los rodamientos y ejes. Dichas fallas pueden ser evaluadas de manera directa o indirecta mediante el análisis de vibraciones, ya que nos facilita información sobre la velocidad y el desplazamiento de las partes afectadas, lo que permite prevenir grandes fallos [5,6].



Mediante la compilación de datos es fundamental realizar análisis de vibraciones el cual sirve para distinguir y prevenir cual es el tipo de falla para garantizar el funcionamiento adecuado de los motores evitando así daños permanentes, paros totales o parciales de las máquinas. Utilizando un diagrama del motor en estudio, es posible identificar las características y ubicaciones donde las vibraciones se producen con mayor frecuencia, lo que ayuda a anticipar futuras fallas en base a las vibraciones del equipo [5,6].

En el presente, existen dispositivos comerciales disponibles que posibilitan la supervisión de las vibraciones, la temperatura y el consumo de energía de los motores eléctricos. Un ejemplo es la marca "Dewesoft", que ofrece un analizador de vibraciones portátil diseñado para medir la aceleración en el funcionamiento de motores [7].

La marca Adash presenta sus productos de adquisición de vibraciones como también dispositivos para monitoreo de vibraciones, acompañados de una breve explicación de los parámetros obtenidos y las técnicas de comprender estos parámetros, especialmente en lo que respecta al mantenimiento preventivo mediante vibraciones [8]. Además, Alejandro Manzo Juárez presenta el monitoreo de vibraciones, temperatura y corriente en un motor eléctrico [9], estudiantes de ingeniería eléctrica originarios de Guayaquil, Ecuador, desarrollaron una interfaz de LabVIEW para publicar la adquisición de vibraciones mecánicas de un motor en funcionamiento [10].

La actual tendencia de crear máquinas económicas ha resultado en que los materiales empleados operen cerca de los límites de su resistencia mecánica y electromagnética. Debido a este motivo, especialmente cuando los motores se utilizan en entornos adversos, se ha incrementado la posibilidad de un deterioro gradual [9].

Dado que los motores eléctricos con frecuencia se ubican en puntos críticos de gran complejidad y que las normativas industriales contemporáneas enfatizan la producción de alta calidad y la continuidad de operación, se vuelve cada vez más necesario implementar un control riguroso de su funcionamiento para detectar indicios de posibles fallos mediante sus vibraciones.

La vibración por lo general describe como el oscilamiento en diversas formas en un sistema mecánico, tiene efectos positivos al realizar procesos como fundición de



aleaciones y efectos negativos al acelerar el desgaste, defectos y pérdida de precisión en la maquinaria [11]

Las vibraciones creadas están básicamente relacionadas con fuerzas radiales en el motor, siendo un indicativo de fallas mecánicas. El análisis de vibraciones se presenta como una herramienta preventiva que sirve para identificar fallos en rodamientos, engranajes y el rotor en sí mismo [12]. Los sensores piezoeléctricos se destacan en el análisis de vibraciones, ya que limita el costo de su aplicación en motores más pequeños.

se presenta un método innovador en la investigación de BaraĔski sobre diagnóstico de vibraciones en generadores con imanes permanentes [13], el cual usa propiedades específicas de estas máquinas agitadas por imanes constantes, no necesita de sensores externos para medir vibraciones, utilizando en su lugar el circuito de excitación y el devanado del rotor como un sensor de vibración integrado, permitiendo obtener datos en tiempo real durante su operación reduciendo los costos y simplificando los procesos.

BaraĔski señala a las vibraciones como despreciables ya que se relaciona con el desgaste progresivo de componentes, si se ignorar estos síntomas puede llevar a fallas con pérdidas económicas inmensas. El mencionado autor recalca la importancia del diagnóstico de vibraciones para recopilar información sobre el desgaste de los componentes y destaca las limitaciones de los métodos tradicionales que requieren sensores externos y costosos equipos de medición. Su propuesta contribuye una alternativa eficiente y única para el diagnóstico de vibraciones, sino que también sugiere un cambio de vista al monopolizar las propias señales de la máquina para evaluar su condición técnica [13].

La eliminación de vibraciones en motores eléctricos al utilizar un amortiguador dinámico activo (DVA) presenta una excelente perspectiva en motores de velocidad variable para debatir los desafíos relacionados con la generación de vibraciones y ruido acústico.[14] Los estudios plantean el DVA activo como una solución para reducir tanto la vibración como el ruido, destacando su viabilidad para la miniaturización, reducción de costos y alta confiabilidad debido a su estructura sin uniones. El enfoque específico en un motor híbrido de agitación de flujo conmutado como caso de estudio proporciona una aplicación práctica operando en un rango de velocidad amplio.



La investigación resalta la importancia y fortalece la base teórica en la supresión de vibraciones en motores que operan a velocidades variables. Se tiene que maximizar la rigidez del estator sin involucrar las características electromagnéticas destacando así la rotación de la fuerza electromagnética como un desafío adicional. El planteamiento principal de esta investigación destaca la práctica de soluciones propuestas en tiempo real, además de contribuir al conocimiento fundamental sobre la dinámica de vibración en motores eléctricos actuales optimizando del rendimiento y la comodidad en aplicaciones más allá de las automotrices.

## 2.2 Bases teóricas

En este apartado se examina la base teórica que viabilizará la elaboración e implementación del estudio, se revisa y analizará definiciones, clasificaciones, características propias de los motores y diversos dispositivos y sensores integrados en este proyecto, protegido por datos establecidos y especializados.

### 2.2.1 Motores de inducción jaula de ardilla.

Su característica específica reside en el rotor, Aunque físicamente comparten el estator con las máquinas síncronas.

En la Fig. 1 se muestra dos tipos principales de rotores en los motores de inducción, y nos centraremos en los rotores tipo jaula de ardilla.

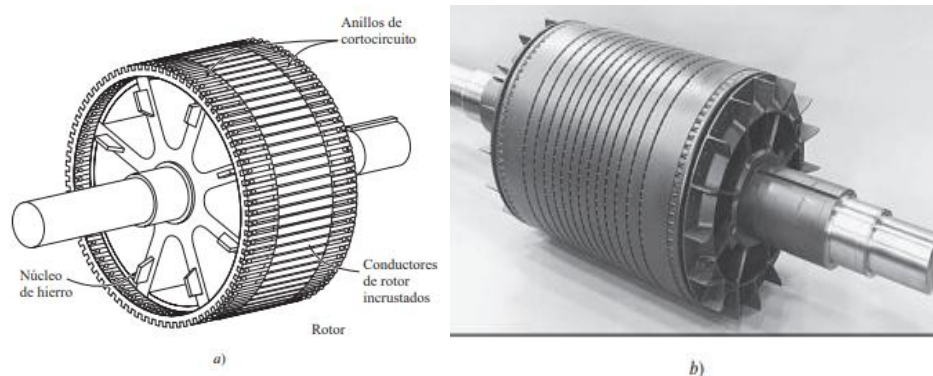


Fig 1 Rotor jaula de ardilla [1]



En la Fig.2 se muestra un motor de inducción pequeño.

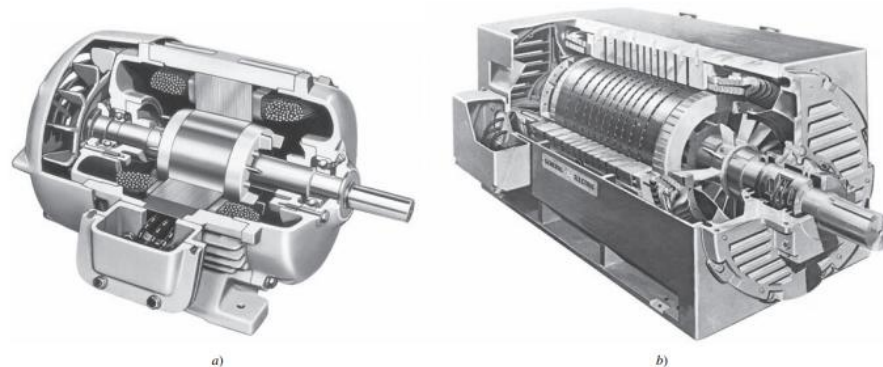


Fig 2 Motor de inducción pequeño [1]

El rotor de jaula de ardilla se caracteriza por una disposición de barras conductoras en ranuras en la cara del rotor, cortocircuitadas en uno de sus extremos mediante grandes anillos. Este diseño, denominado así por la apariencia de las barras similares a una rueda de ejercicio para ardillas, destaca por su eficiencia y baja necesidad de mantenimiento. Su tamaño más reducido en comparación con los rotores devanados los convierte en la elección preferida en la mayoría de las aplicaciones de motores de inducción.

En la industria, en entornos domésticos y en el ámbito académico, el motor de inducción trifásico con rotor de jaula de ardilla (SCIM) es ampliamente empleado por sus beneficios económicos, facilidad de mantenimiento y diseño simple. En términos generales, estos motores representan más del 80% del consumo total de energía eléctrica en diversas aplicaciones electromecánicas y en la conversión de energía en varias industrias [15].

El funcionamiento de un motor de inducción se basa en la inducción de voltajes y corrientes en el rotor, denominándose a veces como un "transformador rotatorio". A diferencia de un transformador convencional, la frecuencia secundaria no necesariamente coincide con la frecuencia primaria. El motor de inducción, siendo el tipo más popular de motores de corriente alterna, destaca por su simplicidad y facilidad de operación. Al no existir un circuito de campo separado se compensa en la sujeción en la acción transformadora para agitar voltajes y corrientes en su circuito de campo.

Esencialmente, un motor de inducción puede conceptualizarse como un transformador giratorio, cuyo circuito equivalente se asemeja al de un transformador, con la única variación siendo los efectos de variación de velocidad.



En la Fig. 3 podemos observar el circuito equivalente del modelo del transformador de un motor de inducción en la figura.

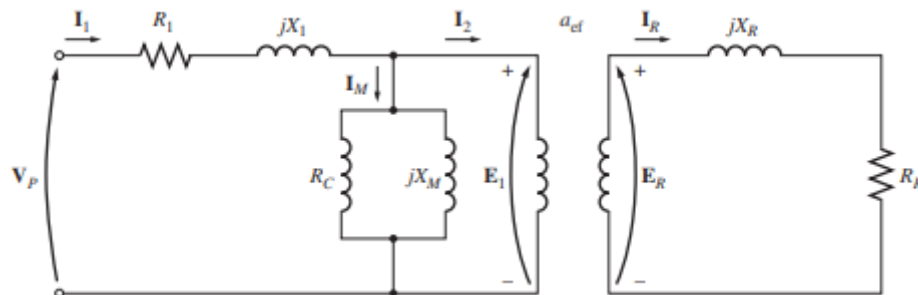


Fig 3. Circuito equivalente del modelo del transformador [1]

### 2.2.1.1 Tipos de mantenimiento

El mantenimiento de motores desempeña un papel crucial en diversas industrias, ya que posibilita la identificación y planificación de soluciones anticipadas para prolongar la vida útil de los motores eléctricos. Este enfoque permite prever posibles fallas futuras en la maquinaria. A continuación, se detallan las categorías de mantenimiento que se aplicarán en el presente análisis:

- Mantenimiento preventivo o planificado
- Mantenimiento predictivo o basado en condición

#### 2.2.1.1.1 Mantenimiento preventivo o planificado

Con los avances experimentados en la década de 1970, se facilitó la creación de archivos que contenían los requisitos específicos de una planta, marcando el inicio de programas de mantenimiento basados en esos datos. Este sistema se encarga de estimar la vida útil de los elementos de la maquinaria, basándose principalmente en estudios estadísticos de componentes similares que han experimentado fallos previos [16]. Este conocimiento se emplea en la programación de acciones planificadas para prevenir fallas o deterioros en los equipos, explorando así una mayor durabilidad y disponibilidad de las 10 máquinas. En este contexto, el mantenimiento preventivo ha desplazado al mantenimiento reactivo, reduciendo las averías de las máquinas de manera significativa.



Resulta crucial comprender las ventajas asociadas con la implementación de un mantenimiento preventivo, al mismo tiempo que se deben tener en cuenta los riesgos y posibles desventajas para tener una percepción clara de los límites que se pueden alcanzar en el proyecto.

En la Tabla 1 se detalla las ventajas y desventajas de llevar a cabo un mantenimiento preventivo en el ámbito industrial.

**Tabla 1.** Tabla de ventajas y desventajas de mantenimiento preventivo

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Aumenta durabilidad de los equipos	El mantenimiento puede ser excesivo, aumentando los costos
Aumenta disponibilidad de los equipos	No aprovecha al máximo la vida útil de los elementos de máquina
Se sabe cuándo y cuánto será la estadía	
Se planifica administrativamente	El accionar puede provocar deterioros prematuros
Aumenta seguridad	

### 2.2.1.1.2 Mantenimiento predictivo o por condición

La filosofía de mantenimiento predictivo, también conocida como basada en la condición, proporciona alertas de riesgo antes de que ocurra una falla en el equipo.

Estas señales pueden manifestarse a través de vibraciones y ruido elevados, o mediante cambios en la composición o consistencia de los lubricantes de la máquina [16]. El propósito de este sistema es prever el momento en que se producirá la falla de la máquina, permitiendo abordarla anticipadamente y de la manera más inmediata posible.

Dentro del mantenimiento predictivo, se distinguen dos tipos de monitoreo:

- Monitoreo discreto (con intervalos periódicos)
- Monitoreo continuo.

En la Tabla 2 se describe las ventajas y desventajas del mantenimiento predictivo según las circunstancias y condiciones específicas.



**Tabla 1.** Tabla de ventajas y desventajas del mantenimiento predictivo.

<b>Ventajas del mantenimiento predictivo</b>	<b>Desventajas del mantenimiento predictivo</b>
Aprovecha racionalmente el recurso de los elementos	Necesita de una gran inversión
Disminuye mucho las paradas no programadas y estadías	Es necesario personal calificado
Garantiza la seguridad del equipo y personal	Acciones del mantenimiento predictivo
Garantiza el cuidado del medio ambiente	Monitorear
Aumenta la eficiencia de los equipos	Diagnosticar
Ventajas del mantenimiento predictivo	Pronosticar

### 2.2.1.2 Fallas típicas de los motores

Los motores, debido al uso continuo y a la falta de mantenimiento, suelen experimentar diversas fallas que requieren cambios en sus partes mecánicas. A continuación, se presenta una lista de fallos comunes:

**Falla en rodamientos:** Esta es una de las principales problemáticas que afecta a los motores eléctricos. Ocurre debido al agrietamiento en la parte interna de los rodamientos, generalmente como consecuencia de esfuerzos excesivos, corrosión, falta de lubricación y la ausencia de un mantenimiento preventivo adecuado. Si no se aborda de manera oportuna, el rodamiento seguirá desgastándose hasta que sea inevitable su reemplazo [17].

**Falla en el eje:** Un problema frecuente es el desbalanceo del eje, que puede generar roces con la parte metálica del casquillo que forma el cojinete, así como el rozamiento de elementos rodantes con las pistas. Este tipo de falla en el eje puede afectar diversas partes del motor. Por este motivo, se recomienda realizar chequeos mensuales para llevar a cabo el mantenimiento adecuado del eje del motor [17].



### 2.2.2 Pruebas de vibración

La vibración se define como un movimiento de vaivén desde una posición de equilibrio hasta otra posición máxima. Puede ser conceptualizada como la oscilación o desplazamiento de una masa de forma repetitiva en torno a de una posición de equilibrio, permitiendo que el cuerpo recupere su posición original de manera respectiva [18]

Esta técnica se fundamenta en la detección de fallos en equipos rotativos, principalmente a través del análisis de niveles de vibración. El propósito de este análisis es alcanzar la interpretación del espectro de las vibraciones de un equipo mientras está en funcionamiento [18].

Para realizar este tipo de análisis, es fundamental establecer el punto apropiado para la medición, pudiendo realizarse en el eje axial o radial, como se ilustra en la Fig. 4. Para evaluar la condición del eje del motor se recomienda ejecutar la medición en el eje axial y para evaluar el estado del rodamiento y posibles daños se recomienda ejecutar la medición en el eje radial.

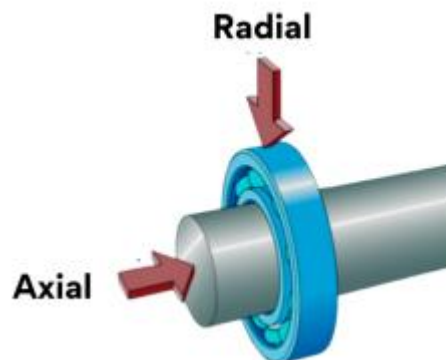


Fig 4. Partes de la medición de la condición del eje del motor [18]

#### 2.2.2.1 Vibraciones en máquinas rotativa

La maquinaria rotativa constituye un tipo de equipo mecánico cuya funcionalidad principal depende de la acción rotativa. Componentes clave de la maquinaria rotativa, como rodamientos, engranajes y cajas de cambios, desempeñan un papel esencial en la conexión y transmisión de energía en el equipo mecánico [19].

Mediante las condiciones de vibración, se detecta los fallos en la maquinaria rotativa, este proceso presenta dos dificultades que son: los datos caóticos recopilados en el sitio que



requieren el registro de características antes de ser utilizados en la detección; y la limitación de muestras defectuosas en tiempo real, lo cual complica la aplicación directa de esquemas de clasificación tradicionales.

Se suele incluir la combinación de técnicas de extracción de características artificiales y reconocimiento de patrones de los fallos en maquinaria rotativa de forma tradicional. Los métodos, como el Análisis de Componentes Principales (PCA), estimadores de densidad de probabilidad y máquinas de vectores de soporte (SVM), se especifican por su dependencia artificial y limitada capacidad de expansión [19].

Se aborda el análisis de la vibración de una máquina, considerándola como un sistema mecánico. Resulta valioso examinar las fuentes de energía de vibración y las rutas que sigue esta energía en el sistema de la máquina [20]. Cuando una máquina se deteriora y experimenta fallas, su respuesta se vuelve menos lineal. Se puede afirmar que la presencia de múltiples fallas en las máquinas introduce no linealidades en su comportamiento. Las vibraciones surgen debido a la transmisión de fuerzas cíclicas a través de mecanismos.

Es necesario enfatizar que:

- Tienen componentes en movimiento que generan fuerzas de inercia propagadas a su entorno lo que hace que todas las máquinas vibran.
- El aumento en el nivel de vibración puede dar lugar a problemas mecánicos internos.
- Los defectos mecánicos originan una vibración característica, la cual se identifica mediante el análisis de vibraciones.

En la Fig. 5 se ilustra una señal de vibración que manifiesta un daño en un componente del motor, específicamente en el cojinete de rodamiento. La onda producida por este fenómeno señala de manera concreta la naturaleza del fallo en el motor.

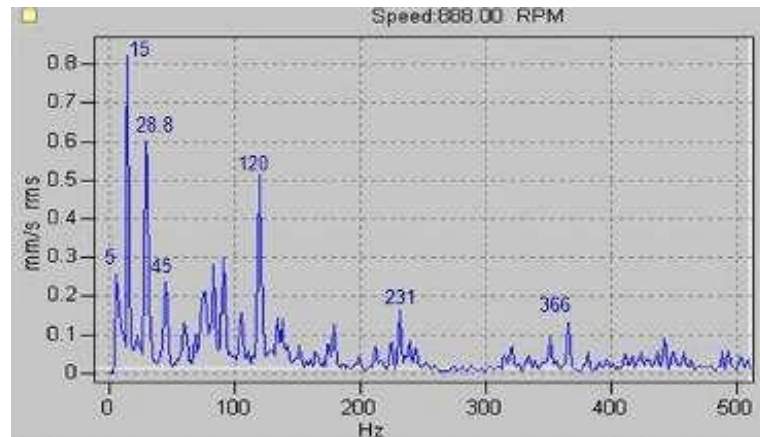


Fig 5. Señal de vibración [20]

### 2.2.2.2 Equipos de medición de vibraciones

Es esencial destacar la importancia de los dispositivos de medición de vibraciones en el diagnóstico y monitoreo del estado de estos motores. Estos dispositivos juegan un papel fundamental al suministrar información clave sobre el funcionamiento de los motores eléctricos, facilitando así la identificación temprana de posibles fallas y favoreciendo el mantenimiento preventivo.

Para evaluar las oscilaciones y movimientos cíclicos en maquinaria incluyendo los motores eléctricos son los sistemas de medición de vibraciones, los cuales admiten la medición y análisis de las vibraciones generadas durante el funcionamiento, permitiendo tener una información detallada de la condición mecánica de los componentes internos del motor.

Las etapas seguidas para medir o analizar una vibración son:

- Etapa transductora.
- Etapa de preparación de la señal.
- Etapa de cálculo y análisis.
- Etapa de registro.

Es necesario emplear un transductor, un dispositivo electrónico diseñado para detectar una magnitud física, como la vibración, y convertirla en una señal eléctrica (voltaje) conforme a la magnitud medida, para realizar la medición de vibraciones. Se especifica los tipos de transductores de vibraciones:



- Sensor de desplazamiento relativo sin contacto.
- Sensor de desplazamiento relativo con contacto.
- Sensor de velocidad o velocímetro.
- Sensor de aceleración o acelerómetro.

En la actualidad, los acelerómetros son ampliamente utilizados para la medición de vibraciones exteriores en las máquinas. Estos dispositivos cuentan con la ventaja de ofrecer un amplio rango de frecuencias, destacándose por su capacidad para integrar la señal adquirida y obtener la velocidad correspondiente [20].

### 2.2.2.3 Análisis de vibraciones

La evaluación de un rango incluye la conversión de una señal desde el dominio del tiempo a una señal en el dominio de la frecuencia [21].

La Fig. 6 ilustra la transformada de Fourier en ambos dominios, presentando una gráfica de esta conversión.

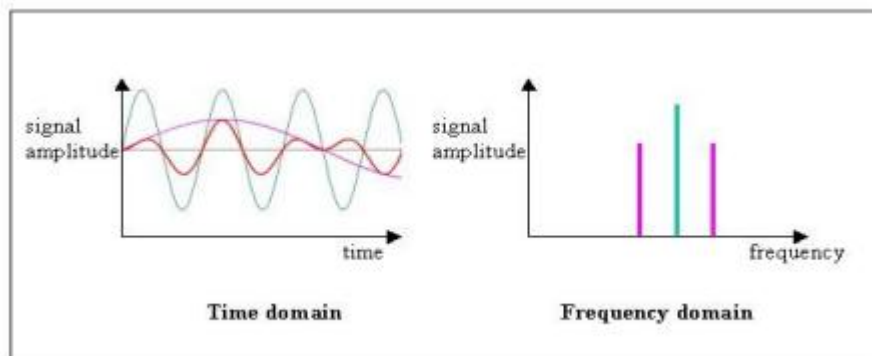


Fig 6. Transformada de Fourier [21]

El gráfico en el dominio del tiempo es conocido como la forma de onda, mientras que el gráfico en el dominio de la frecuencia recibe el nombre de espectro. Las señales en el dominio del tiempo tienden a superponerse, generando confusión al visualizarlas en conjunto. Por el contrario, en el dominio de la frecuencia, la señal se presenta de manera separada en sus componentes individuales. En máquinas rotativas, la información clave a menudo se encuentra en componentes de nivel muy bajo, que pueden indicar un problema en desarrollo, como una posible falla en un rodamiento [21].



### 2.2.2.3 Programas computacionales para interpretación de resultados

El análisis de vibraciones constituye una herramienta esencial en la monitorización y mantenimiento predictivo de equipos. La precisa interpretación de resultados se convierte en un elemento clave para la toma de decisiones fundamentadas. El avance tecnológico promueve programas computacionales especializados que admiten no solo la captura precisa de datos vibracionales, un análisis minucioso y la extracción de información significativa.

La herramienta DewesoftX se posiciona como un analizador de vibraciones de última generación, ofreciendo mediciones exactas con una relación señal/ruido impresionante de 130 dB y un rango dinámico excepcional de hasta 160 dB. Su diseño innovador permite abordar un amplio espectro de aplicaciones, no es solo compatible con varios sensores de vibración, como carga, IEPE y MEMS, además permite la unificación de sondas tacométricas analógicas y digitales, contadores y codificadores. Sus funcionalidades van desde pruebas de funcionamiento hasta análisis avanzados, como FFT, armónicos, seguimiento de órdenes, vibración torsional, análisis de órbitas y de bandas de octava, sino hasta, su interfaz de usuario intuitiva y potentes herramientas de visualización en 2D y 3D fortalece la interpretación exacta de mediciones de vibración [22].

El software PRISMA 4 se establece como una herramienta fundamental para demostrar y comprender los datos recopilados, se especializa en el análisis de espectros de vibración, proporcionando un enfoque profundo de lo que está sucediendo en los equipos. Gracias a su funcionalidad facilita la toma de medidas correctivas y la aplicación de estrategias de mantenimiento predictivo. En este sentido, PRISMA 4 es una herramienta principal para la industria que quiere optimizar el rendimiento de sus equipos mediante un análisis detallado de las vibraciones [23].

Para análisis avanzados de datos vibracionales, el software DDS se presenta como una opción robusta y versátil. Este programa permite seleccionar entre diversos tipos de análisis, como valores generales, gráficos FFT, formas de onda, órbitas y más. Sus capacidades incluyen la visualización de frecuencias de fallo dentro de una extensa base de datos de más de 30000 rodamientos, o la posibilidad de definir uno propio. Con el respaldo del sistema avanzado Adash FASIT, DDS proporciona características especiales



de análisis que simplifican el trabajo y ofrecen una comprensión profunda de los datos recopilados. Con opciones avanzadas y una interfaz intuitiva, DDS se posiciona como una herramienta esencial para aquellos que buscan llevar a cabo análisis detallados y precisos de datos vibratoriales [8]

### **2.2.3 Normativa ISO 10816 para análisis de vibración mecánica**

Se considera esencial abordar las directrices proporcionadas por las normas ISO 10816 (International Standards Organization.), estas normas plantean condiciones y procedimientos usuales para la medición y evaluación de la vibración en máquinas. Las directrices se centran en la realización de mediciones en partes no rotativas de los equipos. La evaluación general se fundamenta en la monitorización operacional y pruebas de validación, su diseño tiene la finalidad de asegurar una utilidad fiable a largo plazo. Esta norma ha sido pensada para ir reemplazando a las ISO 2372 e ISO 3945, las cuales han sido sometidas a una revisión técnica minuciosa. Este enfoque normativo contribuye de manera significativa a la integridad y durabilidad de las máquinas, proporcionando un marco robusto para la gestión efectiva de la vibración en el contexto operativo [22].

Se enfoca la evaluación en mediciones realizadas en partes no giratorias de las máquinas, esta norma aumenta las pautas determinadas en estándares previos. es importante recalcar que los criterios de vibración de este estándar son ajustables a un conjunto variado de máquinas, con una potencia superior a 15 kW y una velocidad que oscila entre 120 RPM y 15,000 RPM [22].

Los criterios se aplican a las vibraciones producidas por la propia máquina, no se toma en cuenta las vibraciones transmitidas desde fuentes externas. La evaluación se basa en el valor eficaz (RMS) de la velocidad de la vibración. La precisión de estas mediciones depende de la correcta instalación de los sensores, evitando cualquier degradación en la exactitud de la medición [22].

Dichas medidas deben llevarse a cabo cuando la maquina alcanza las temperaturas estacionarias de trabajo, es primordial realizar las mediciones mientras la máquina opera bajo condiciones nominales o específicas, como velocidad, voltaje, flujo, presión y carga. Se considera diversos parámetros, tales como el tipo de máquina, la potencia o altura del eje y la flexibilidad del soporte para su clasificación. También se establece un protocolo



claro para abordar situaciones donde la vibración excede los límites permitidos, proponiendo así acciones correctivas si la máquina detenida revela vibraciones significativas en comparación con la operación normal [22].

### 2.2.3.1 Indicadores de niveles de vibraciones

La clasificación según el tipo de máquina y la potencia o altura de eje es esencial para establecer parámetros específicos en la evaluación de la vibración. Dada la diversidad en el diseño, los tipos de descanso y las estructuras de soporte, se ha implementado una categorización que refleje estas variaciones [22]. Las máquinas se dividen en grupos teniendo en cuenta la orientación del eje (horizontal, vertical o inclinado) y su montaje en soportes rígidos o flexibles. A continuación, se detalla la clasificación:

**Grupo 1:** Incluye máquinas rotatorias de gran envergadura con una potencia superior a 300 kW. Se engloban aquí las máquinas eléctricas con una altura de eje (H) igual o superior a 315 mm.

**Grupo 2:** Este grupo incluye máquinas eléctricas con una altura de eje que va desde 160 mm y 315 mm. Abarca además máquinas rotatorias de tamaño medio, con una potencia que fluctúa entre 15 y 300 kW.

**Grupo 3:** Este grupo incluye bombas con impulsor de múltiples álabes y motor separado (flujo centrífugo, axial o mixto) con una potencia superior a 15 kW.

**Grupo 4:** Este grupo contiene bombas con impulsor de múltiples álabes y motor integrado (flujo centrífugo, axial o mixto) con una potencia superior a 15 kW.

En la Fig. 7 se puede observar la siguiente ilustración de la norma.

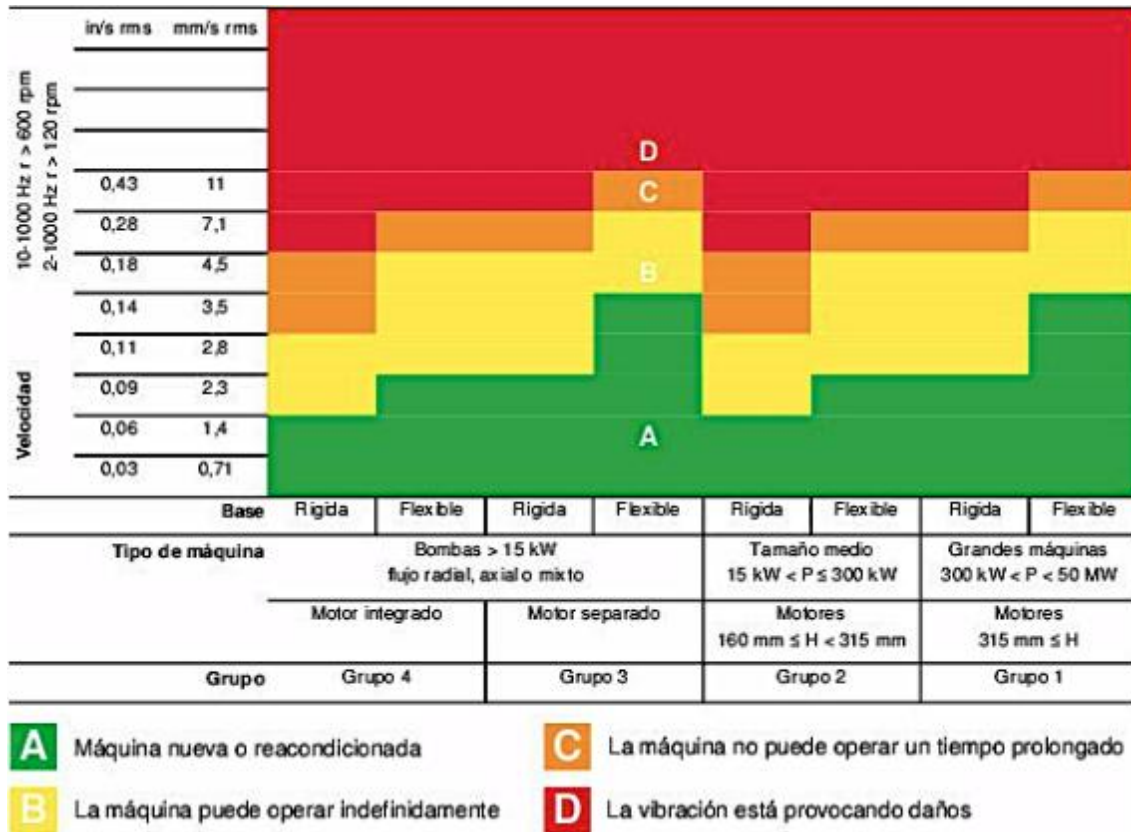


Fig 7. Norma ISO 10816 [24]

Se considera la relación entre la primera frecuencia natural del sistema máquina-soporte y la frecuencia principal de excitación para la clasificación según la flexibilidad del soporte desglosa el análisis de vibración y se presenta de la siguiente manera:

**Rigidez en una dirección:**

Si la primera frecuencia natural en la dirección de medición al menos un 25% mayor que la frecuencia principal de excitación (generalmente la frecuencia de rotación), el sistema soporte se considera rígido en esa dirección y si la primera frecuencia natural es menor se considera flexible

**Rigidez en ambas direcciones:**

Por ejemplo, en algunos casos, el sistema máquina-soporte puede ser rígido en el plano vertical y flexible en el plano horizontal. La evaluación de la vibración, se pueden establecer cuatro zonas:

**Zona A:** Los valores de vibración engloba máquinas recién puestas en funcionamiento o reparadas



**Zona B:** Incluye máquinas que pueden funcionar continuamente sin restricciones.

**Zona C:** Incluye máquinas que pueden funcionar con la restricción que no opera de manera continua, sino solo para un período limitado. Es recomendable efectuar medidas correctivas en la parada programada.

**Zona D:** Incluye máquinas que pueden sufrir daños, señala advertencia sobre valores de vibración peligrosos. En esta zona, se deben tomar medidas correctivas de manera inminente.

### 2.2.3.2 Normativas y procedimientos de medición

El valor eficaz (RMS) de la velocidad de la vibración es un indicador primordial para establecer el estado de la máquina. El valor es crucial en el monitoreo de la salud de la maquinaria, mediante una variedad de instrumentos convencionales establecidos para la medición de vibración. No obstante, la exactitud depende en gran medida de la correcta instalación de los sensores, para tener medidas exactas sin alteraciones. [22].

Las mediciones efectivas establecen tres puntos consistiendo en dos puntos ortogonales en la dirección radial en cada caja de descanso, y un punto en la medición axial, las medidas deben realizarse en condiciones estables a temperaturas estacionarias de trabajo, es importante considerar factores como velocidad, voltaje, flujo, presión y carga [22].

Cuando la máquina opera según su velocidad o carga es necesario tomar en cuenta todas las condiciones esperadas durante períodos prolongados de tiempo. Si se verifica que la vibración supera los límites permitidos se propone efectuar mediciones con la máquina detenida. Si la vibración aumenta en un 25% esto significa que existe influencia de vibraciones externas, lo que quiere decir que necesita de acciones correctivas. Es necesario eliminar las fuentes externas que la provocan efectos de vibración de fondo para tener una evaluación precisa, permitiendo la aplicación de acciones correctivas específicas en caso de irregularidades detectadas durante el monitoreo vibracional.

### 2.2.3.3 Planes de mantenimiento relacionados a las vibraciones.

La implementación de planes de mantenimiento relacionados con vibraciones es esencial para garantizar el rendimiento óptimo de los activos de la planta. En este contexto, la norma internacional ISO 10816-3 juega un papel crucial al proporcionar pautas detalladas



en el proceso de medición y las condiciones aplicables. Esta norma aborda aspectos críticos, como equipos de medición, posición de medición, monitoreo continuo y discontinuo, así como condiciones de funcionamiento [24].

La norma establece requisitos específicos para equipos como sensores de monitoreo de condiciones de vibración en el proceso de medición, el rango de respuesta de frecuencia abarca desde 10 Hz hasta 1 KHz logrando así una evaluación exacta. También la norma detalla la capacidad de medir vibraciones en diferentes bandas de frecuencia el cual puede ser necesario medir tanto el desplazamiento como la velocidad, o las dos variables a la vez [24].

La norma establece que, para velocidades cercanas o inferiores a 600 r/min, el límite inferior de respuesta de frecuencia del instrumento debe comenzar desde 2 Hz. También, es importante verificar que el sistema de medición no se esté influenciado por factores ambientales como la temperatura, campo acústico, longitud del cable del sensor, campo magnético, variaciones de potencia y orientación del sensor [24].

Se puede verificar que el BALLUFF que consta de sensores de monitoreo de condición de la serie BCM cumple o posiblemente supera los estándares establecidos por la ISO 10816-3. Los sensores multifuncionales brindan una extensa gama de capacidades que va desde el monitoreo de frecuencias de vibración de 2 a 3200 Hz hasta llevar a cabo la medición de la velocidad de vibración de 0 a 220 mm/s y la aceleración de 0 a 16 g. Para la construcción de la carcasa se debe tomar en cuenta que debe ser fabricada en acero inoxidable garantiza un grado de protección de al menos IP67 [24].



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

Es indispensable aplicar metodologías, modelos matemáticos apropiados y puntuales para la selección de los materiales correctos para diseñar un módulo de pruebas de vibraciones en motores de baja potencia. A través de pruebas experimentales se llevará a cabo un análisis minucioso con respecto al comportamiento de la máquina.

En el capítulo 3 se detalla los métodos matemáticos aplicados en el análisis de vibraciones, los elementos de medición indispensables y los componentes necesarios para el diseño del módulo de pruebas, también se describe el sistema de adquisición de datos de vibraciones, así como sus técnicas que se utilizarán para afirmar la precisión y fiabilidad de los resultados aplicando lineamientos normativos.

El desarrollo de la implementación se realizó en la Universidad Técnica del Norte, edificio Electricidad, laboratorio de máquinas, tomando en cuenta y garantizando todas las variables críticas, que proporcionan una base sólida para la interpretación de los datos y la mejora continua del rendimiento de los motores de baja potencia.

#### 3.1 Metodología

La formulación de la metodología se sustenta en diversos elementos, incluyendo especificaciones técnicas, métodos de medición, cálculos matemáticos, consideraciones económicas y la viabilidad de adquisición en el entorno. La Fig. 7 detalla la metodología aplicada en el desarrollo y puesta en marcha del módulo de pruebas, empleando en el módulo, seguido de un análisis del desempeño de la máquina.



## ELECTRICIDAD

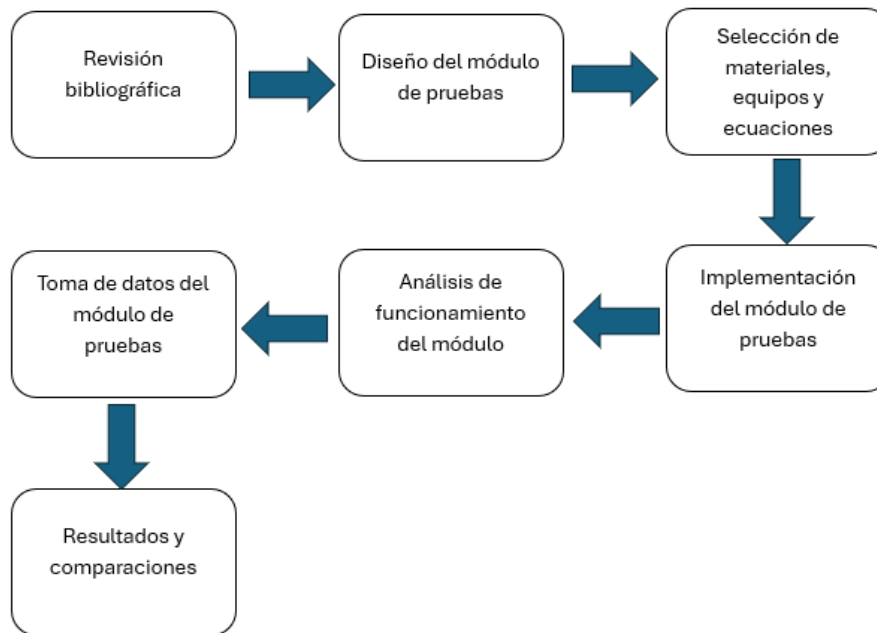


Fig 8 Metodología para la implementación del Módulo de pruebas de vibraciones.

Cada fase implica un conjunto de acciones diseñadas para llevar a cabo eficazmente sus respectivas tareas. A continuación, se describe detalladamente cada fase de la metodología:

### 3.1.1 Bibliográfica

Para establecer una base sólida y comprender cómo estructurar un módulo de pruebas para evaluar un motor trifásico de 1hp, se lleva a cabo un estudio exhaustivo de la literatura existente.

El proyecto verifica los parámetros técnicos específicos y los tipos de pruebas aplicables a los motores trifásicos de baja potencia. También, examina diferentes módulos de pruebas ya establecidos en investigaciones preliminares con motores similares, el objetivo principal es identificar las metodologías basadas en investigación bibliográfica que proporciona el conocimiento necesario para diseñar y ejecutar pruebas experimentales precisas y eficaces y las experiencias que puedan ser aplicadas en tiempo real en el desarrollo de nuestro módulo de pruebas de vibraciones aplicadas de manera secuencial. revisión bibliográfica, en consecuencia, se asegura que el análisis de vibraciones sea completo y riguroso.



### 3.1.2 Diseño del módulo de pruebas:

En primer lugar, se realiza un levantamiento previo de información sobre los componentes a utilizar, considerando costos, características y valores nominales de operación y se confirma la disponibilidad y facilidad de adquisición de estos componentes en el mercado y posterior a ello se plantea el diseño del banco de pruebas con los componentes necesarios, cimentado en el estudio que se realiza para obtener los parámetros de funcionamiento del motor trifásico de 1hp. Este proceso asegura que el diseño del banco de pruebas sea eficiente y se ajuste a las necesidades específicas del análisis de vibraciones en el motor trifásico.

### 3.1.3 Selección de materiales, equipos y ecuaciones.

Una vez establecidos los componentes necesarios para obtener las variables eléctricas del motor trifásico de 1hp, se inicia con la selección de los equipos y materiales adecuados para la implementación del módulo de pruebas de vibraciones. Se tiene que considerar factores como la compatibilidad, la calidad y la facilidad de integración en el banco de pruebas los cuales aseguran precisión y eficiencia de los equipos de medición

Se identifica y justifica la selección de cada equipo y material los que se detallan para garantizar que todos los elementos contribuyan a la precisión y fiabilidad del módulo de pruebas, obteniendo resultados sean confiables y útiles para futuras investigaciones prácticas.

### 3.1.4 Implementación del módulo de pruebas

En esta etapa se realiza la implementación del módulo de pruebas. Este punto es crítico, mediante el cual se verifica el correcto funcionamiento del módulo antes de proceder con el siguiente paso, que consiste en realizar las pruebas de vibraciones al motor trifásico de 1hp. Durante el desarrollo de esta etapa, se ensamblan los componentes seleccionados y se procede a configurar los equipos de medición y adquisición de datos según las especificaciones definidas, asegurando así su operatividad y fiabilidad.



### 3.1.5 Análisis del funcionamiento del módulo

Al completar el módulo se procede a realizar la implementación y mediante el análisis del funcionamiento, se evalúa el desempeño del módulo de pruebas de vibraciones en el motor trifásico de 1HP, garantizando que los componentes que lo forma, operen de forma precisa y que los datos recogidos sean exactos y fiables. Es análisis que se va a efectuar es esencial para identificar cualquier cambio necesario y confirmar así que el módulo esté listo para las pruebas experimentales planificadas.

### 3.1.6 Toma de datos del módulo de pruebas

Con la finalidad de comprobar que las vibraciones son un indicador clave del desgaste en un motor, en esta fase, se lleva a cabo las pruebas de vibraciones utilizando el módulo implementado, Durante el desarrollo de estas pruebas, se recopilan datos precisos y claros sobre las vibraciones generadas por el motor en diferentes condiciones de funcionamiento. Los datos obtenidos permiten evaluar el estado de salud del motor, mediante la identificación de falla y la consecuente medida preventiva oportuna para prolongar el rendimiento y su vida útil.

### 3.1.7 Resultados y comparaciones

Se efectuó el análisis los resultados derivados de las pruebas de vibraciones realizadas en el motor trifásico de 1HP en diferentes condiciones operativas. Los datos recopilados revelan que se manifiestan las vibraciones como indicador principal del desgaste del motor, dichos datos son sometidos a un análisis comparativo.

Este análisis comparativo admite estimar el comportamiento del motor en diferentes condiciones mediante estas se tiene información valiosa para la toma de decisiones relacionadas con datos obtenidos en tiempo real, ajustes operativos y mejoras en el diseño del motor o del sistema en el que se encuentra integrado.

## 3.2 Diseño del módulo de pruebas

La implementación de un módulo de pruebas tiene como objetivo obtener los parámetros eléctricos y de vibraciones del motor trifásico de 1hp, tanto en condiciones de carga nominal como en situaciones de carga variable y transitoria. Esto implica medir y analizar



las vibraciones generadas por el motor en diferentes escenarios, como arranque, aceleración, desaceleración y operación a diferentes velocidades. Además, se ha modificado el motor para que sea capaz de generar vibraciones tanto electromagnéticas como mecánicas, ampliando así la gama de pruebas y análisis que se pueden realizar. Todo esto se realiza con el propósito de verificar que las vibraciones son un indicador clave del desgaste del motor y proporcionan información valiosa para el mantenimiento predictivo y la mejora del rendimiento del motor. Por lo tanto, el diseño del módulo de pruebas considera cuidadosamente las siguientes consideraciones:

- Con el propósito de emular una carga se utiliza de freno de motor mediante el cual se utilizó un disco de bicicleta y un freno de esta.
- Para el registro de los parámetros eléctricos del motor es necesario el uso de instrumentos de medición.
- Se deben tener en cuenta la seguridad tanto de los operadores como de los instrumentos durante las pruebas de funcionamiento del motor. Por esta razón, se emplean medidas de protección que garanticen la seguridad del banco de pruebas y de quienes lo operan.
- Se debe tener en cuenta las variaciones que ocurren en la captura de vibraciones. Las pruebas esenciales para determinar la eficiencia del motor son las pruebas electromagnéticas y mecánicas, estos cambios en la carga sirven para verificar las diferencias en la rentabilidad de la máquina.
- Para las pruebas se utilizan instrumentos extras como fuentes de alimentación.

Al considerar los aspectos anteriores se lleva a cabo un análisis minucioso del motor trifásico y de las técnicas para obtener los diferentes parámetros mediante un módulo de pruebas. Se establecieron distintas pruebas para que el motor posea características específicas, lo que nos llevó establecer un esquema del módulo de pruebas como se observa en la Fig. 9.

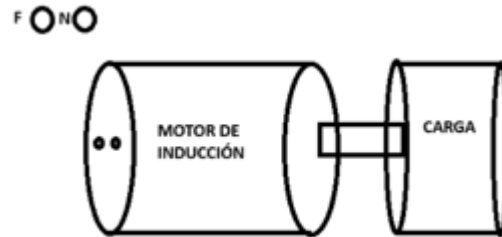


Fig 9. Diseño inicial del módulo de pruebas.

Se detalla el motor principal junto con los materiales utilizados en la construcción del banco de pruebas, lo cual sirve de base para elaborar el diseño definitivo que incluye todos los materiales especificados.

### 3.2.1 Motor de inducción trifásico

El motor trifásico de inducción de 1hp utilizado en el módulo de pruebas, al igual que otros motores de este tipo, tiene la capacidad de funcionar de manera eficiente y fiable en aplicaciones industriales y comerciales de tamaño mediano. Estos motores son conocidos por su robustez y capacidad para manejar cargas variables. Además, su diseño de inducción los hace más adecuados para entornos donde se requiere un funcionamiento continuo y una alta durabilidad. Esto permite realizar un estudio exhaustivo del motor, ya que es capaz de operar con diferentes tipos de condiciones eléctricas. En la Fig. 10 se muestra el motor trifásico de inducción principal utilizado en el banco de pruebas."



Fig 10. Motor trifásico de inducción 1HP.



Basándonos en las características del motor principal y ejecutar las pruebas en la máquina, se establece el valor de los demás componentes necesarios para obtener las especificaciones del motor.

En la Fig.11 se detalla las especificaciones principales del motor, estas son fundamentales para obtener las dimensiones de las protecciones, el calibre del conductor y demás parámetros, las cuales se determinan en base a la corriente, voltaje, potencia, torque y velocidad del motor.

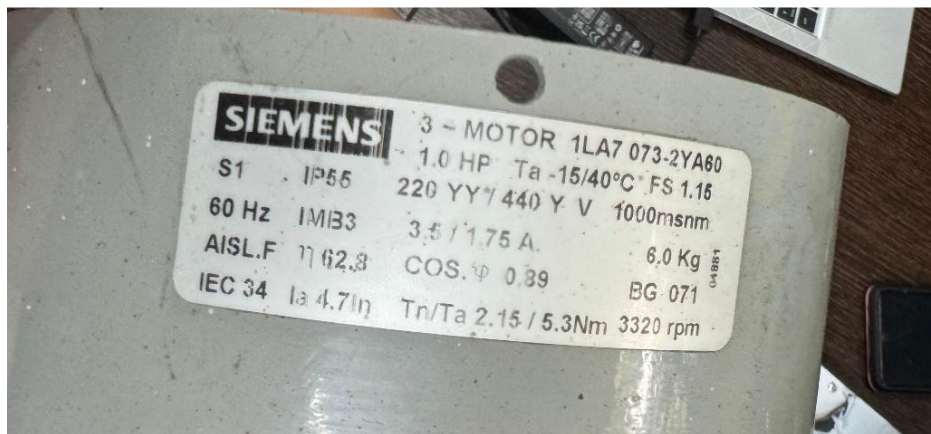


Fig 11. Datos de placa del motor de Inducción.

**3.2.2. Diseño Final del módulo de vibraciones**

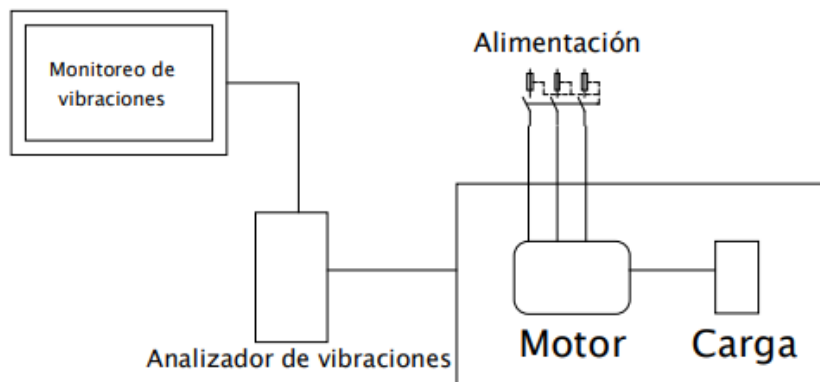


Fig 12. Probador de vibraciones UT315A

En la Fig. 12 se presenta el diseño completo del módulo de pruebas para el análisis de vibraciones en motores eléctricos de baja potencia. Este módulo se desarrolló con la finalidad de simplificar la toma de datos que están sujetas a condiciones controladas, lo



que permite evaluar su comportamiento vibracional del motor en distintas condiciones operativas.

El motor se fija en una base rígida que facilita su estabilidad al momento de tomar datos en el sistema el cual está conformado por el medidor de vibraciones UT315A, este medidor permite registrar los parámetros de aceleración, velocidad y desplazamiento de forma exacta. Este diseño integral se la utiliza como una herramienta de diagnóstico y análisis preventivo para detectar fallos o anomalías mecánicas incipientes. Su diseño permite realizar evaluaciones repetitivas y confiables.

### 3.3 Selección de materiales, equipos y ecuaciones.

En esta etapa, se toman como referencia los valores nominales del motor principal y las consideraciones establecidas durante la fase de diseño. Asimismo, se presentan los modelos seleccionados para la lista de componentes, basados en su calidad y costo, asegurando los más adecuados para esta aplicación.

#### 3.3.1 Probador de vibraciones UT315A

La Fig. 13 presenta un probador que es una herramienta ideal para el monitoreo del estado de los equipos.



Fig 13. Probador de vibraciones UT315A



El probador de vibraciones UT315A se utiliza para medir las vibraciones de equipos mecánicos, especialmente en maquinaria rotativa y reciprocante. Se aplica ampliamente en la fabricación mecánica, la energía eléctrica, la metalurgia y otras mediciones industriales.

Además, se detallarán sus especificaciones, características, características generales y accesorios estándar, proporcionando una visión completa y precisa de sus capacidades y aplicaciones potenciales en diversos entornos industriales.

### 3.3.1.1 Especificación

- **Modelo:** UT315A
- **Aceleración (Freq.):** 0.1~655.8 ft/s<sup>2</sup> (10Hz ~ 10KHz) ± (5%+2)
- **Velocidad (Freq.):** 0.01~7.9 in/s (10Hz ~ 1KHz) ± (5%+2)
- **Desplazamiento (Freq.):** 0.001~0.079 in (10Hz ~ 500Hz) ± (5%+2)

### 3.3.1.2 Características

- Recuento de pantalla: 2000
- Apagado automático: √
- Indicación de batería baja: ≤7.0 V √
- Retención de datos: √
- Modo máximo: √
- Registro de datos: 1999
- Recuperación de datos: √
- Interfaz USB: √
- Retroiluminación LCD: √

### 3.3.1.3 Características generales

- **Potencia:** batería alcalina 9V (6LF22)
- **Tamaño LCD:** 2.244 in x 1.457 in
- **Color del producto:** Rojo y gris
- **Peso neto del producto:** 12.87 oz



- **Tamaño del producto:** 6.535 in X 3.150 in X 1.181 in

#### 3.3.1.4 Accesorios estándar

- 1 probador de vibración.
- 1 batería.
- 1 cable USB.
- Software de PC
- 1 pedestal magnético.
- 1 sonda larga.
- 1 sonda corta.
- 1 tornillo de conexión.
- 1 bolsa de transporte.
- 1 manual en inglés

Este dispositivo cuenta con una funcionalidad avanzada que permite la selección del método de pruebas de vibraciones. Es fundamental elegir el método de prueba adecuado de entre las opciones disponibles, tomando en consideración la situación actual y las características específicas del equipo a evaluar. La elección del método apropiado para la prueba favorece a la eficiencia y seguridad de los procesos industriales, ya que establece este dispositivo como una herramienta esencial para el mantenimiento industrial en el ámbito de la ingeniería, el cual se determinó mediante una selección cuidadosa en la que nos asegura la precisión y confiabilidad de las mediciones obteniendo un diagnóstico exacto del estado de los equipos mecánicos

#### 3.3.1.5 La sonda corta (S) para medir:

La sonda se monta en el probador. Este método es aplicable a la medición de vibraciones en áreas amplias para obtener buenos valores de respuesta, como se muestra a continuación en la Fig.14.

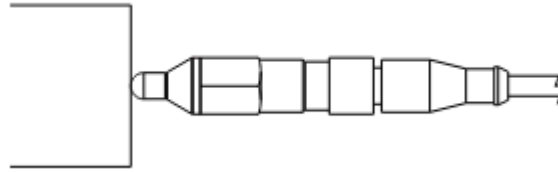


Fig 14. Sonda Corta

### 3.3.1.6 La sonda larga (L) para medir:

La sonda es un accesorio en la caja de embalaje, y se usa principalmente en áreas estrechas o de objetos especiales con respuesta rápida, como se muestra a continuación.

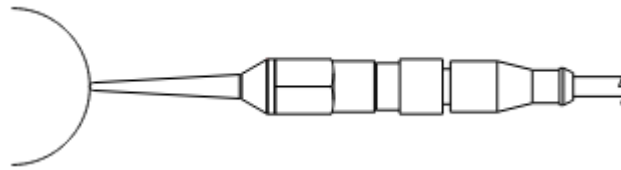


Fig 15. Sonda Larga

La sonda larga (L) es adecuada solo para mediciones de baja frecuencia como se observa en la Fig.15 se muestra la frecuencia supere 1 kHz en la medición de aceleración, por favor, reemplácela con la sonda corta (S).

### 3.3.1.7 El mandril magnético para medir:

El mandril es un accesorio en la caja de embalaje y se usa principalmente en áreas de objetos de hierro planos, como ascensores, tal como se muestra a continuación en la Fig.16.

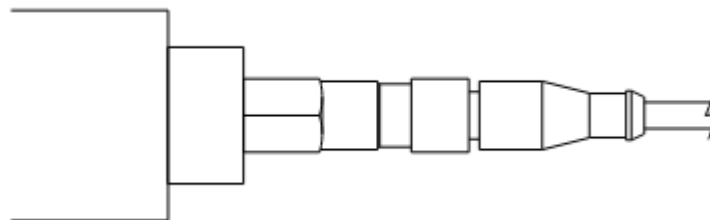


Fig 16. Mandril Magnético.

Al utilizar el mandril magnético para medir, la posición de fijación y la firmeza de la fijación pueden causar diferencias en los resultados de la medición.



### Se retira la sonda de hardware para medir:

Este método es aplicable a la medición de vibraciones en superficies de objetos planos para obtener datos estables, como se muestra en la Fig.17.

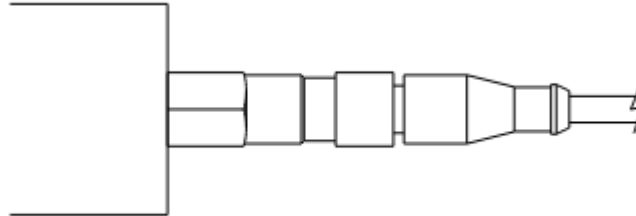


Fig 17. Sonda de hardware.

### 3.3.1.8. Instrucciones de Operación

#### 3.3.1.8.1 Medición de Aceleración

Presione brevemente el botón A para ingresar al modo de medición de aceleración (por defecto), y la pantalla LCD mostrará los indicadores "ap", "10-10kHz" y "m/s<sup>2</sup>".

Mida el objeto bajo prueba con el método de prueba seleccionado, y la pantalla LCD mostrará el resultado de la medición en el área de visualización del valor medido, como se muestra a continuación en la Fig.18.

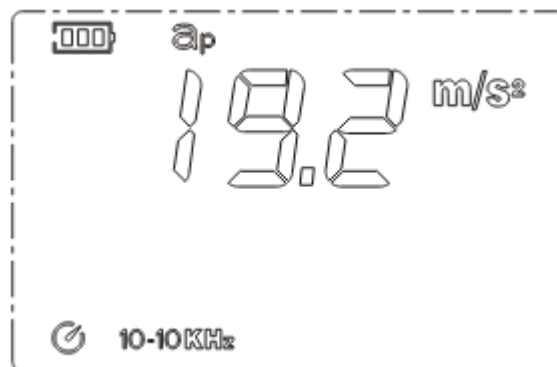


Fig 18. Medición de Aceleración.

#### 3.3.1.8.2 Medición de Velocidad

1) Presione brevemente el botón V para ingresar al modo de medición de velocidad, y la pantalla LCD mostrará los indicadores "Vrms", "10-1kHz" y "cm/s".



2) Mida el objeto bajo prueba con el método de prueba seleccionado, y la pantalla LCD mostrará el resultado de la medición en el área de visualización del valor medido, como se muestra a continuación en la Fig.19.

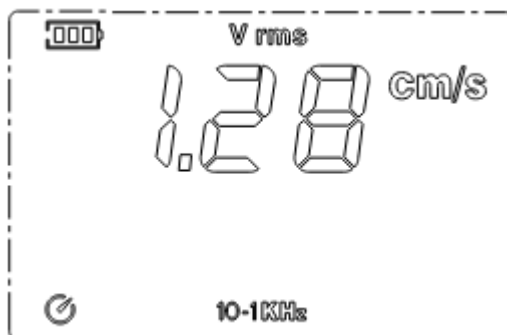


Fig 19. Medición de Velocidad.

### 3.3.1.8.3 Medición de Desplazamiento

1) Presione brevemente el botón D para ingresar al modo de medición de desplazamiento, y la pantalla LCD mostrará los indicadores "dp-p", "10-500Hz" y "mm".

2) Mida el objeto bajo prueba con el método de prueba seleccionado, y la pantalla LCD mostrará el resultado de la medición en el área de visualización del valor medido, como se muestra a continuación en la Fig.20.

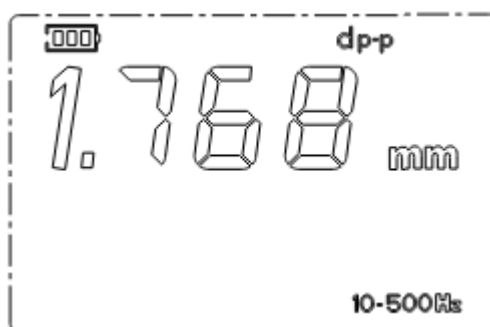


Fig 20. Medición de Desplazamiento

### 3.3.1.8.4 Visualización del Valor Máximo

Presione brevemente el botón MAX durante la medición. La pantalla LCD mostrará el indicador "MAX" y mostrará el valor máximo medido en el área de visualización del número de registro de datos.



Presione brevemente nuevamente el botón MAX para salir de la visualización del valor máximo.

#### **3.3.1.8.5 Retención de Datos**

Presione brevemente el botón HOLD durante la medición. La pantalla LCD mostrará el indicador "HOLD" y mantendrá el valor medido actual en el área de visualización del valor medido.

Presione brevemente nuevamente el botón HOLD para salir de la retención de datos.

#### **3.3.1.8.6 Encendido/Apagado de Luz de Fondo**

Presione brevemente el botón con un foquito durante la medición. ¿La pantalla LCD mostrará el indicador "? ", y la luz de fondo se encenderá. Presione brevemente nuevamente el botón para apagar la luz de fondo.

#### **3.3.1.8.7 Almacenamiento de Datos**

1) Almacenamiento de datos manual: Presione brevemente el botón REC durante la medición. La pantalla LCD mostrará el indicador "DATA", y el valor medido actual se almacenará en la ubicación más reciente no registrada. El indicador "DATA" desaparece después de aproximadamente 0.5 segundos. Presione brevemente nuevamente el botón REC para ingresar al almacenamiento de datos para la siguiente ubicación.

2) Almacenamiento de datos automático: Mantenga presionado el botón REC durante la medición. El indicador "DATA" en la pantalla LCD parpadeará continuamente y los valores medidos se almacenarán en los intervalos establecidos (consulte Configuración de Funciones del Menú). Si el recuento de datos almacenados supera el máximo de registros (1999) del probador, saldrá automáticamente del almacenamiento de datos.

Si se almacenan 1999 conjuntos de datos, estos deben borrarse antes de continuar almacenando. El almacenamiento de datos manual comparte el recuento de registros con el almacenamiento de datos automático.



### 3.3.1.8.8 Ver Datos Grabados

Presione brevemente el botón READ para ver los datos grabados.

1) Si no hay datos grabados, la LCD mostrará "\_" tanto en el área de visualización del valor medido como en el área de visualización del número de registro de datos. El probador volverá automáticamente a la interfaz de medición después de aproximadamente 0.5 segundos.

2) Si hay datos grabados, se mostrarán automáticamente los últimos datos grabados y el número de registro. En este momento, el probador solo puede volver a la interfaz de medición de manera manual.

a. Utilice los botones A o V para ver el número de registro y sus datos grabados correspondientes. Presione brevemente para ver lentamente y mantenga presionado para ver rápidamente.

b. Presione brevemente el botón REC para aumentar el número de registro en 100. Si el recuento de registros es inferior a 100 o supera el máximo de registros (1999), se devolverá el primer número de registro y sus datos grabados correspondientes, para una visualización rápida de los datos.

c. Mantenga presionado el botón REC hasta que el primer número de registro y sus datos grabados correspondientes sean devueltos para volver rápidamente a ver los datos. Presione brevemente nuevamente el botón READ para salir.

### 3.3.1.8.9 Borrar Datos Grabados Método 1:

Presione y mantenga presionados simultáneamente los botones CLEAR y POWER para encender el probador, suelte el botón POWER después de la pantalla completa y suelte el botón CLEAR después de que la LCD muestre "CLR". Método 2: Restaurar configuración de fábrica (consulte Configuración de Funciones del Menú)

Configuración de Funciones del Menú Presione brevemente el botón MENU para ingresar a la configuración de funciones del menú, y presione brevemente el botón



ENTER para cambiar entre las interfaces de configuración del menú. Si el probador se apaga en el menú de configuración, el estado del menú se guardará automáticamente.

Presione brevemente el botón MENU para ingresar a la interfaz de configuración de la función USB. USB 0 es un estado predeterminado, que indica que la comunicación USB está desactivada (consulte Comunicación USB). Para activar/desactivar la comunicación USB utilice los botones A o V respectivamente. USB 1 muestra que la comunicación USB está activada.

#### **3.3.1.8.10 Comunicación USB**

- 1) Ingresar al sitio web oficial de Uni-Trend (consulte la Guía de Operación de Descarga de Documentos UNI-T), proceda a descargar el software para PC del Probador de Vibraciones UT315A e instálelo según las instrucciones de instalación.
- 2) Ejecute el software para PC y conecte el cable USB al PC.
- 3) Los datos pueden ser visualizados y analizados mediante el software para PC. En cuanto al uso del software para PC, los usuarios pueden obtener el Manual de Usuario del Software desde la opción de Ayuda de la interfaz de operación.

#### **3.3.1.9 Mantenimiento**

- 1) El probador de vibraciones UT315A es un aparato de precisión que requiere evitar colisiones, impactos, humedad, electricidad fuerte, campos magnéticos, aceite y polvo.
- 2) Si el probador no se utiliza durante mucho tiempo, retire la batería para evitar fugas de batería y daños al probador.
- 3) No desmonte el probador ni cambie el interior.
- 4) El alcohol y el diluyente tienen un efecto corrosivo en la carcasa, especialmente en la pantalla LCD.

Por lo tanto, simplemente limpie la carcasa suavemente con un poco de agua clara.



### 3.3.2 Software UNI-T UT315A V2

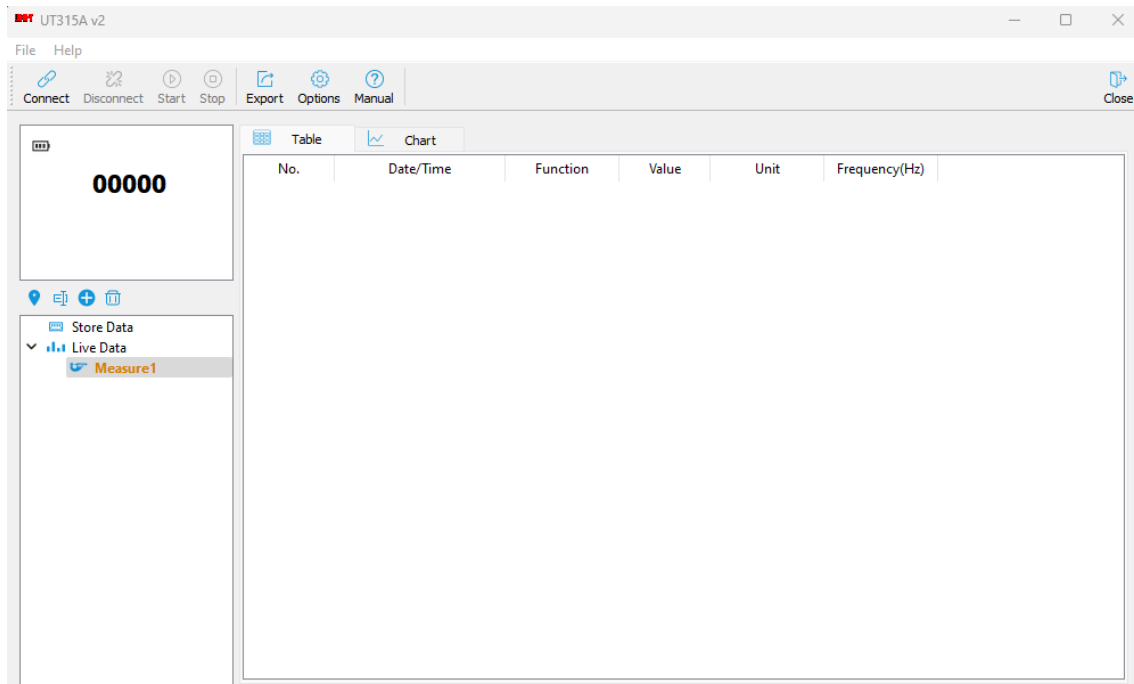


Fig 21. Software UNI-T UT315A V2

Por otra parte, al adquirir el probador de vibraciones UT315A, se incluye el Software UNI-T UT315A V2 como podemos observar en la Fig.21. Este software, a través de una conexión USB, permite subir los datos de las mediciones realizadas por el probador para su respectivo análisis. Esta capacidad de transferencia de datos facilita un análisis detallado y exhaustivo, permitiendo a los usuarios evaluar y documentar el rendimiento de los equipos con mayor eficiencia y precisión.

### 3.3.3 Métodos

Una vez seleccionados los materiales, se procedió a elegir aquellos que mejor se adecuaban a las especificaciones del motor trifásico de inducción de 1hp, teniendo en cuenta también el aspecto económico para optimizar los costos del proyecto. En esta etapa, se describen los métodos llevados a cabo para el correcto diseño e implementación del módulo de pruebas.

La metodología principal utilizada para el desarrollo del módulo de pruebas fue el método experimental. El método utilizado se fundamentó en la aplicación de pruebas sistemáticas



y controladas para obtener datos y para después analizar las vibraciones del motor en condiciones operativas diferentes. Para recopilar datos exactos de vibraciones se practicó una serie de experimentos los cuales sirven para evaluar y determinar la relación entre las vibraciones y el desgaste del motor. Mediante el enfoque experimental se pudo identificar los parámetros clave logrando así ajustar el diseño del módulo de pruebas para asegurar su efectividad y fiabilidad.

En el capítulo 4, se utilizará será el método comparativo el cual permitirá identificar patrones y tendencias significativas, este método se centrará en la comparación de resultados obtenidos de las pruebas de vibraciones con estándares y datos previos, su objetivo principal es el de evaluar el desempeño del motor trifásico de inducción de 1hp en diferentes escenarios. El análisis comparativo nos permite una comprensión más profunda del comportamiento del motor y la eficacia del módulo de pruebas diseñado.

La combinación de los métodos experimental y comparativo asegura un enfoque integral para el estudio y evaluación del motor trifásico de inducción, ofreciendo resultados precisos y útiles para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas.

### 3.3.3.1 Factores críticos

Antes de implementar el módulo de pruebas, es fundamental considerar varios factores críticos para realizar un mantenimiento efectivo basado en pruebas de vibraciones en el motor trifásico de inducción de 1hp. Estos factores incluyen:

**3.3.3.2 Conocimiento del activo físico:** Es esencial comprender en detalle las características y el funcionamiento del motor, incluyendo sus especificaciones técnicas y condiciones operativas habituales. Esto permite establecer una línea base para la evaluación de las vibraciones.

**3.3.3.3 Rango dinámico:** Asegurarse de que el equipo de medición utilizado tiene un rango dinámico adecuado para capturar las vibraciones generadas por el motor en diversas condiciones de operación. Un rango insuficiente podría llevar a la pérdida de información crítica.



**3.3.3.4 Buena configuración de la medición:** La configuración correcta de los sensores y equipos de medición es crucial para obtener datos precisos. Esto incluye la ubicación y orientación de los sensores, así como la calibración adecuada de los equipos.

**3.3.3.5 Análisis e inspección en campo:** Realizar una inspección visual y un análisis preliminar en el lugar donde se encuentra el motor. Esto ayuda a identificar posibles fuentes de vibraciones no deseadas y a asegurar que el entorno de prueba es adecuado.

**3.3.3.6 Antecedentes de mantenimiento:** Conocer el historial de mantenimiento del motor es vital para interpretar correctamente los datos de vibraciones. Esto incluye información sobre reparaciones anteriores, cambios de componentes y cualquier evento significativo que pueda haber afectado al motor.

Errores en alguno de estos aspectos pueden resultar en datos de vibración inapropiados y conclusiones erróneas. Además, una vez realizada la medición en campo, no es posible cambiar los datos recogidos, por lo que es crucial que todo el proceso se lleve a cabo con precisión y cuidado.

Además, un analista de vibraciones debe ser un experto en la operación y procesamiento de datos vibratoriales. Deben estar bien versados en las posibles fallas y errores que pueden ocurrir durante la medición y análisis de vibraciones, y saber cómo evitarlos. Su conocimiento y experiencia son esenciales para interpretar correctamente los datos y asegurar que las conclusiones derivadas sean válidas y útiles para el mantenimiento predictivo y la optimización del rendimiento del motor.

### 3.3.4 Ecuaciones

El monitoreo de vibraciones en motores eléctricos es fundamental para diagnosticar fallos y optimizar el rendimiento del equipo. En este estudio, se implementó un módulo de pruebas de vibraciones en motores de baja potencia, utilizando un acelerómetro para capturar datos de vibración en términos de aceleración, velocidad y desplazamiento. La conexión de las bobinas del motor se realizó en configuración delta, debido a sus ventajas en estabilidad operativa y capacidad de respuesta ante cargas variables.



En la medición de vibraciones en motores eléctricos, los parámetros fundamentales son aceleración, velocidad y desplazamiento. Cada uno está relacionado mediante la frecuencia y las siguientes ecuaciones:

#### 3.3.4.1 Aceleración ( $a$ )

La aceleración de la vibración se mide en  $m/s^2$  y generalmente se obtiene mediante un acelerómetro. Su expresión es:

$$a(t) = A * \omega^2 * \cos(\omega t + \phi) \quad (1)$$

Donde:

- $A$  = Amplitud del desplazamiento (m)
- $\omega = 2\pi f$  = Frecuencia angular (rad/s)
- $f$  = Frecuencia de la vibración (Hz)
- $t$  = Tiempo (s)
- $\phi$  = Fase de la señal

También se puede calcular el valor RMS (Raíz Cuadrada Media) de la aceleración:

$$a_{RMS} = \frac{a_{pico}}{\sqrt{2}} \quad (2)$$

Donde  $a_{pico}$  es la aceleración máxima medida.

#### 3.3.4.2 Velocidad ( $v$ )

La velocidad de vibración se mide en  $mm/s$  o  $m/s$  y se obtiene a partir de la aceleración mediante la integración con respecto al tiempo:

$$v(t) = \int a(t) dt \quad (3)$$



Para una señal sinusoidal:

$$v_{pico} = \frac{a_{pico}}{\omega} \quad (4)$$

El valor RMS de la velocidad es:

$$v_{rms} = \frac{a_{RMS}}{\omega} \quad (5)$$

### 3.3.4.3 Desplazamiento ( $d$ )

El desplazamiento de vibración se mide en mm o  $\mu\text{m}$  y se obtiene mediante la integración de la velocidad:

$$d(t) = \int v(t)dt \quad (6)$$

Para una vibración sinusoidal:

$$d_{pico} = \frac{v_{pico}}{\omega} \quad (7)$$

Y en términos de RMS:

$$d_{RMS} = \frac{v_{RMS}}{\omega} \quad (8)$$

### 3.3.4.4 Relación entre los parámetros

$$v_{pico} = \frac{a_{pico}}{2\pi f} \quad (9)$$

$$d_{pico} = \frac{v_{pico}}{2\pi f} \quad (10)$$

### 3.3.4.5 Cómo se relacionan

Los tres parámetros están conectados a través de la frecuencia de vibración  $f(\text{Hz})$ :

- Velocidad a partir de desplazamiento



$$V = 2\pi f D \quad (11)$$

- Aceleración a partir de velocidad

$$A = 2\pi f V \quad (12)$$

- Aceleración a partir de desplazamiento:

$$A = (2\pi f)^2 D \quad (13)$$

### 3.3.4.6 Cómo se interpretan

- Si el desplazamiento es alto pero la aceleración es baja → Problema de baja frecuencia, como desbalance.
- Si la velocidad es alta → Indica una vibración significativa en un rango de frecuencias común en máquinas.
- Si la aceleración es alta pero el desplazamiento es bajo → Problema de alta frecuencia, como daño en rodamientos o engranajes.

Esto indica que, a mayor frecuencia, mayor aceleración, pero menor desplazamiento.

En este trabajo de grado se ha implementado un módulo experimental para el análisis de vibraciones en motores eléctricos de baja potencia, utilizando un motor trifásico de 1 HP provisto por los laboratorios de la carrera de electricidad. Este estudio permite evaluar diferentes condiciones de operación del motor a través de la inducción de perturbaciones mecánicas y electromagnéticas, así como la aplicación de un freno de carga regulable.

Se empleó el equipo de medición Vibration Tester UT315A de la marca UNI-T para registrar los parámetros de vibración: velocidad, desplazamiento y aceleración. Este equipo permite analizar el comportamiento vibratorio en diferentes condiciones operativas del motor. Además, se utilizó un software libre proporcionado por el mismo fabricante, el cual permite la observación de las mediciones en tiempo real, facilitando así el análisis dinámico de las vibraciones durante el funcionamiento del motor

### 3.4 Modificaciones en el motor de prueba

Para la evaluación de vibraciones, se realizaron diversas modificaciones al motor trifásico de 1 HP con el objetivo de inducir perturbaciones y analizar sus efectos en su



comportamiento dinámico. Estas modificaciones se categorizaron en mecánicas y electromagnéticas, permitiendo así un estudio integral de los factores que pueden influir en la generación de vibraciones dentro de un motor eléctrico.

En la Fig. 22 se observa el motor modificado.



Fig 22. Motor modificado.

Las principales modificaciones aplicadas fueron las siguientes:

- **Alteración geométrica de partes móviles:** Se modificó la alineación del eje del motor, lo que permite evaluar los efectos de una desalineación mecánica en el nivel de vibración. Esta alteración es un factor crítico en la fiabilidad del motor, ya que un eje desalineado puede generar esfuerzos adicionales en los rodamientos y otros componentes mecánicos.
- **Retiro del ventilador:** Para diferenciar las perturbaciones electromecánicas de las electromagnéticas, se optó por retirar el ventilador del motor como se observa en la Fig.23.



Fig 23. Ventilador del motor.

De esta forma, es posible evaluar por separado los efectos desarrollados por fallas mecánicas y aquellos resultantes del sistema electromagnético del motor.

- **Uso de rodamientos deteriorados:** Los rodamientos son elementos fundamentales para tener un funcionamiento adecuado de un motor eléctrico, su desgaste es con certeza una de las principales fallas mecánicas, por tal motivo se instaló un rodamiento que se encuentra en mal estado, para analizar su impacto en la vibración.
- **Implementación de un freno de carga:** Se implementó un freno de carga regulable con el propósito de generar un desbalance controlado para evaluar el comportamiento del motor bajo diferentes niveles de carga.



Fig 24. Freno de carga del motor.



Para este fin, se utilizó un sistema de freno de bicicleta acoplado a un disco como se observa en la Fig. 24.

El método permite ajustar la resistencia que se aplica en el eje del motor, es una opción adecuada para realizar un análisis mediante simulaciones de condiciones reales de funcionamiento, las cuales no estarán presentes de forma permanente en la estructura del motor.

### 3.5 Configuración de la conexión del motor

En forma de estudio se conectó el motor trifásico de 1 HP en configuración delta, esto se debe a las ventajas en términos de desempeño eléctrico y mecánico., mediante esta configuración se verifica que es beneficiosa para motores que operan a voltajes más bajos dentro de sistemas trifásicos, permitiendo así una mayor corriente de arranque y afinar la entrega de potencia.

En este tipo de la conexión cada bobina del motor se encuentra conectada entre dos fases de alimentación, la cual permite que la tensión aplicada a cada bobina sea igual a la tensión de línea, presentando una mayor potencia en comparación con una conexión en estrella, esta conexión la cual tiene una mayor resistencia al flujo de corriente, donde la tensión por bobina es menor, ya que contribuye a mejorar el rendimiento general del motor y minimizar las caídas de tensión dentro del sistema eléctrico.

A partir del enfoque experimental, la selección de esta configuración se respaldó mediante mediciones de corriente y tensión, las cuales confirmaron la conexión en delta, ya que en esta disposición los valores de corriente de línea y corriente de fase son iguales. Por lo contrario, la conexión en estrella, donde la corriente de fase es menor que la de línea, lo que puede influir en la respuesta dinámica del motor ante cambios en la carga.

Al interpretar de manera correcta los datos de vibración, mediante su análisis se observa que el tipo de conexión eléctrica influye directamente en sus características operativas, es decir, afecta su estabilidad mecánica como su eficiencia en condiciones de carga variable.

En la Fig. 25 se muestra una conexión de las bobinas del motor

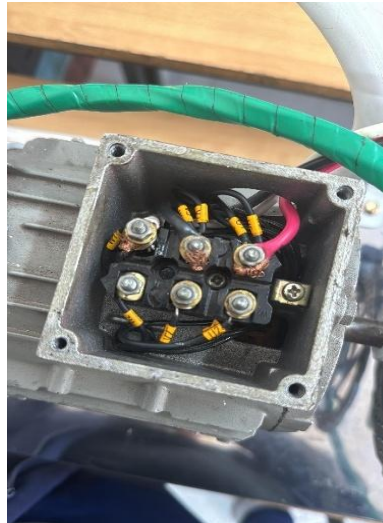


Fig 25. Conexión de las bobinas del motor

- Parte superior: (W1, W5), (V1, V5), (U5, U1)
- Parte inferior: (W2), (V2), (U2)

En la Fig. 26 se muestra un esquema de la conexión empleada:

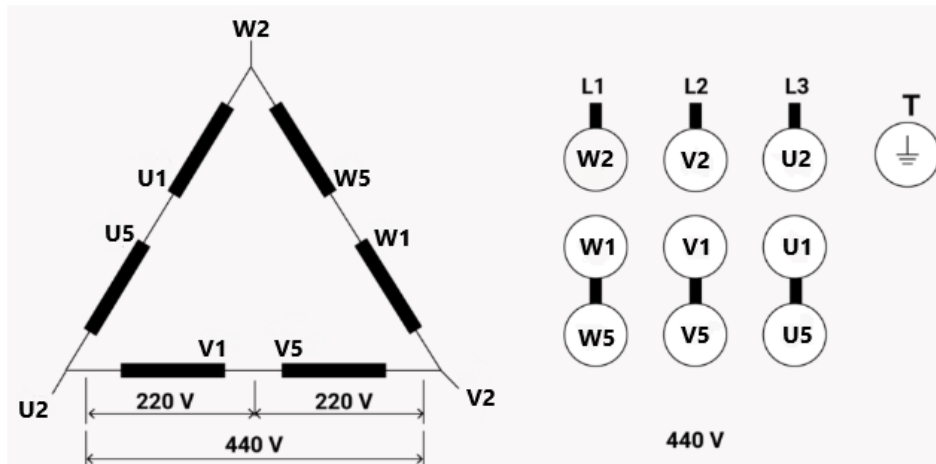


Fig 26. Esquema de la conexión

### 3.6 Montaje Final del Módulo de Pruebas

Al realizar las modificaciones pertinentes tanto en el motor y la integración del freno de carga regulable, se procede al ensamblaje completo del módulo experimental, previo a la verificación de todos los componentes, se revisa que este correctamente fijado para garantizar mediciones exactas.



Una base fuera de los parámetros establecidos con fijaciones deficientes puede generar vibraciones adicionales no deseadas, afectando la precisión de los resultados, por tal motivo este aspecto es fundamental para la selección de una base sólida ya que la estabilidad estructural influye directamente en la transmisión y medición de vibraciones. El motor es instalado sobre una superficie rígida y nivelada, para reducir las interferencias externas con lo cual se asegura que las vibraciones registradas correspondieran exclusivamente a las condiciones operativas del motor. Para el ensamble final se realizó una conexión del freno de carga regulable, el cual permite inducir diferentes niveles de esfuerzo sobre el eje del motor, el cual facilita la evaluación de su comportamiento en distintas condiciones de trabajo. También, se incorporó unos sensores de vibración y el equipo de medición UT315A, conjunto con el software de monitoreo en tiempo real, para analizar las variaciones de aceleración, velocidad y desplazamiento de manera prolongada.

Las pruebas experimentales realizadas con el módulo completamente ensamblado y optimizado, se garantizó un entorno controlado el cual permite evaluar de forma precisa los efectos de las modificaciones introducidas en el motor y verificando así su respuesta ante diferentes cargas y perturbaciones.

En la Fig. 27 se observa un motor de pruebas que se encuentra instalado en una superficie rígida y nivelada.



Fig 27. Módulo de Pruebas.

**CAPITULO IV****RESULTADOS Y ANÁLISIS**

Como continuación del desarrollo teórico y experimental realizado en el capítulo anterior, en este capítulo se presentan los resultados obtenidos de las pruebas de vibraciones realizadas a un motor eléctrico de baja potencia, utilizando el equipo de medición UT315A. Se registraron los valores de aceleración, velocidad y desplazamiento, midiendo de forma axial al eje del motor bajo diferentes condiciones operativas.

En el capítulo 3, se establecieron las ecuaciones matemáticas para el análisis vibracional, se detalló el diseño del módulo de pruebas y se explicó el funcionamiento del probador de vibraciones, así como su aplicación práctica en el laboratorio de máquinas de la Universidad Técnica del Norte. Toda esta fundamentación permitió estructurar una metodología confiable para la toma e interpretación de datos.

Este capítulo incluye el desarrollo de ocho escenarios de prueba:

- Motor en buen estado al vacío.
- Motor en buen estado con carga.
- Motor con daño en el eje al vacío.
- Motor con daño en el eje con carga.
- Motor con daño en el rodamiento al vacío.
- Motor con daño en el rodamiento con carga.
- Motor con daño total al vacío.
- Motor con daño total con carga.

Los resultados obtenidos en cada condición se comparan con los límites establecidos en la norma ISO 10816-3, la cual clasifica la severidad de las vibraciones según el tipo de montaje y potencia del motor. Esto permite identificar condiciones anormales de funcionamiento y emitir un diagnóstico preliminar del estado del equipo.



#### 4.1 Mediciones de vibraciones

Se realizaron mediciones de vibración en distintas condiciones operativas del motor:

1. Motor en buen estado al vacío.
2. Motor en buen estado con carga.
3. Motor con daño en el eje al vacío.
4. Motor con daño en el eje con carga.
5. Motor con daño en el rodamiento al vacío.
6. Motor con daño en el rodamiento con carga.
7. Motor con daño total al vacío.
8. Motor con daño total con carga.

Para el análisis de las vibraciones se utilizó el equipo UT315A, que mide los siguientes parámetros:

- **Velocidad de vibración (V):** Donde:
  - es la velocidad de vibración (mm/s),
  - es la frecuencia de vibración (Hz),
  - es la amplitud de vibración (mm).
- **Desplazamiento de vibración (D):** Donde:
  - es el desplazamiento (mm),
  - es la amplitud de vibración (mm).
- **Aceleración de vibración (a):** Donde:
  - es la aceleración de vibración (mm/s<sup>2</sup>),
  - es la frecuencia de vibración (Hz),
  - es la amplitud de vibración (mm).



#### 4.2.1 Motor en buen estado al vacío

La aplicación de esta prueba sirve para determinar el comportamiento dinámico del equipo cuando trabaja libre de esfuerzos mecánicos externos, los datos que se presentan corresponden a la evaluación de las vibraciones del motor en óptimas condiciones mecánicas, funcionando sin carga acoplada (en vacío), lo cual permite determinar una línea base de referencia que servirá para comparar futuras mediciones en condiciones degradadas o con fallas.

Los datos proporcionados de la vibración en esta fase, tiene que situarse dentro de los rasgos considerados aceptables según la norma ISO 10816, ya que un motor en buen estado y sin carga presenta imperceptibles fuerzas desequilibrantes y un funcionamiento eficiente.

#### Aceleración

En la Tabla 3 se detalla la medición de la aceleración del motor en buen estado al vacío.

**Tabla 2.** Tabla de medición de aceleración del motor en buen estado al vacío

No.	Date/Time	Function	Value	Unit	Frequency (Hz)
1	2025-10-06 08:31:02	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
2	2025-10-06 08:31:03	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
3	2025-10-06 08:31:04	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
4	2025-10-06 08:31:05	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
5	2025-10-06 08:31:06	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
6	2025-10-06 08:31:07	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
7	2025-10-06 08:31:08	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
8	2025-10-06 08:31:09	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
9	2025-10-06 08:31:10	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
10	2025-10-06 08:31:11	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
11	2025-10-06 08:31:12	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
12	2025-10-06 08:31:13	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
13	2025-10-06 08:31:14	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz



14	2025-10-06 08:31:15	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
15	2025-10-06 08:31:16	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
16	2025-10-06 08:31:17	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
17	2025-10-06 08:31:18	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
18	2025-10-06 08:31:19	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
19	2025-10-06 08:31:20	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
20	2025-10-06 08:31:21	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
21	2025-10-06 08:31:22	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
22	2025-10-06 08:31:23	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
23	2025-10-06 08:31:24	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
24	2025-10-06 08:31:25	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
25	2025-10-06 08:31:26	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
26	2025-10-06 08:31:27	Ap	0.8	m/S2	10-10kHz
27	2025-10-06 08:31:28	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
28	2025-10-06 08:31:29	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
29	2025-10-06 08:31:30	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
30	2025-10-06 08:31:31	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
31	2025-10-06 08:31:32	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
32	2025-10-06 08:31:33	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
33	2025-10-06 08:31:34	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
34	2025-10-06 08:31:35	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
35	2025-10-06 08:31:36	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
36	2025-10-06 08:31:37	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
37	2025-10-06 08:31:38	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
38	2025-10-06 08:31:39	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
39	2025-10-06 08:31:40	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
40	2025-10-06 08:31:41	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
41	2025-10-06 08:31:42	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
42	2025-10-06 08:31:43	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz



43	2025-10-06 08:31:44	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
44	2025-10-06 08:31:45	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
45	2025-10-06 08:31:46	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
46	2025-10-06 08:31:47	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
47	2025-10-06 08:31:48	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
48	2025-10-06 08:31:49	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
49	2025-10-06 08:31:50	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
50	2025-10-06 08:31:51	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
51	2025-10-06 08:31:52	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
52	2025-10-06 08:31:53	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
53	2025-10-06 08:31:54	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
54	2025-10-06 08:31:55	Ap	0.8	m/S2	10-10kHz
55	2025-10-06 08:31:56	Ap	0.8	m/S2	10-10kHz
56	2025-10-06 08:31:57	Ap	0.8	m/S2	10-10kHz
57	2025-10-06 08:31:58	Ap	0.8	m/S2	10-10kHz
58	2025-10-06 08:31:59	Ap	0.8	m/S2	10-10kHz
59	2025-10-06 08:32:00	Ap	0.8	m/S2	10-10kHz
60	2025-10-06 08:32:01	Ap	0.8	m/S2	10-10kHz

Los valores registrados de aceleración ( $A_p$ ) se mantienen entre 0.7 y 0.8  $m/s^2$  durante toda la medición, con una media aproximada de 0.75  $m/s^2$ . Este nivel de aceleración es muy bajo, lo cual es característico de un motor en condiciones normales de operación y sin presencia de defectos en rodamientos, eje o desbalance dinámico.

Según los límites establecidos en la norma ISO 10816, aceleraciones menores a 10  $m/s^2$  son típicas de máquinas en excelente estado, teniendo en cuenta los valores establecidos se puede afirmar que el motor muestra un comportamiento vibracional óptimo, con niveles de aceleración muy por debajo de los valores que podrían indicar desgaste, desalineación o defectos estructurales.

En la Fig.28 se presenta una ilustración de aceleración del motor en buen estado al vacío.



ELECTRICIDAD

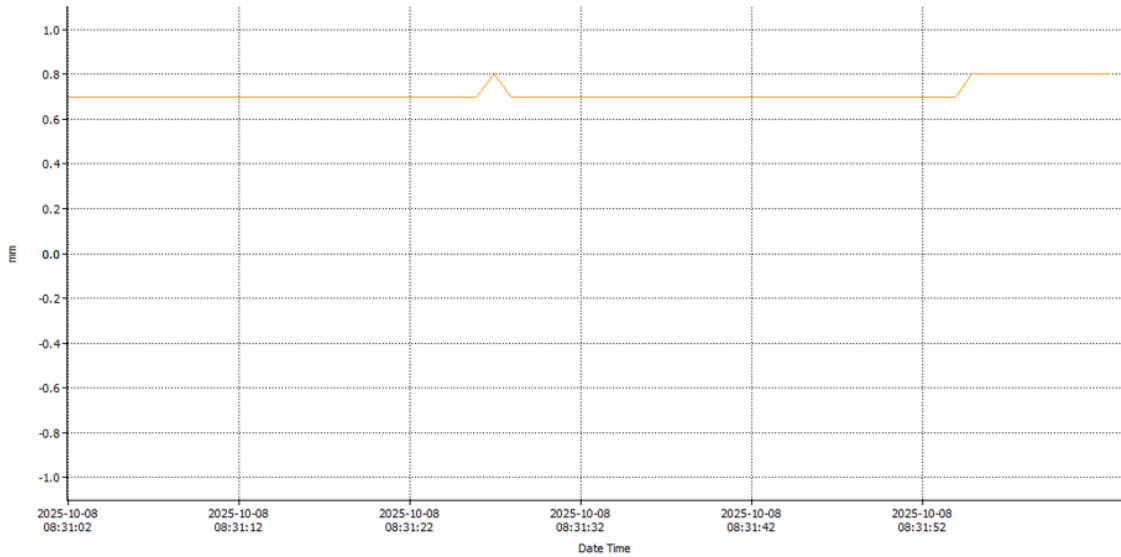


Fig 28. Ilustración de aceleración del motor en buen estado al vacío.

El presente gráfico representa un comportamiento vibracional estable, ya que presenta una línea casi constante y horizontal, sin picos pronunciados ni variaciones notorias con respecto al tiempo.

Según la norma ISO 10816, esta condición se clasifica dentro de la zona A (máquinas en buen estado), donde las vibraciones son pequeñas y no representan riesgo para la integridad mecánica ni eléctrica del motor, es decir, que esta estabilidad sugiere una correcta alineación del eje, rodamientos en buen estado y ausencia de resonancias en el rango de frecuencia de 10 Hz a 10 kHz.

El motor sin carga y en buen estado evidencia un excelente balance dinámico, siendo esta medición la base ideal para comparar las variaciones que aparecen al introducir carga o condiciones de desgaste.

**Velocidad**

En la Tabla 4 se detalla la medición de del motor en buen estado al vacío

**Tabla 3.** Medición de velocidad del motor en buen estado al vacío

No.	Date/Time	Function	Value	Unit	Frequency (Hz)
1	2025-10-06 08:32:42	Vrms	0.09	cm/s	10-1kHz
2	2025-10-06 08:32:43	Vrms	0.08	cm/s	10-1kHz



3	2025-10-06 08:32:44	Vrms	0.08	cm/s	10-1kHz
4	2025-10-06 08:32:45	Vrms	0.08	cm/s	10-1kHz
5	2025-10-06 08:32:46	Vrms	0.09	cm/s	10-1kHz
6	2025-10-06 08:32:47	Vrms	0.09	cm/s	10-1kHz
7	2025-10-06 08:32:48	Vrms	0.09	cm/s	10-1kHz
8	2025-10-06 08:32:49	Vrms	0.11	cm/s	10-1kHz
9	2025-10-06 08:32:50	Vrms	0.09	cm/s	10-1kHz
10	2025-10-06 08:32:51	Vrms	0.09	cm/s	10-1kHz
11	2025-10-06 08:32:52	Vrms	0.09	cm/s	10-1kHz
12	2025-10-06 08:32:53	Vrms	0.09	cm/s	10-1kHz
13	2025-10-06 08:32:54	Vrms	0.09	cm/s	10-1kHz
14	2025-10-06 08:32:55	Vrms	0.11	cm/s	10-1kHz
15	2025-10-06 08:32:56	Vrms	0.10	cm/s	10-1kHz
16	2025-10-06 08:32:57	Vrms	0.10	cm/s	10-1kHz
17	2025-10-06 08:32:58	Vrms	0.09	cm/s	10-1kHz
18	2025-10-06 08:32:59	Vrms	0.09	cm/s	10-1kHz
19	2025-10-06 08:33:00	Vrms	0.09	cm/s	10-1kHz
20	2025-10-06 08:33:01	Vrms	0.09	cm/s	10-1kHz
21	2025-10-06 08:33:02	Vrms	0.09	cm/s	10-1kHz
22	2025-10-06 08:33:03	Vrms	0.09	cm/s	10-1kHz
23	2025-10-06 08:33:04	Vrms	0.09	cm/s	10-1kHz
24	2025-10-06 08:33:05	Vrms	0.09	cm/s	10-1kHz
25	2025-10-06 08:33:06	Vrms	0.09	cm/s	10-1kHz
26	2025-10-06 08:33:07	Vrms	0.09	cm/s	10-1kHz
27	2025-10-06 08:33:08	Vrms	0.09	cm/s	10-1kHz
28	2025-10-06 08:33:09	Vrms	0.09	cm/s	10-1kHz



29	2025-10-06 08:33:10	Vrms	0.09	cm/s	10-1kHz
30	2025-10-06 08:33:11	Vrms	0.11	cm/s	10-1kHz
31	2025-10-06 08:33:12	Vrms	0.11	cm/s	10-1kHz
32	2025-10-06 08:33:13	Vrms	0.09	cm/s	10-1kHz
33	2025-10-06 08:33:14	Vrms	0.15	cm/s	10-1kHz
34	2025-10-06 08:33:15	Vrms	0.15	cm/s	10-1kHz
35	2025-10-06 08:33:16	Vrms	0.13	cm/s	10-1kHz
36	2025-10-06 08:33:17	Vrms	0.12	cm/s	10-1kHz
37	2025-10-06 08:33:18	Vrms	0.12	cm/s	10-1kHz
38	2025-10-06 08:33:19	Vrms	0.09	cm/s	10-1kHz
39	2025-10-06 08:33:20	Vrms	0.09	cm/s	10-1kHz
40	2025-10-06 08:33:21	Vrms	0.11	cm/s	10-1kHz
41	2025-10-06 08:33:22	Vrms	0.09	cm/s	10-1kHz
42	2025-10-06 08:33:23	Vrms	0.09	cm/s	10-1kHz
43	2025-10-06 08:33:24	Vrms	0.09	cm/s	10-1kHz
44	2025-10-06 08:33:25	Vrms	0.09	cm/s	10-1kHz
45	2025-10-06 08:33:26	Vrms	0.09	cm/s	10-1kHz
46	2025-10-06 08:33:27	Vrms	0.09	cm/s	10-1kHz
47	2025-10-06 08:33:28	Vrms	0.09	cm/s	10-1kHz
48	2025-10-06 08:33:29	Vrms	0.09	cm/s	10-1kHz
49	2025-10-06 08:33:30	Vrms	0.10	cm/s	10-1kHz
50	2025-10-06 08:33:31	Vrms	0.09	cm/s	10-1kHz
51	2025-10-06 08:33:32	Vrms	0.09	cm/s	10-1kHz
52	2025-10-06 08:33:33	Vrms	0.09	cm/s	10-1kHz
53	2025-10-06 08:33:34	Vrms	0.10	cm/s	10-1kHz
54	2025-10-06 08:33:35	Vrms	0.10	cm/s	10-1kHz
55	2025-10-06 08:33:36	Vrms	0.10	cm/s	10-1kHz



56	2025-10-06 08:33:37	Vrms	0.09	cm/s	10-1kHz
57	2025-10-06 08:33:38	Vrms	0.09	cm/s	10-1kHz
58	2025-10-06 08:33:39	Vrms	0.09	cm/s	10-1kHz

Los valores registrados de velocidad RMS ( $V_{rms}$ ) oscilan entre 0.08 y 0.15 cm/s, con una media aproximada de 0.10 cm/s. Este nivel de vibración es extremadamente bajo, lo cual coincide con un estado óptimo de funcionamiento del motor.

Según la norma ISO 10816, para motores eléctricos de baja potencia (por debajo de 15 kW) y velocidades de rotación típicas entre 1500 y 3600 rpm, los valores aceptables se distribuyen en cuatro zonas:

- Zona A: vibraciones muy buenas ( $< 0.71$  mm/s o 0.071 cm/s)
- Zona B: condiciones aceptables (0.071 – 0.112 cm/s)
- Zona C: nivel de advertencia o deterioro ( $> 0.112$  cm/s)
- Zona D: condición inaceptable ( $> 0.18$  cm/s)

En este caso, la velocidad promedio de 0.10 cm/s sitúa al motor entre las zonas A y B, es decir, en un rango óptimo y saludable de operación. No existen indicios de desalineación, desbalance ni defectos en los rodamientos.

Este comportamiento corresponde al de una máquina estable, correctamente balanceada y con una estructura firme, lo que confirma que las vibraciones medidas se deben únicamente al funcionamiento electromecánico natural del equipo.

En la Fig. 29 se presenta la ilustración de velocidad del motor en buen estado al vacío.



**ELECTRICIDAD**

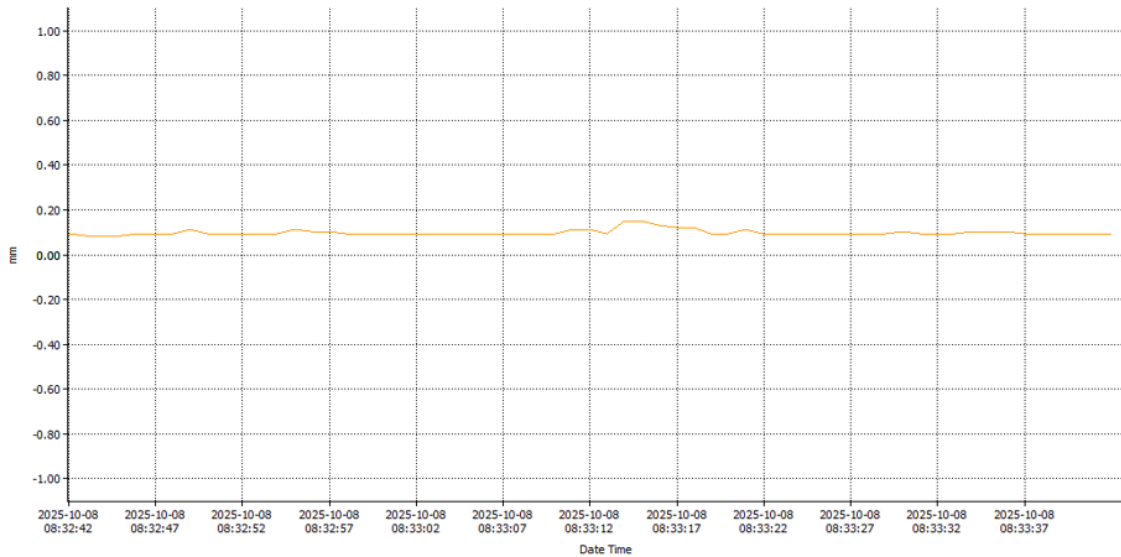


Fig 29. Ilustración de velocidad del motor en buen estado al vacío.

De acuerdo con la norma ISO 10816, esta medición se clasifica en la Zona A, lo cual representa un nivel de vibración muy bajo y seguro, porque el gráfico de velocidad presenta una línea estable y continua, con leves fluctuaciones dentro de un rango estrecho, sin picos abruptos ni variaciones significativas a lo largo del tiempo, esto señala una vibración controlada y constante, característica principal de un motor en excelente condición mecánica y sin esfuerzos externos.

El motor en buen estado y sin carga presenta una respuesta vibracional ideal, caracterizada por amplitudes pequeñas y regulares, garantizando que la máquina se encuentra dentro de los estándares internacionales de buen funcionamiento.

**Desplazamiento**

En la Tabla 5 se detalla la medición de desplazamiento del motor en buen estado al vacío.

**Tabla 4.** Tabla de medición de desplazamiento del motor en buen estado al vacío

No.	Date/Time	Function	Value	Unit	Frequency (Hz)
1	2025-10-06 08:35:12	Dp-p	.008	mm	10-500Hz
2	2025-10-06 08:35:13	Dp-p	.008	mm	10-500Hz
3	2025-10-06 08:35:14	Dp-p	.035	mm	10-500Hz
4	2025-10-06 08:35:15	Dp-p	.014	mm	10-500Hz
5	2025-10-06 08:35:16	Dp-p	.014	mm	10-500Hz



6	2025-10-06 08:35:17	Dp-p	.011	mm	10-500Hz
7	2025-10-06 08:35:18	Dp-p	.018	mm	10-500Hz
8	2025-10-06 08:35:19	Dp-p	.018	mm	10-500Hz
9	2025-10-06 08:35:20	Dp-p	.012	mm	10-500Hz
10	2025-10-06 08:35:21	Dp-p	.019	mm	10-500Hz
11	2025-10-06 08:35:22	Dp-p	.019	mm	10-500Hz
12	2025-10-06 08:35:23	Dp-p	.025	mm	10-500Hz
13	2025-10-06 08:35:24	Dp-p	.013	mm	10-500Hz
14	2025-10-06 08:35:25	Dp-p	.013	mm	10-500Hz
15	2025-10-06 08:35:26	Dp-p	.014	mm	10-500Hz
16	2025-10-06 08:35:27	Dp-p	.013	mm	10-500Hz
17	2025-10-06 08:35:28	Dp-p	.013	mm	10-500Hz
18	2025-10-06 08:35:29	Dp-p	.014	mm	10-500Hz
19	2025-10-06 08:35:30	Dp-p	.015	mm	10-500Hz
20	2025-10-06 08:35:31	Dp-p	.015	mm	10-500Hz
21	2025-10-06 08:35:32	Dp-p	.012	mm	10-500Hz
22	2025-10-06 08:35:33	Dp-p	.012	mm	10-500Hz
23	2025-10-06 08:35:34	Dp-p	.012	mm	10-500Hz
24	2025-10-06 08:35:35	Dp-p	.018	mm	10-500Hz
25	2025-10-06 08:35:36	Dp-p	.016	mm	10-500Hz
26	2025-10-06 08:35:37	Dp-p	.016	mm	10-500Hz
27	2025-10-06 08:35:38	Dp-p	.013	mm	10-500Hz
28	2025-10-06 08:35:39	Dp-p	.013	mm	10-500Hz
29	2025-10-06 08:35:40	Dp-p	.013	mm	10-500Hz
30	2025-10-06 08:35:41	Dp-p	.012	mm	10-500Hz
31	2025-10-06 08:35:42	Dp-p	.012	mm	10-500Hz
32	2025-10-06 08:35:43	Dp-p	.014	mm	10-500Hz
33	2025-10-06 08:35:44	Dp-p	.014	mm	10-500Hz
34	2025-10-06 08:35:45	Dp-p	.014	mm	10-500Hz
35	2025-10-06 08:35:46	Dp-p	.016	mm	10-500Hz
36	2025-10-06 08:35:47	Dp-p	.017	mm	10-500Hz
37	2025-10-06 08:35:48	Dp-p	.017	mm	10-500Hz
38	2025-10-06 08:35:49	Dp-p	.017	mm	10-500Hz
39	2025-10-06 08:35:50	Dp-p	.017	mm	10-500Hz
40	2025-10-06 08:35:51	Dp-p	.016	mm	10-500Hz
41	2025-10-06 08:35:52	Dp-p	.016	mm	10-500Hz



42	2025-10-06 08:35:53	Dp-p	.016	mm	10-500Hz
43	2025-10-06 08:35:54	Dp-p	.016	mm	10-500Hz
44	2025-10-06 08:35:55	Dp-p	.012	mm	10-500Hz
45	2025-10-06 08:35:56	Dp-p	.012	mm	10-500Hz
46	2025-10-06 08:35:57	Dp-p	.012	mm	10-500Hz
47	2025-10-06 08:35:58	Dp-p	.018	mm	10-500Hz
48	2025-10-06 08:35:59	Dp-p	.009	mm	10-500Hz
49	2025-10-06 08:36:00	Dp-p	.009	mm	10-500Hz
50	2025-10-06 08:36:01	Dp-p	.023	mm	10-500Hz
51	2025-10-06 08:36:02	Dp-p	.039	mm	10-500Hz
52	2025-10-06 08:36:03	Dp-p	.039	mm	10-500Hz
53	2025-10-06 08:36:04	Dp-p	.034	mm	10-500Hz
54	2025-10-06 08:36:05	Dp-p	.013	mm	10-500Hz
55	2025-10-06 08:36:06	Dp-p	.013	mm	10-500Hz
56	2025-10-06 08:36:07	Dp-p	.007	mm	10-500Hz
57	2025-10-06 08:36:08	Dp-p	.008	mm	10-500Hz
58	2025-10-06 08:36:09	Dp-p	.008	mm	10-500Hz
59	2025-10-06 08:36:10	Dp-p	.007	mm	10-500Hz
60	2025-10-06 08:36:11	Dp-p	.008	mm	10-500Hz

Los valores de desplazamiento pico a pico (Dp-p) registrados se encuentran en un rango entre 0.007 mm y 0.039 mm, con una media aproximada de 0.016 mm. Este nivel de desplazamiento es muy bajo, lo que indica una excelente estabilidad dinámica del motor y una correcta alineación del eje.

De acuerdo con la norma ISO 10816, para máquinas eléctricas de baja potencia (menores a 15 kW), las amplitudes de desplazamiento aceptables se ubican dentro de los siguientes márgenes:

- Zona A: < 0.02 mm → Condición excelente, sin riesgo.
- Zona B: 0.02 – 0.05 mm → Condición aceptable, operación normal.
- Zona C: 0.05 – 0.08 mm → Condición de advertencia, posible deterioro.
- Zona D: > 0.08 mm → Condición inaceptable, riesgo alto.

Con un valor promedio de 0.016 mm, el motor se ubica en la Zona A, lo cual confirma un estado mecánico óptimo.



Este comportamiento evidencia que el sistema de soporte y el rotor trabajan de manera estable, sin presencia de holguras, excentricidades o resonancias estructurales. Además, al operar sin carga, las fuerzas dinámicas y reacciones mecánicas son mínimas, contribuyendo a que el desplazamiento sea uniforme y controlado.

En la Fig. 30 se presenta la ilustración de desplazamiento del motor en buen estado al vacío.

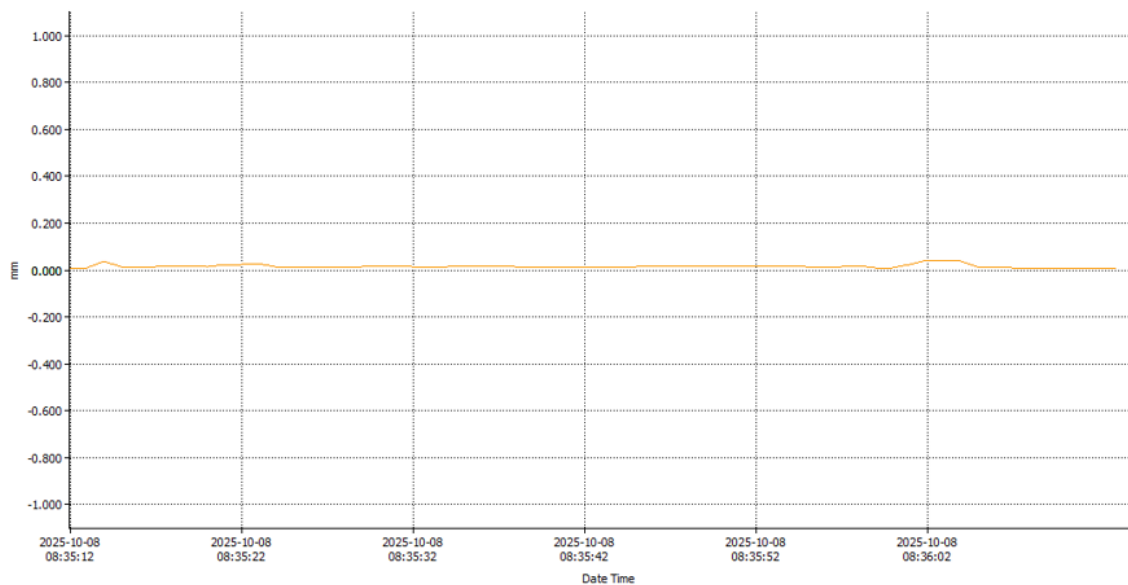


Fig 30. Ilustración de desplazamiento del motor en buen estado al vacío.

El gráfico podemos observar que el desplazamiento traza una línea con oscilaciones pequeñas y suaves, no posee variaciones significativas. Se verifica una leve dispersión entre 0.01 y 0.02 mm, correspondiente al movimiento natural del eje durante la rotación.

Se puede verificar que no existe comportamientos transitorios ni frecuencias anómalas, determinado que la máquina tiene un perfecto balanceo y no existe defectos de montaje.

Según los límites establecidos por la ISO 10816, el nivel de vibración registrado se clasifica claramente en la Zona A, es decir, en condiciones muy buenas para operación continua.

Este resultado demuestra que el motor en buen estado y sin carga presenta un desplazamiento insignificante, asociado a un funcionamiento estable y mecánicamente saludable, ideal como referencia para comparar con las otras condiciones de prueba.



#### 4.2.2 Motor en buen estado con carga

La norma ISO 10816 establece los límites aceptables de vibración para equipos rotativos, considerando variables como aceleración, velocidad y desplazamiento. La condición corresponde al comportamiento del motor cuando se encuentra en óptimas condiciones mecánicas y eléctricas, operando bajo carga, quiere decir que, el sistema trabaja dentro de sus parámetros nominales, mostrando vibraciones estables y de baja magnitud.

Para garantizar un funcionamiento seguro, eficiente y sin riesgo de daño mecánico, los niveles de vibración medidos se mantienen dentro del rango aceptable.

#### Aceleración

En la Tabla 6 se detalla la medición de aceleración del motor en buen estado con carga.

**Tabla 5.** Tabla de medición de aceleración del motor en buen estado con carga

No.	Date/Time	Function	Value	Unit	Frequency (Hz)
1	yyyy-07-31 12:29:11	Ap	1.1	m/S2	10-10kHz
2	yyyy-07-31 12:29:12	Ap	1.1	m/S2	10-10kHz
3	yyyy-07-31 12:29:13	Ap	1.8	m/S2	10-10kHz
4	yyyy-07-31 12:29:14	Ap	2.2	m/S2	10-10kHz
5	yyyy-07-31 12:29:15	Ap	2.2	m/S2	10-10kHz
6	yyyy-07-31 12:29:16	Ap	25.6	m/S2	10-10kHz
7	yyyy-07-31 12:29:17	Ap	36.6	m/S2	10-10kHz
8	yyyy-07-31 12:29:18	Ap	33.1	m/S2	10-10kHz
9	yyyy-07-31 12:29:19	Ap	25.8	m/S2	10-10kHz
10	yyyy-07-31 12:29:20	Ap	21.3	m/S2	10-10kHz
11	yyyy-07-31 12:29:21	Ap	26.5	m/S2	10-10kHz
12	yyyy-07-31 12:29:22	Ap	21.4	m/S2	10-10kHz
13	yyyy-07-31 12:29:23	Ap	19.7	m/S2	10-10kHz
14	yyyy-07-31 12:29:24	Ap	19.7	m/S2	10-10kHz
15	yyyy-07-31 12:29:25	Ap	19.7	m/S2	10-10kHz
16	yyyy-07-31 12:29:26	Ap	19.7	m/S2	10-10kHz
17	yyyy-07-31 12:29:27	Ap	19.7	m/S2	10-10kHz
18	yyyy-07-31 12:29:28	Ap	19.7	m/S2	10-10kHz



19	yyyy-07-31 12:29:29	Ap	19.7	m/S2	10-10kHz
20	yyyy-07-31 12:29:30	Ap	19.7	m/S2	10-10kHz
21	yyyy-07-31 12:29:31	Ap	19.7	m/S2	10-10kHz
22	yyyy-07-31 12:29:32	Ap	19.7	m/S2	10-10kHz
23	yyyy-07-31 12:29:33	Ap	19.7	m/S2	10-10kHz
24	yyyy-07-31 12:29:34	Ap	19.7	m/S2	10-10kHz
25	yyyy-07-31 12:29:35	Ap	19.7	m/S2	10-10kHz
26	yyyy-07-31 12:29:36	Ap	19.7	m/S2	10-10kHz
27	yyyy-07-31 12:29:37	Ap	19.7	m/S2	10-10kHz
28	yyyy-07-31 12:29:38	Ap	19.7	m/S2	10-10kHz
29	yyyy-07-31 12:29:39	Ap	19.7	m/S2	10-10kHz
30	yyyy-07-31 12:29:40	Ap	19.7	m/S2	10-10kHz
31	yyyy-07-31 12:29:41	Ap	19.7	m/S2	10-10kHz
32	yyyy-07-31 12:29:42	Ap	19.7	m/S2	10-10kHz
33	yyyy-07-31 12:29:43	Ap	19.7	m/S2	10-10kHz
34	yyyy-07-31 12:29:44	Ap	19.7	m/S2	10-10kHz
35	yyyy-07-31 12:29:45	Ap	19.7	m/S2	10-10kHz
36	yyyy-07-31 12:29:46	Ap	19.7	m/S2	10-10kHz
37	yyyy-07-31 12:29:47	Ap	19.7	m/S2	10-10kHz
38	yyyy-07-31 12:29:48	Ap	19.7	m/S2	10-10kHz
39	yyyy-07-31 12:29:49	Ap	19.7	m/S2	10-10kHz
40	yyyy-07-31 12:29:50	Ap	19.7	m/S2	10-10kHz
41	yyyy-07-31 12:29:51	Ap	19.7	m/S2	10-10kHz
42	yyyy-07-31 12:29:52	Ap	19.7	m/S2	10-10kHz
43	yyyy-07-31 12:29:53	Ap	19.7	m/S2	10-10kHz
44	yyyy-07-31 12:29:54	Ap	19.7	m/S2	10-10kHz
45	yyyy-07-31 12:29:55	Ap	19.7	m/S2	10-10kHz
46	yyyy-07-31 12:29:56	Ap	19.7	m/S2	10-10kHz
47	yyyy-07-31 12:29:57	Ap	19.7	m/S2	10-10kHz
48	yyyy-07-31 12:29:58	Ap	19.7	m/S2	10-10kHz
49	yyyy-07-31 12:29:59	Ap	19.7	m/S2	10-10kHz
50	yyyy-07-31 12:29:60	Ap	19.7	m/S2	10-10kHz
51	yyyy-07-31 12:30:01	Ap	19.7	m/S2	10-10kHz
52	yyyy-07-31 12:30:02	Ap	19.7	m/S2	10-10kHz
53	yyyy-07-31 12:30:03	Ap	19.7	m/S2	10-10kHz
54	yyyy-07-31 12:30:04	Ap	19.5	m/S2	10-10kHz



55	yyyy-07-31 12:30:05	Ap	9.6	m/S2	10-10kHz
56	yyyy-07-31 12:30:06	Ap	0.6	m/S2	10-10kHz
57	yyyy-07-31 12:30:07	Ap	0	m/S2	10-10kHz
58	yyyy-07-31 12:30:08	Ap	0	m/S2	10-10kHz
59	yyyy-07-31 12:30:09	Ap	0	m/S2	10-10kHz
60	yyyy-07-31 12:30:10	Ap	0	m/S2	10-10kHz

Los valores registrados de aceleración (Ap) presentan un rango entre 1.1 m/s<sup>2</sup> y 36.6 m/s<sup>2</sup>, evidenciando un comportamiento general estable. Se observan picos puntuales, especialmente en 25.6 m/s<sup>2</sup> y 36.6 m/s<sup>2</sup>, que pueden estar asociados a transitorios al inicio de la carga o leves resonancias del sistema, sin representar una condición crítica.

La norma ISO 10816 establece que los motores eléctricos de baja potencia en buen estado su aceleración debe establecerse por debajo de los 50 m/s<sup>2</sup>, los datos obtenidos están dentro del rango aceptable de vibración. El promedio se encuentra aproximadamente entre 20 y 25 m/s<sup>2</sup>, señalando que el motor mantiene una operación estable, sin presencia de desequilibrios, desalineaciones o defectos en los rodamientos.

En la Fig. 31 se presenta la ilustración de aceleración del motor en buen estado con carga.

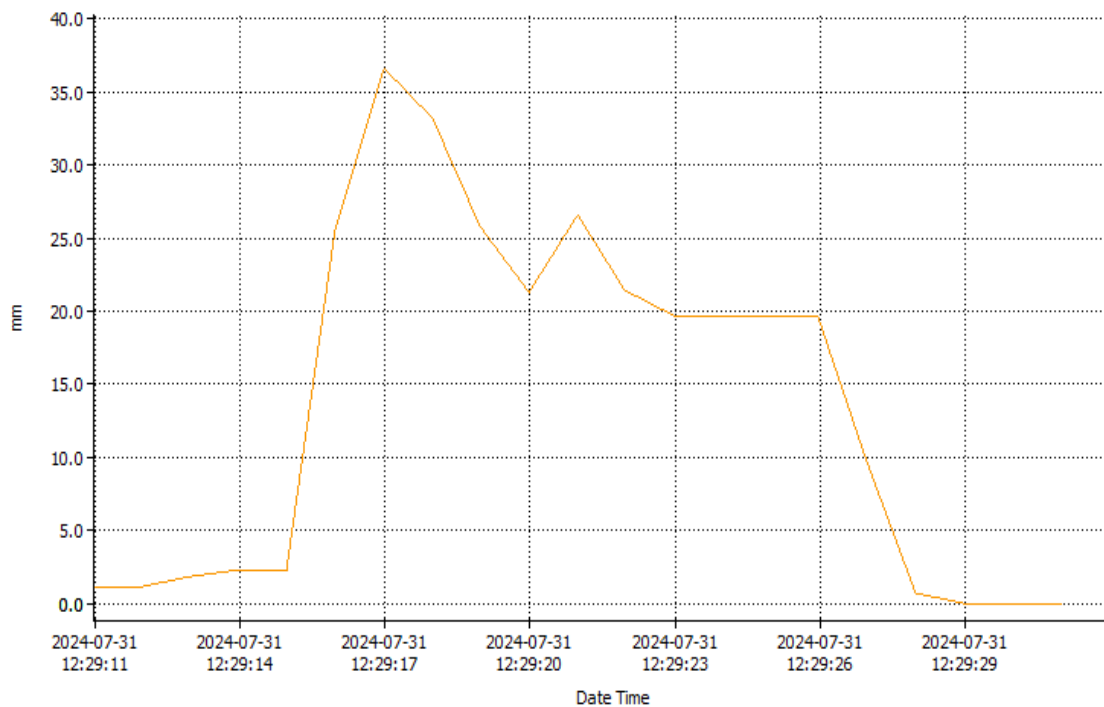


Fig 31. Ilustración de aceleración del motor en buen estado con carga.



El gráfico presenta una curva con incremento progresivo al aplicar carga, obteniendo su máximo en torno a  $36.6 \text{ m/s}^2$ , para estabilizarse en valores constantes. No presenta picos anómalos ni vibraciones irregulares las cuales son indicativos de fallas mecánicas o fallas estructurales. Conforme a la norma ISO 10816, el comportamiento gráfico confirma que el motor se encuentra en condiciones normales de funcionamiento, presentando niveles de vibración acordes con un estado mecánico saludable.

### Velocidad

En la Tabla 7 se detalla la medición de la velocidad del motor en buen estado con carga.

**Tabla 6.** Tabla de medición de velocidad del motor en buen estado con carga

No.	Date/Time	Function	Value	Unit	Frequency (Hz)
1	yyyy-07-31 12:32:23	Vrms	0.13	cm/s	10-1kHz
2	yyyy-07-31 12:32:24	Vrms	0.13	cm/s	10-1kHz
3	yyyy-07-31 12:32:25	Vrms	0.13	cm/s	10-1kHz
4	yyyy-07-31 12:32:26	Vrms	1.14	cm/s	10-1kHz
5	yyyy-07-31 12:32:27	Vrms	1.13	cm/s	10-1kHz
6	yyyy-07-31 12:32:28	Vrms	1.13	cm/s	10-1kHz
7	yyyy-07-31 12:32:29	Vrms	0.03	cm/s	10-1kHz
8	yyyy-07-31 12:32:30	Vrms	0.03	cm/s	10-1kHz
9	yyyy-07-31 12:32:31	Vrms	0.03	cm/s	10-1kHz
10	yyyy-07-31 12:32:32	Vrms	0.62	cm/s	10-1kHz
11	yyyy-07-31 12:32:33	Vrms	0.68	cm/s	10-1kHz
12	yyyy-07-31 12:32:34	Vrms	0.68	cm/s	10-1kHz
13	yyyy-07-31 12:32:35	Vrms	0.69	cm/s	10-1kHz
14	yyyy-07-31 12:32:36	Vrms	0.69	cm/s	10-1kHz
15	yyyy-07-31 12:32:37	Vrms	0.66	cm/s	10-1kHz
16	yyyy-07-31 12:32:38	Vrms	0.51	cm/s	10-1kHz
17	yyyy-07-31 12:32:39	Vrms	0.51	cm/s	10-1kHz
18	yyyy-07-31 12:32:40	Vrms	0.83	cm/s	10-1kHz
19	yyyy-07-31 12:32:41	Vrms	1.17	cm/s	10-1kHz
20	yyyy-07-31 12:32:42	Vrms	1.17	cm/s	10-1kHz
21	yyyy-07-31 12:32:43	Vrms	0.62	cm/s	10-1kHz
22	yyyy-07-31 12:32:44	Vrms	0.68	cm/s	10-1kHz
23	yyyy-07-31 12:32:45	Vrms	0.68	cm/s	10-1kHz



24	yyyy-07-31 12:32:46	Vrms	0.69	cm/s	10-1kHz
25	yyyy-07-31 12:32:47	Vrms	0.69	cm/s	10-1kHz
26	yyyy-07-31 12:32:48	Vrms	0.66	cm/s	10-1kHz
27	yyyy-07-31 12:32:49	Vrms	0.51	cm/s	10-1kHz
28	yyyy-07-31 12:32:50	Vrms	0.51	cm/s	10-1kHz
29	yyyy-07-31 12:32:51	Vrms	0.83	cm/s	10-1kHz
30	yyyy-07-31 12:32:52	Vrms	1.17	cm/s	10-1kHz
31	yyyy-07-31 12:32:53	Vrms	1.17	cm/s	10-1kHz
32	yyyy-07-31 12:32:54	Vrms	0.62	cm/s	10-1kHz
33	yyyy-07-31 12:32:55	Vrms	0.68	cm/s	10-1kHz
34	yyyy-07-31 12:32:56	Vrms	0.68	cm/s	10-1kHz
35	yyyy-07-31 12:32:57	Vrms	0.69	cm/s	10-1kHz
36	yyyy-07-31 12:32:58	Vrms	0.69	cm/s	10-1kHz
37	yyyy-07-31 12:32:59	Vrms	0.66	cm/s	10-1kHz
38	yyyy-07-31 12:32:60	Vrms	0.51	cm/s	10-1kHz
39	yyyy-07-31 12:33:01	Vrms	0.51	cm/s	10-1kHz
40	yyyy-07-31 12:33:02	Vrms	0.83	cm/s	10-1kHz
41	yyyy-07-31 12:33:03	Vrms	1.17	cm/s	10-1kHz
42	yyyy-07-31 12:33:04	Vrms	1.17	cm/s	10-1kHz
43	yyyy-07-31 12:33:05	Vrms	0.62	cm/s	10-1kHz
44	yyyy-07-31 12:33:06	Vrms	0.68	cm/s	10-1kHz
45	yyyy-07-31 12:33:07	Vrms	0.68	cm/s	10-1kHz
46	yyyy-07-31 12:33:08	Vrms	0.69	cm/s	10-1kHz
47	yyyy-07-31 12:33:09	Vrms	0.69	cm/s	10-1kHz
48	yyyy-07-31 12:33:10	Vrms	0.66	cm/s	10-1kHz
49	yyyy-07-31 12:33:11	Vrms	0.51	cm/s	10-1kHz
50	yyyy-07-31 12:33:12	Vrms	0.51	cm/s	10-1kHz
51	yyyy-07-31 12:33:13	Vrms	0.83	cm/s	10-1kHz
52	yyyy-07-31 12:33:14	Vrms	1.17	cm/s	10-1kHz
53	yyyy-07-31 12:33:15	Vrms	1.17	cm/s	10-1kHz
54	yyyy-07-31 12:33:16	Vrms	1.17	cm/s	10-1kHz
55	yyyy-07-31 12:33:17	Vrms	1.17	cm/s	10-1kHz
56	yyyy-07-31 12:33:18	Vrms	1.17	cm/s	10-1kHz
57	yyyy-07-31 12:33:19	Vrms	0.26	cm/s	10-1kHz
58	yyyy-07-31 12:33:20	Vrms	0.19	cm/s	10-1kHz
59	yyyy-07-31 12:33:21	Vrms	0.19	cm/s	10-1kHz
60	yyyy-07-31 12:33:22	Vrms	0.04	cm/s	10-1kHz



Los valores de velocidad RMS registrados se mantienen entre 0.03 cm/s y 1.17 cm/s, con un promedio aproximado de 0.6 cm/s durante el funcionamiento estable. Este rango refleja una condición de baja vibración, típica de un motor en correcto estado mecánico, sin presencia de desbalance, desalineación o desgaste significativo.

Según la norma ISO 10816, los motores eléctricos de baja potencia y hasta 15 kW deben mantener niveles de vibración por debajo de 2.8 mm/s (0.28 cm/s) para obtener una condición excelente y hasta 4.5 mm/s (0.45 cm/s) para una condición aceptable. Los valores establecidos en la norma se enuncian en cm/s RMS, el nivel máximo de 1.17 cm/s (11.7 mm/s) señala que el motor trabaja con vibraciones moderadas, producto de la carga aplicada, pero sin exceder los límites de riesgo.

Las pequeñas fluctuaciones iniciales (0.03–0.13 cm/s) corresponden al arranque del motor, mientras que los valores más estables (0.6–1.1 cm/s) se observan cuando el equipo alcanza su régimen permanente. Esto confirma una respuesta adecuada del sistema ante la carga, manteniendo la velocidad de vibración en niveles seguros y controlados.

En la Fig. 32 se presenta la ilustración de la velocidad del motor en buen estado con carga.

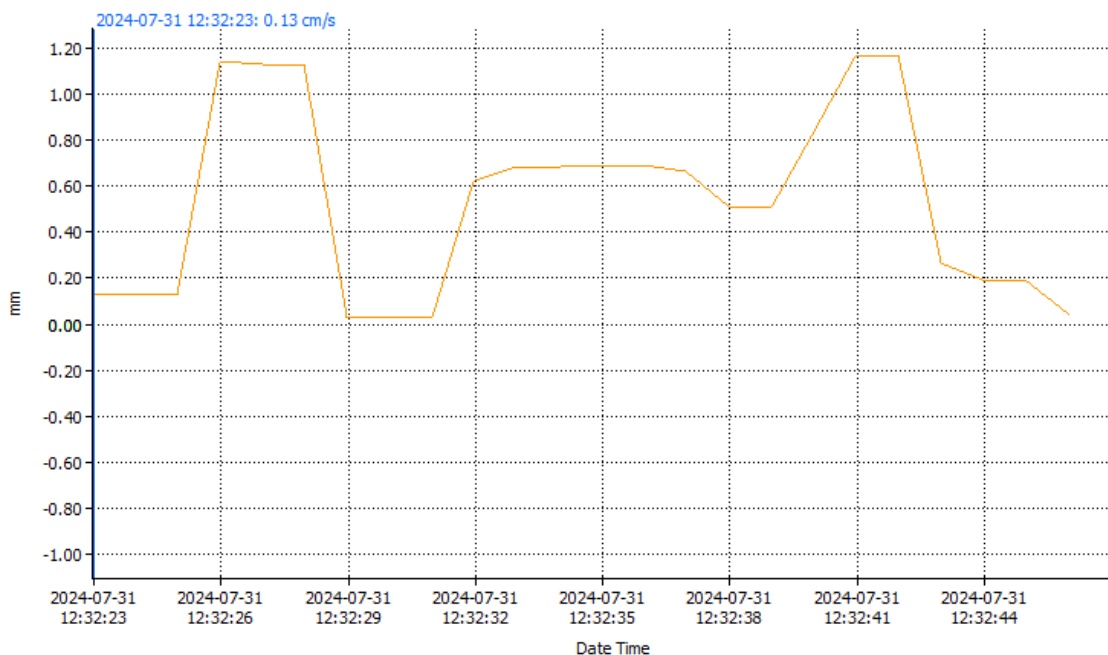


Fig 32. Ilustración de velocidad del motor en buen estado con carga.



En el gráfico de velocidad se observa una evolución progresiva y constante del nivel vibratorio a medida que el motor alcanza su velocidad nominal bajo carga. Se puede determinar que existe una operación equilibrada del rotor. Se estima un incremento inicial seguido por una meseta donde las lecturas permanecen constantes alrededor de 0.6 a 1.1 cm/s.

Según la norma ISO 10816, el patrón presente en el gráfico representa una máquina en condiciones mecánicas óptimas, con un comportamiento variable normal ante el esfuerzo de carga. No se identifican picos bruscos ni irregularidades que sugieran problemas en los rodamientos o el eje.

El motor presenta un estado vibratorio saludable, donde la velocidad medida confirma un funcionamiento estable, con niveles de vibración dentro de los límites recomendados para motores de baja potencia.

### Desplazamiento

En la Tabla 8 se detalla la medición del desplazamiento del motor en buen estado con carga.

**Tabla 7.** Tabla de medición de desplazamiento del motor en buen estado con carga

No.	Date/Time	Function	Value	Unit	Frequency (Hz)
1	yyyy-07-31 12:34:38	Dp-p	0.066	mm	10-500Hz
2	yyyy-07-31 12:34:39	Dp-p	0.066	mm	10-500Hz
3	yyyy-07-31 12:34:40	Dp-p	0.631	mm	10-500Hz
4	yyyy-07-31 12:34:41	Dp-p	0.631	mm	10-500Hz
5	yyyy-07-31 12:34:42	Dp-p	0.182	mm	10-500Hz
6	yyyy-07-31 12:34:43	Dp-p	0.003	mm	10-500Hz
7	yyyy-07-31 12:34:44	Dp-p	0.004	mm	10-500Hz
8	yyyy-07-31 12:34:45	Dp-p	0.004	mm	10-500Hz
9	yyyy-07-31 12:34:46	Dp-p	0.035	mm	10-500Hz
10	yyyy-07-31 12:34:47	Dp-p	0.035	mm	10-500Hz
11	yyyy-07-31 12:34:48	Dp-p	0.066	mm	10-500Hz
12	yyyy-07-31 12:34:49	Dp-p	0.066	mm	10-500Hz
13	yyyy-07-31 12:34:50	Dp-p	0.066	mm	10-500Hz
14	yyyy-07-31 12:34:51	Dp-p	0.002	mm	10-500Hz



15	yyyy-07-31 12:34:52	Dp-p	0.002	mm	10-500Hz
16	yyyy-07-31 12:34:53	Dp-p	0.002	mm	10-500Hz
17	yyyy-07-31 12:34:54	Dp-p	0.032	mm	10-500Hz
18	yyyy-07-31 12:34:55	Dp-p	0.032	mm	10-500Hz
19	yyyy-07-31 12:34:56	Dp-p	0.032	mm	10-500Hz
20	yyyy-07-31 12:34:57	Dp-p	0.032	mm	10-500Hz
21	yyyy-07-31 12:34:58	Dp-p	0.054	mm	10-500Hz
22	yyyy-07-31 12:34:59	Dp-p	0.066	mm	10-500Hz
23	yyyy-07-31 12:35:00	Dp-p	0.066	mm	10-500Hz
24	yyyy-07-31 12:35:01	Dp-p	0.066	mm	10-500Hz
25	yyyy-07-31 12:35:02	Dp-p	0.032	mm	10-500Hz
26	yyyy-07-31 12:35:03	Dp-p	0.032	mm	10-500Hz
27	yyyy-07-31 12:35:04	Dp-p	0.032	mm	10-500Hz
28	yyyy-07-31 12:35:05	Dp-p	0.032	mm	10-500Hz
29	yyyy-07-31 12:34:60	Dp-p	0.054	mm	10-500Hz
30	yyyy-07-31 12:34:61	Dp-p	0.066	mm	10-500Hz
31	yyyy-07-31 12:34:62	Dp-p	0.066	mm	10-500Hz
32	yyyy-07-31 12:34:63	Dp-p	0.066	mm	10-500Hz
33	yyyy-07-31 12:35:06	Dp-p	0.032	mm	10-500Hz
34	yyyy-07-31 12:35:07	Dp-p	0.032	mm	10-500Hz
35	yyyy-07-31 12:35:08	Dp-p	0.032	mm	10-500Hz
36	yyyy-07-31 12:35:09	Dp-p	0.032	mm	10-500Hz
37	yyyy-07-31 12:35:10	Dp-p	0.054	mm	10-500Hz
38	yyyy-07-31 12:35:11	Dp-p	0.066	mm	10-500Hz
39	yyyy-07-31 12:34:64	Dp-p	0.066	mm	10-500Hz
40	yyyy-07-31 12:34:65	Dp-p	0.066	mm	10-500Hz
41	yyyy-07-31 12:34:66	Dp-p	0.032	mm	10-500Hz
42	yyyy-07-31 12:34:67	Dp-p	0.032	mm	10-500Hz
43	yyyy-07-31 12:35:12	Dp-p	0.032	mm	10-500Hz
44	yyyy-07-31 12:35:13	Dp-p	0.032	mm	10-500Hz
45	yyyy-07-31 12:35:14	Dp-p	0.054	mm	10-500Hz
46	yyyy-07-31 12:35:15	Dp-p	0.066	mm	10-500Hz
47	yyyy-07-31 12:35:16	Dp-p	0.066	mm	10-500Hz
48	yyyy-07-31 12:35:17	Dp-p	0.066	mm	10-500Hz
49	yyyy-07-31 12:34:68	Dp-p	0.032	mm	10-500Hz
50	yyyy-07-31 12:34:69	Dp-p	0.032	mm	10-500Hz



51	yyyy-07-31 12:34:70	Dp-p	0.032	mm	10-500Hz
52	yyyy-07-31 12:34:71	Dp-p	0.032	mm	10-500Hz
53	yyyy-07-31 12:35:18	Dp-p	0.054	mm	10-500Hz
54	yyyy-07-31 12:35:19	Dp-p	0.066	mm	10-500Hz
55	yyyy-07-31 12:35:20	Dp-p	0.066	mm	10-500Hz
56	yyyy-07-31 12:35:21	Dp-p	0.066	mm	10-500Hz
57	yyyy-07-31 12:35:22	Dp-p	0.002	mm	10-500Hz
58	yyyy-07-31 12:35:23	Dp-p	0.002	mm	10-500Hz
59	yyyy-07-31 12:34:72	Dp-p	0.003	mm	10-500Hz
60	yyyy-07-31 12:34:73	Dp-p	0.002	mm	10-500Hz

Los valores registrados de desplazamiento pico a pico (Dp-p) se encuentran en un rango entre 0.002 mm y 0.631 mm, con un promedio general cercano a 0.07 mm, se verifica que no existe desbalances o aflojamientos estructurales. Los picos aislados de 0.631 mm y 0.182 mm corresponden posiblemente a transitorios de arranque o resonancias pequeñas que se producen por la interacción del rotor con la carga conectada, sin representar una condición anómala sostenida.

La norma ISO 10816 establece que la para motores de baja potencia deben mantenerse por debajo de 0.2 mm, se verifica desplazamientos aceptables. Dado que la mayor parte de los valores se mantiene muy por debajo de este umbral, se puede afirmar que el motor opera dentro de un régimen vibracional óptimo, indicando un alineamiento adecuado, rodamientos en buen estado y una correcta rigidez del sistema.

En la Fig. 33 se presenta la ilustración del desplazamiento del motor en buen estado con carga.

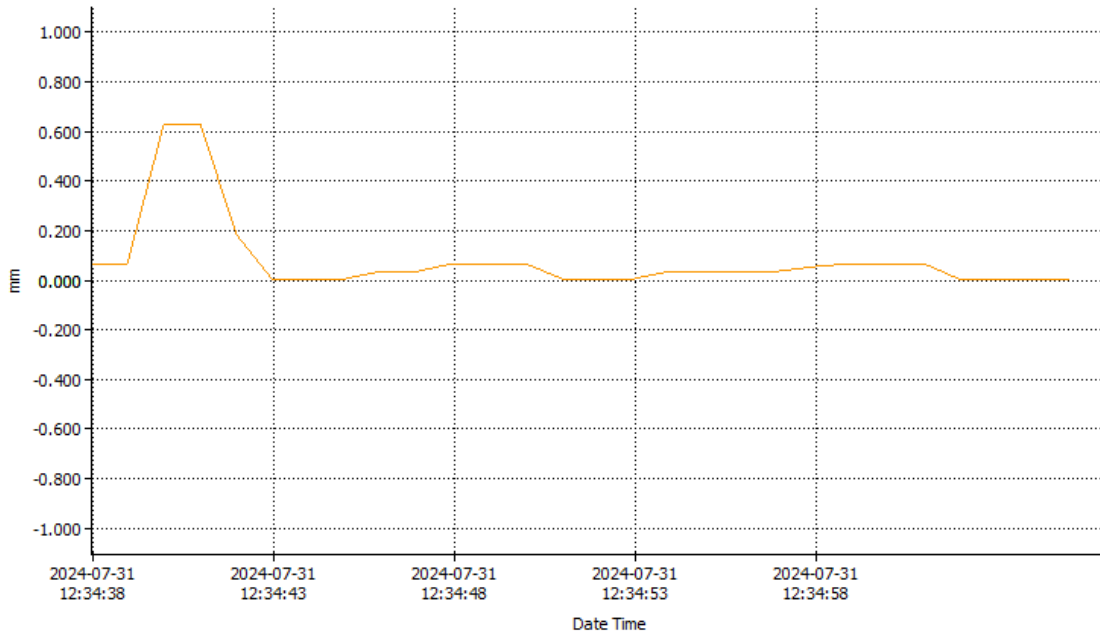


Fig 33. Ilustración de desplazamiento del motor en buen estado con carga.

El gráfico de desplazamiento no se observa tendencias crecientes ni picos repetitivos que sugieran deterioro progresivo o resonancias mecánicas, ya que se determinó una respuesta estable y de baja amplitud, que poseen ínfimas variaciones durante los primeros segundos de operación. A medida que el motor alcanza su régimen nominal, las amplitudes se estabilizan entre 0.03 mm y 0.07 mm, que representa una condición de vibración normal y controlada.

De acuerdo con la ISO 10816, este tipo de comportamiento gráfico corresponde a máquinas en excelente estado dinámico, donde el movimiento relativo del eje respecto al soporte es mínimo.

El motor en buen estado y con carga aplicada presenta desplazamientos completamente aceptables, evidenciando un funcionamiento equilibrado, estable y seguro desde el punto de vista vibracional.

**4.2.3 Motor con daño en el eje al vacío**

Esta medición corresponde al motor operando sin carga (al vacío), pero con un desgaste evidente en el eje, lo que permite evaluar el efecto directo de una holgura o desbalance mecánico moderado sin la influencia de un par resistente. La condición pretende



identificar imperfecciones geométricas del eje y su desequilibrio dinámico las cuales crean vibraciones en ausencia de esfuerzos externos. El desgaste en eje exhibe minúsculas oscilaciones axiales y radiales pese a ello el motor se mantiene estable.

Al realizar este tipo de análisis es importante para exteriorizar fallas incipientes previniendo así daños mayores en rodamientos o en el alineamiento del conjunto rotor-estátor.

### Aceleración

En la Tabla 9 se detalla la medición de la aceleración del motor con daño en el eje al vacío.

**Tabla 8.** Tabla de medición de aceleración del motor con daño en el eje al vacío

No.	Date/Time	Function	Value	Unit	Frequency (Hz)
1	yyyy-07-31 12:01:02	Ap	0.2	m/S2	10-10kHz
2	yyyy-07-31 12:01:03	Ap	0	m/S2	10-10kHz
3	yyyy-07-31 12:01:04	Ap	0.2	m/S2	10-10kHz
4	yyyy-07-31 12:01:05	Ap	1.1	m/S2	10-10kHz
5	yyyy-07-31 12:01:06	Ap	1.4	m/S2	10-10kHz
6	yyyy-07-31 12:01:07	Ap	1.4	m/S2	10-10kHz
7	yyyy-07-31 12:01:08	Ap	4.3	m/S2	10-10kHz
8	yyyy-07-31 12:01:09	Ap	23.7	m/S2	10-10kHz
9	yyyy-07-31 12:01:10	Ap	23.9	m/S2	10-10kHz
10	yyyy-07-31 12:01:11	Ap	16.6	m/S2	10-10kHz
11	yyyy-07-31 12:01:12	Ap	25.5	m/S2	10-10kHz
12	yyyy-07-31 12:01:13	Ap	30.8	m/S2	10-10kHz
13	yyyy-07-31 12:01:14	Ap	30.6	m/S2	10-10kHz
14	yyyy-07-31 12:01:15	Ap	28.7	m/S2	10-10kHz
15	yyyy-07-31 12:01:16	Ap	26.8	m/S2	10-10kHz
16	yyyy-07-31 12:01:17	Ap	25.5	m/S2	10-10kHz
17	yyyy-07-31 12:01:18	Ap	20	m/S2	10-10kHz
18	yyyy-07-31 12:01:19	Ap	24.4	m/S2	10-10kHz
19	yyyy-07-31 12:01:20	Ap	24.5	m/S2	10-10kHz
20	yyyy-07-31 12:01:21	Ap	26.9	m/S2	10-10kHz
21	yyyy-07-31 12:01:22	Ap	23.1	m/S2	10-10kHz



22	yyyy-07-31 12:01:23	Ap	23.9	m/S2	10-10kHz
23	yyyy-07-31 12:01:24	Ap	18.4	m/S2	10-10kHz
24	yyyy-07-31 12:01:25	Ap	22.9	m/S2	10-10kHz
25	yyyy-07-31 12:01:26	Ap	24.7	m/S2	10-10kHz
26	yyyy-07-31 12:01:27	Ap	23.1	m/S2	10-10kHz
27	yyyy-07-31 12:01:28	Ap	21.8	m/S2	10-10kHz
28	yyyy-07-31 12:01:29	Ap	22.7	m/S2	10-10kHz
29	yyyy-07-31 12:01:30	Ap	22.7	m/S2	10-10kHz
30	yyyy-07-31 12:01:31	Ap	26.2	m/S2	10-10kHz
31	yyyy-07-31 12:01:32	Ap	23	m/S2	10-10kHz
32	yyyy-07-31 12:01:33	Ap	23.1	m/S2	10-10kHz
33	yyyy-07-31 12:01:34	Ap	19.1	m/S2	10-10kHz
34	yyyy-07-31 12:01:35	Ap	19.9	m/S2	10-10kHz
35	yyyy-07-31 12:01:36	Ap	18.1	m/S2	10-10kHz
36	yyyy-07-31 12:01:37	Ap	18	m/S2	10-10kHz
37	yyyy-07-31 12:01:38	Ap	16.7	m/S2	10-10kHz
38	yyyy-07-31 12:01:39	Ap	16	m/S2	10-10kHz
39	yyyy-07-31 12:01:40	Ap	16.8	m/S2	10-10kHz
40	yyyy-07-31 12:01:41	Ap	13.9	m/S2	10-10kHz
41	yyyy-07-31 12:01:42	Ap	17.6	m/S2	10-10kHz
42	yyyy-07-31 12:01:43	Ap	14.8	m/S2	10-10kHz
43	yyyy-07-31 12:01:44	Ap	13.8	m/S2	10-10kHz
44	yyyy-07-31 12:01:45	Ap	13.8	m/S2	10-10kHz
45	yyyy-07-31 12:01:46	Ap	13.8	m/S2	10-10kHz
46	yyyy-07-31 12:01:47	Ap	13.7	m/S2	10-10kHz
47	yyyy-07-31 12:01:48	Ap	14.8	m/S2	10-10kHz
48	yyyy-07-31 12:01:49	Ap	14.6	m/S2	10-10kHz
49	yyyy-07-31 12:01:50	Ap	14	m/S2	10-10kHz
50	yyyy-07-31 12:01:51	Ap	14.8	m/S2	10-10kHz
51	yyyy-07-31 12:01:52	Ap	14.8	m/S2	10-10kHz
52	yyyy-07-31 12:01:53	Ap	14.8	m/S2	10-10kHz
53	yyyy-07-31 12:01:54	Ap	14.8	m/S2	10-10kHz
54	yyyy-07-31 12:01:55	Ap	14.8	m/S2	10-10kHz
55	yyyy-07-31 12:01:56	Ap	14.8	m/S2	10-10kHz
56	yyyy-07-31 12:01:57	Ap	14.8	m/S2	10-10kHz
57	yyyy-07-31 12:01:58	Ap	9.5	m/S2	10-10kHz



58	yyyy-07-31 12:01:59	Ap	0	m/S2	10-10kHz
59	yyyy-07-31 12:01:60	Ap	0	m/S2	10-10kHz
60	yyyy-07-31 12:02:01	Ap	0	m/S2	10-10kHz

A partir de los registros obtenidos, los valores de aceleración oscilaron entre 0.0 y 30.8 m/s<sup>2</sup>, con un promedio de aproximadamente 19.2 m/s<sup>2</sup>.

Se observa que, al inicio de la medición, las amplitudes son bajas (por debajo de 2 m/s<sup>2</sup>), pero conforme el motor alcanza velocidad nominal, las aceleraciones aumentan progresivamente hasta estabilizarse entre 20 y 26 m/s<sup>2</sup>, con picos máximos de 30.8 m/s<sup>2</sup>.

Según la norma ISO 10816-3, los valores de aceleración superiores a 10 m/s<sup>2</sup> establece una condición de advertencia, que señala la presencia de un desequilibrio o desalineación moderada. En el presente estudio, el eje desgastado genera vibraciones de carácter periódico e irregular, propias de una holgura mecánica que altera el movimiento centrado del rotor.

Los valores entre 14 y 9.5 m/s<sup>2</sup> establecen una disminución del régimen o amortiguamiento de la vibración el cual está presente en las pruebas sin carga cuando las fuerzas externas son pequeñas. Sin embargo, el promedio general aún se considera alto para un motor sin carga, lo que confirma que el desgaste del eje afecta directamente la estabilidad dinámica del sistema.

En la Fig. 34 se presenta la ilustración de la aceleración del motor con daño en el eje al vacío.





**Tabla 9.** Tabla de medición de velocidad del motor con daño en el eje al vacío

No.	Date/Time	Function	Value	Unit	Frequency (Hz)
1	yyyy-07-31 12:09:19	Vrms	0.02	cm/s	10-1kHz
2	yyyy-07-31 12:09:20	Vrms	0.02	cm/s	10-1kHz
3	yyyy-07-31 12:09:21	Vrms	0.43	cm/s	10-1kHz
4	yyyy-07-31 12:09:22	Vrms	1.14	cm/s	10-1kHz
5	yyyy-07-31 12:09:23	Vrms	1.11	cm/s	10-1kHz
6	yyyy-07-31 12:09:24	Vrms	1.11	cm/s	10-1kHz
7	yyyy-07-31 12:09:25	Vrms	0.01	cm/s	10-1kHz
8	yyyy-07-31 12:09:26	Vrms	0.01	cm/s	10-1kHz
9	yyyy-07-31 12:09:27	Vrms	0.01	cm/s	10-1kHz
10	yyyy-07-31 12:09:28	Vrms	0.28	cm/s	10-1kHz
11	yyyy-07-31 12:09:29	Vrms	0.28	cm/s	10-1kHz
12	yyyy-07-31 12:09:30	Vrms	0.31	cm/s	10-1kHz
13	yyyy-07-31 12:09:31	Vrms	0.37	cm/s	10-1kHz
14	yyyy-07-31 12:09:32	Vrms	0.35	cm/s	10-1kHz
15	yyyy-07-31 12:09:33	Vrms	0.36	cm/s	10-1kHz
16	yyyy-07-31 12:09:34	Vrms	0.36	cm/s	10-1kHz
17	yyyy-07-31 12:09:35	Vrms	0.4	cm/s	10-1kHz
18	yyyy-07-31 12:09:36	Vrms	0.39	cm/s	10-1kHz
19	yyyy-07-31 12:09:37	Vrms	0.39	cm/s	10-1kHz
20	yyyy-07-31 12:09:38	Vrms	0.38	cm/s	10-1kHz
21	yyyy-07-31 12:09:39	Vrms	0.38	cm/s	10-1kHz
22	yyyy-07-31 12:09:40	Vrms	0.38	cm/s	10-1kHz
23	yyyy-07-31 12:09:41	Vrms	0.4	cm/s	10-1kHz
24	yyyy-07-31 12:09:42	Vrms	0.4	cm/s	10-1kHz
25	yyyy-07-31 12:09:43	Vrms	0.4	cm/s	10-1kHz
26	yyyy-07-31 12:09:44	Vrms	0.38	cm/s	10-1kHz
27	yyyy-07-31 12:09:45	Vrms	0.38	cm/s	10-1kHz
28	yyyy-07-31 12:09:46	Vrms	0.42	cm/s	10-1kHz
29	yyyy-07-31 12:09:47	Vrms	0.4	cm/s	10-1kHz
30	yyyy-07-31 12:09:48	Vrms	0.4	cm/s	10-1kHz
31	yyyy-07-31 12:09:49	Vrms	0.41	cm/s	10-1kHz
32	yyyy-07-31 12:09:50	Vrms	0.38	cm/s	10-1kHz
33	yyyy-07-31 12:09:51	Vrms	0.38	cm/s	10-1kHz
34	yyyy-07-31 12:09:52	Vrms	0.38	cm/s	10-1kHz



35	yyyy-07-31 12:09:53	Vrms	0.38	cm/s	10-1kHz
36	yyyy-07-31 12:09:54	Vrms	0.38	cm/s	10-1kHz
37	yyyy-07-31 12:09:55	Vrms	0.4	cm/s	10-1kHz
38	yyyy-07-31 12:09:56	Vrms	0.4	cm/s	10-1kHz
39	yyyy-07-31 12:09:57	Vrms	0.38	cm/s	10-1kHz
40	yyyy-07-31 12:09:58	Vrms	0.39	cm/s	10-1kHz
41	yyyy-07-31 12:09:59	Vrms	0.39	cm/s	10-1kHz
42	yyyy-07-31 12:10:00	Vrms	0.38	cm/s	10-1kHz
43	yyyy-07-31 12:10:01	Vrms	0.36	cm/s	10-1kHz
44	yyyy-07-31 12:10:02	Vrms	0.36	cm/s	10-1kHz
45	yyyy-07-31 12:10:03	Vrms	0.87	cm/s	10-1kHz
46	yyyy-07-31 12:10:04	Vrms	0.39	cm/s	10-1kHz
47	yyyy-07-31 12:10:05	Vrms	0.39	cm/s	10-1kHz
48	yyyy-07-31 12:10:06	Vrms	0.38	cm/s	10-1kHz
49	yyyy-07-31 12:10:07	Vrms	0.36	cm/s	10-1kHz
50	yyyy-07-31 12:10:08	Vrms	0.36	cm/s	10-1kHz
51	yyyy-07-31 12:10:09	Vrms	0.87	cm/s	10-1kHz
52	yyyy-07-31 12:10:10	Vrms	0.39	cm/s	10-1kHz
53	yyyy-07-31 12:10:11	Vrms	0.39	cm/s	10-1kHz
54	yyyy-07-31 12:10:12	Vrms	0.38	cm/s	10-1kHz
55	yyyy-07-31 12:10:13	Vrms	0.36	cm/s	10-1kHz
56	yyyy-07-31 12:10:14	Vrms	0.36	cm/s	10-1kHz
57	yyyy-07-31 12:10:15	Vrms	0.87	cm/s	10-1kHz
58	yyyy-07-31 12:10:16	Vrms	1.32	cm/s	10-1kHz
59	yyyy-07-31 12:10:17	Vrms	1.32	cm/s	10-1kHz
60	yyyy-07-31 12:10:18	Vrms	1.32	cm/s	10-1kHz

En esta medición, los valores de velocidad RMS oscilaron entre 0.01 cm/s y 1.32 cm/s, con un promedio aproximado de 0.45 cm/s. Durante los primeros segundos se registraron valores muy bajos (0.02–0.43 cm/s), reflejando el inicio de la prueba y la ausencia de carga, por lo que la vibración era apenas perceptible. Los valores se estabilizan entre 0.35 y 0.40 cm/s, que determina una condición vibratoria moderada, aunque antes de estabilizarse presentan incrementos leves en la velocidad nominal.



Se pueden verificar la existencia de picos que oscilan entre 0.87 y 1.32 cm/s, probablemente producidos por una resonancia momentánea o una ligera inestabilidad en el eje desgastado. Según la norma ISO 10816-3, los niveles de vibración por velocidad inferiores a 1.8 cm/s RMS son aceptables para motores eléctricos en buen estado, especialmente cuando operan al vacío o en condiciones sin carga significativa.

En este caso, aunque los valores permanecen dentro de los límites permisibles, la presencia de picos aislados cercanos a 1.3 cm/s indica un inicio de desequilibrio o excentricidad en el eje, causado por su desgaste. Este tipo de comportamiento es característico de vibraciones de baja frecuencia, originadas por una ligera holgura en la unión del rotor con los cojinetes, lo cual provoca una desviación periódica del centro de rotación.

En la Fig. 35 se presenta la ilustración de la velocidad del motor con daño en el eje al vacío.

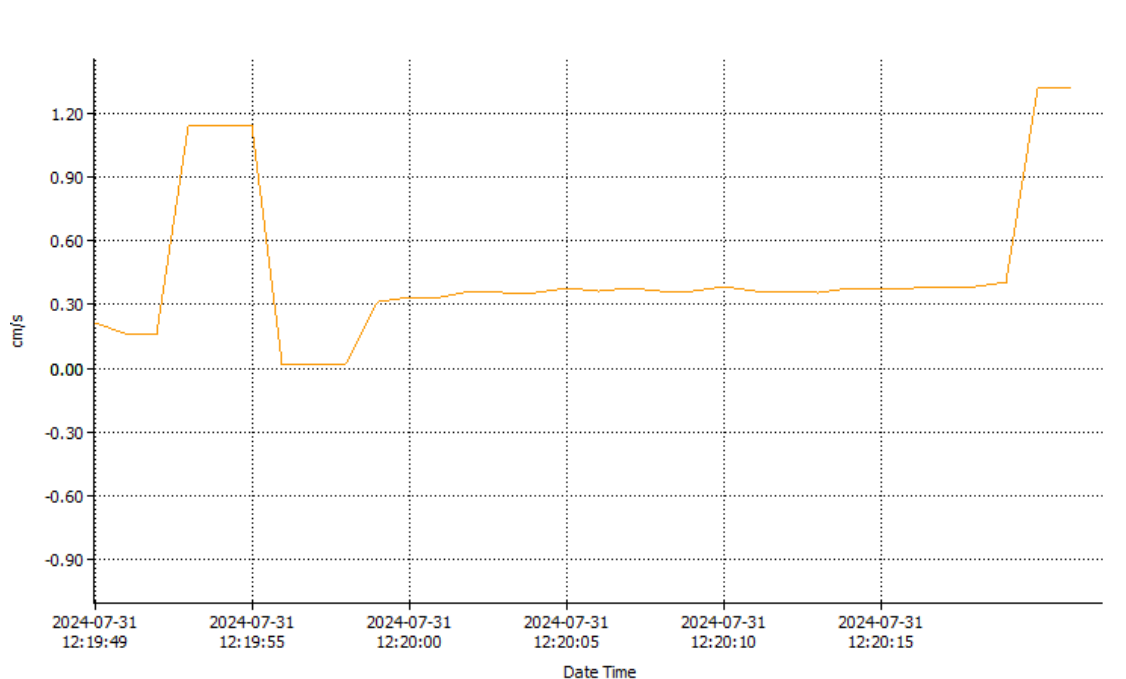


Fig 35.. Ilustración de velocidad del motor con daño en el eje al vacío.

En la gráfica se puede observar una tendencia estable con oscilaciones suaves, indicando que el motor mantiene un comportamiento relativamente controlado pese al desgaste del eje. Sin embargo, los incrementos puntuales de amplitud en la parte final del registro



sugieren inconsistencias en la rotación del eje, probablemente derivadas de una ligera desalineación.

### Desplazamiento

En la Tabla 11 se detalla la medición del desplazamiento del del motor con daño en el eje al vacío.

**Tabla 10.** Tabla de medición de desplazamiento del motor con daño en el eje al vacío

No.	Date/Time	Function	Value	Unit	Frequency (Hz)
1	yyyy-07-31 12:14:15	Dp-p	0.038	mm	10-500Hz
2	yyyy-07-31 12:14:16	Dp-p	0.057	mm	10-500Hz
3	yyyy-07-31 12:14:17	Dp-p	0.068	mm	10-500Hz
4	yyyy-07-31 12:14:18	Dp-p	0.068	mm	10-500Hz
5	yyyy-07-31 12:14:19	Dp-p	0.068	mm	10-500Hz
6	yyyy-07-31 12:14:20	Dp-p	0.002	mm	10-500Hz
7	yyyy-07-31 12:14:21	Dp-p	0.002	mm	10-500Hz
8	yyyy-07-31 12:14:22	Dp-p	0.002	mm	10-500Hz
9	yyyy-07-31 12:14:23	Dp-p	0.018	mm	10-500Hz
10	yyyy-07-31 12:14:24	Dp-p	0.018	mm	10-500Hz
11	yyyy-07-31 12:14:25	Dp-p	0.021	mm	10-500Hz
12	yyyy-07-31 12:14:26	Dp-p	0.021	mm	10-500Hz
13	yyyy-07-31 12:14:27	Dp-p	0.028	mm	10-500Hz
14	yyyy-07-31 12:14:28	Dp-p	0.028	mm	10-500Hz
15	yyyy-07-31 12:14:29	Dp-p	0.028	mm	10-500Hz
16	yyyy-07-31 12:14:30	Dp-p	0.022	mm	10-500Hz
17	yyyy-07-31 12:14:31	Dp-p	0.027	mm	10-500Hz
18	yyyy-07-31 12:14:32	Dp-p	0.027	mm	10-500Hz
19	yyyy-07-31 12:14:33	Dp-p	0.023	mm	10-500Hz
20	yyyy-07-31 12:14:34	Dp-p	0.024	mm	10-500Hz
21	yyyy-07-31 12:14:35	Dp-p	0.024	mm	10-500Hz
22	yyyy-07-31 12:14:36	Dp-p	0.021	mm	10-500Hz
23	yyyy-07-31 12:14:37	Dp-p	0.021	mm	10-500Hz
24	yyyy-07-31 12:14:38	Dp-p	0.024	mm	10-500Hz
25	yyyy-07-31 12:14:39	Dp-p	0.021	mm	10-500Hz
26	yyyy-07-31 12:14:40	Dp-p	0.021	mm	10-500Hz



27	yyyy-07-31 12:14:41	Dp-p	0.025	mm	10-500Hz
28	yyyy-07-31 12:14:42	Dp-p	0.025	mm	10-500Hz
29	yyyy-07-31 12:14:43	Dp-p	0.032	mm	10-500Hz
30	yyyy-07-31 12:14:44	Dp-p	0.022	mm	10-500Hz
31	yyyy-07-31 12:14:45	Dp-p	0.022	mm	10-500Hz
32	yyyy-07-31 12:14:46	Dp-p	0.063	mm	10-500Hz
33	yyyy-07-31 12:14:47	Dp-p	0.065	mm	10-500Hz
34	yyyy-07-31 12:14:48	Dp-p	0.073	mm	10-500Hz
35	yyyy-07-31 12:14:49	Dp-p	0.073	mm	10-500Hz
36	yyyy-07-31 12:14:50	Dp-p	0.032	mm	10-500Hz
37	yyyy-07-31 12:14:51	Dp-p	0.022	mm	10-500Hz
38	yyyy-07-31 12:14:52	Dp-p	0.022	mm	10-500Hz
39	yyyy-07-31 12:14:53	Dp-p	0.063	mm	10-500Hz
40	yyyy-07-31 12:14:54	Dp-p	0.065	mm	10-500Hz
41	yyyy-07-31 12:14:55	Dp-p	0.073	mm	10-500Hz
42	yyyy-07-31 12:14:56	Dp-p	0.073	mm	10-500Hz
43	yyyy-07-31 12:14:57	Dp-p	0.032	mm	10-500Hz
44	yyyy-07-31 12:14:58	Dp-p	0.022	mm	10-500Hz
45	yyyy-07-31 12:14:59	Dp-p	0.022	mm	10-500Hz
46	yyyy-07-31 12:14:60	Dp-p	0.063	mm	10-500Hz
47	yyyy-07-31 12:15:01	Dp-p	0.065	mm	10-500Hz
48	yyyy-07-31 12:15:02	Dp-p	0.073	mm	10-500Hz
49	yyyy-07-31 12:15:03	Dp-p	0.073	mm	10-500Hz
50	yyyy-07-31 12:15:04	Dp-p	0.032	mm	10-500Hz
51	yyyy-07-31 12:15:05	Dp-p	0.022	mm	10-500Hz
52	yyyy-07-31 12:15:06	Dp-p	0.022	mm	10-500Hz
53	yyyy-07-31 12:15:07	Dp-p	0.063	mm	10-500Hz
54	yyyy-07-31 12:15:08	Dp-p	0.065	mm	10-500Hz
55	yyyy-07-31 12:15:09	Dp-p	0.073	mm	10-500Hz
56	yyyy-07-31 12:15:10	Dp-p	0.073	mm	10-500Hz
57	yyyy-07-31 12:15:11	Dp-p	0.073	mm	10-500Hz
58	yyyy-07-31 12:15:12	Dp-p	0.073	mm	10-500Hz
59	yyyy-07-31 12:15:13	Dp-p	0	mm	10-500Hz
60	yyyy-07-31 12:15:14	Dp-p	0	mm	10-500Hz



En esta medición, los valores de desplazamiento pico a pico variaron entre 0.000 mm y 0.073 mm, con un promedio general de 0.028 mm, evidenciando una amplitud vibratoria baja en la mayor parte del registro. Al arrancar el motor se observa picos de 0.038 a 0.068 mm, al continuar con su proceso se produce una transición hasta alcanzar su régimen estable, al transcurrir entre 10 y 30 segundos, las lecturas se estabilizan en valores de 0.018 a 0.028 mm, mostrando un comportamiento casi constante, antes de finalizar el proceso se registran ligeros ampliaciones de desplazamiento, llegando a 0.065–0.073 mm, se puede decir que están relacionados con un efecto de desequilibrio o micro desalineación debido al desgaste del eje.

Al verificar valores bajos o nulos (como los 0.002 mm y 0.000 mm) posiblemente se deba a la pérdida momentánea de sensibilidad del sensor o al ruido eléctrico durante la toma de datos.

Según la norma ISO 20816, para motores eléctricos de baja potencia en condiciones normales, el desplazamiento pico a pico no debe incrementar los 0.1 mm en funcionamiento estable. Por lo cual los valores obtenidos se encuentran dentro del rango permitido. Se debe tomar en cuenta que el desgaste en el eje comienza a generar pequeñas variaciones, aunque es aceptable se debe considerar el dar un mantenimiento preventivo para evitar que las fallas generen grandes pérdidas.

En la Fig. 36 se presenta la ilustración del de desplazamiento del motor con daño en el eje al vacío.

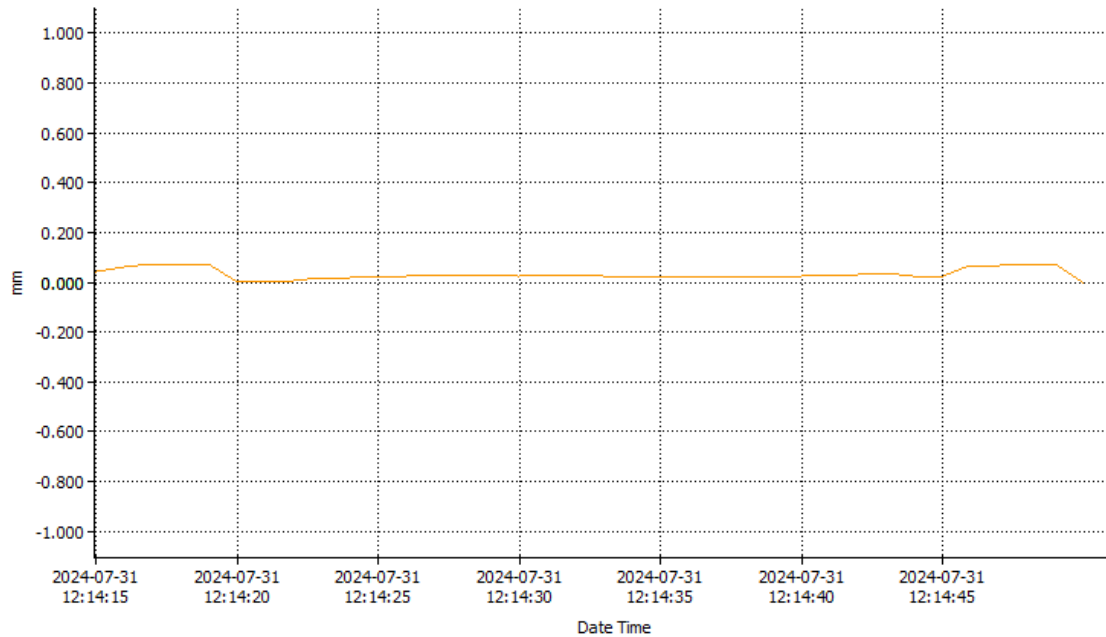


Fig 36. Ilustración de desplazamiento del motor con daño en el eje al vacío.

Se puede apreciar en el presente gráfico una tendencia general estable, con ligeros incrementos en los valores finales. Los picos más altos determinan el efecto del eje desgastado, pero sin alcanzar niveles críticos, la maquinaria puede seguir operando de forma segura su desviación geométrica del eje ya comienza a influir en el patrón vibratorio global del motor.

#### 4.3.4 Motor con daño en el eje con carga.

El comportamiento vibratorio del motor se evalúa con desgaste en el eje mientras opera bajo carga mecánica, con el fin de determinar si existen cambios significativos de vibración respecto al funcionamiento al vacío. Al presentar desgaste del eje, la alineación y su rigidez se ven afectadas, generando un incremento en la elongación de las vibraciones, especialmente bajo esfuerzo dinámico.

Cuando el sistema trabaja con mayores tensiones y fuerzas de reacción en los rodamientos y acoplamientos, la carga adicional amplifica los efectos del desgaste. Por ello, el análisis de la aceleración, velocidad y desplazamiento permite identificar la magnitud del deterioro y su impacto sobre la condición operativa del motor.



## Aceleración

En la Tabla 12 se detalla la medición de la de aceleración del motor con daño en el eje con carga.

**Tabla 11.** Tabla de medición de aceleración del motor con daño en el eje con carga

No.	Date/Time	Function	Value	Unit	Frequency (Hz)
1	yyyy-07-31 12:41:15	Ap	1.8	m/S2	10-10kHz
2	yyyy-07-31 12:41:16	Ap	1.8	m/S2	10-10kHz
3	yyyy-07-31 12:41:17	Ap	3.3	m/S2	10-10kHz
4	yyyy-07-31 12:41:18	Ap	3.3	m/S2	10-10kHz
5	yyyy-07-31 12:41:19	Ap	28.2	m/S2	10-10kHz
6	yyyy-07-31 12:41:20	Ap	47.5	m/S2	10-10kHz
7	yyyy-07-31 12:41:21	Ap	60.4	m/S2	10-10kHz
8	yyyy-07-31 12:41:22	Ap	75.6	m/S2	10-10kHz
9	yyyy-07-31 12:41:23	Ap	71.3	m/S2	10-10kHz
10	yyyy-07-31 12:41:24	Ap	73	m/S2	10-10kHz
11	yyyy-07-31 12:41:25	Ap	63.6	m/S2	10-10kHz
12	yyyy-07-31 12:41:26	Ap	65.7	m/S2	10-10kHz
13	yyyy-07-31 12:41:27	Ap	65.5	m/S2	10-10kHz
14	yyyy-07-31 12:41:28	Ap	69	m/S2	10-10kHz
15	yyyy-07-31 12:41:29	Ap	68.4	m/S2	10-10kHz
16	yyyy-07-31 12:41:30	Ap	78.7	m/S2	10-10kHz
17	yyyy-07-31 12:41:31	Ap	70.4	m/S2	10-10kHz
18	yyyy-07-31 12:41:32	Ap	61.9	m/S2	10-10kHz
19	yyyy-07-31 12:41:33	Ap	69.2	m/S2	10-10kHz
20	yyyy-07-31 12:41:34	Ap	55.8	m/S2	10-10kHz
21	yyyy-07-31 12:41:35	Ap	55.8	m/S2	10-10kHz
22	yyyy-07-31 12:41:36	Ap	63.6	m/S2	10-10kHz
23	yyyy-07-31 12:41:37	Ap	65.7	m/S2	10-10kHz
24	yyyy-07-31 12:41:38	Ap	65.5	m/S2	10-10kHz
25	yyyy-07-31 12:41:39	Ap	69	m/S2	10-10kHz
26	yyyy-07-31 12:41:40	Ap	68.4	m/S2	10-10kHz
27	yyyy-07-31 12:41:41	Ap	78.7	m/S2	10-10kHz
28	yyyy-07-31 12:41:42	Ap	70.4	m/S2	10-10kHz
29	yyyy-07-31 12:41:43	Ap	61.9	m/S2	10-10kHz



30	yyyy-07-31 12:41:44	Ap	69.2	m/S2	10-10kHz
31	yyyy-07-31 12:41:45	Ap	55.8	m/S2	10-10kHz
32	yyyy-07-31 12:41:46	Ap	55.8	m/S2	10-10kHz
33	yyyy-07-31 12:41:47	Ap	63.6	m/S2	10-10kHz
34	yyyy-07-31 12:41:48	Ap	65.7	m/S2	10-10kHz
35	yyyy-07-31 12:41:49	Ap	65.5	m/S2	10-10kHz
36	yyyy-07-31 12:41:50	Ap	69	m/S2	10-10kHz
37	yyyy-07-31 12:41:51	Ap	68.4	m/S2	10-10kHz
38	yyyy-07-31 12:41:52	Ap	78.7	m/S2	10-10kHz
39	yyyy-07-31 12:41:53	Ap	70.4	m/S2	10-10kHz
40	yyyy-07-31 12:41:54	Ap	61.9	m/S2	10-10kHz
41	yyyy-07-31 12:41:55	Ap	69.2	m/S2	10-10kHz
42	yyyy-07-31 12:41:56	Ap	55.8	m/S2	10-10kHz
43	yyyy-07-31 12:41:57	Ap	55.8	m/S2	10-10kHz
44	yyyy-07-31 12:41:58	Ap	55.8	m/S2	10-10kHz
45	yyyy-07-31 12:41:59	Ap	55.8	m/S2	10-10kHz
46	yyyy-07-31 12:41:60	Ap	55.8	m/S2	10-10kHz
47	yyyy-07-31 12:42:01	Ap	55.8	m/S2	10-10kHz
48	yyyy-07-31 12:42:02	Ap	55.8	m/S2	10-10kHz
49	yyyy-07-31 12:42:03	Ap	55.8	m/S2	10-10kHz
50	yyyy-07-31 12:42:04	Ap	1.5	m/S2	10-10kHz
51	yyyy-07-31 12:42:05	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
52	yyyy-07-31 12:42:06	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
53	yyyy-07-31 12:42:07	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
54	yyyy-07-31 12:42:08	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
55	yyyy-07-31 12:42:09	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
56	yyyy-07-31 12:42:10	Ap	0.7	m/S2	10-10kHz
57	yyyy-07-31 12:42:11	Ap	0.4	m/S2	10-10kHz
58	yyyy-07-31 12:42:12	Ap	0.4	m/S2	10-10kHz
59	yyyy-07-31 12:42:13	Ap	0.4	m/S2	10-10kHz
60	yyyy-07-31 12:42:14	Ap	0.4	m/S2	10-10kHz

Los valores registrados de aceleración oscilan entre  $0.4 \text{ m/s}^2$  y  $78.7 \text{ m/s}^2$ , con un promedio aproximado de  $45 \text{ m/s}^2$  durante la etapa de máxima carga. En los primeros segundos se observan valores bajos ( $1.8$  a  $3.3 \text{ m/s}^2$ ), correspondientes al arranque del sistema, seguidos de un incremento brusco que alcanza  $75.6 \text{ m/s}^2$ , reflejando una vibración intensa al



alcanzar la velocidad nominal con carga. Los valores se mantienen en un rango de 60 a 70  $m/s^2$ , siendo un indicativo del desgaste en el eje combinado con la carga aplicada

Probablemente se asocia al descenso de carga con la reducción del esfuerzo ya que los valores descendieron significativamente a valores menores de 1.5  $m/s^2$

La norma ISO 20816 establece que si existen niveles de aceleración superiores a 50  $m/s^2$  corresponden a vibración severa, los cuales provocan daños estructurales y fallas incipientes en componentes rotativos.

En este caso, los valores máximos registrados superan ampliamente este límite, clasificando el estado del motor como crítico. La causa principal se asocia al desgaste del eje, que genera un desbalance dinámico y variaciones radiales al transmitir la carga, incrementando la vibración global del sistema.

En la Fig. 37 se presenta la ilustración de la aceleración del motor con daño en el eje con carga.

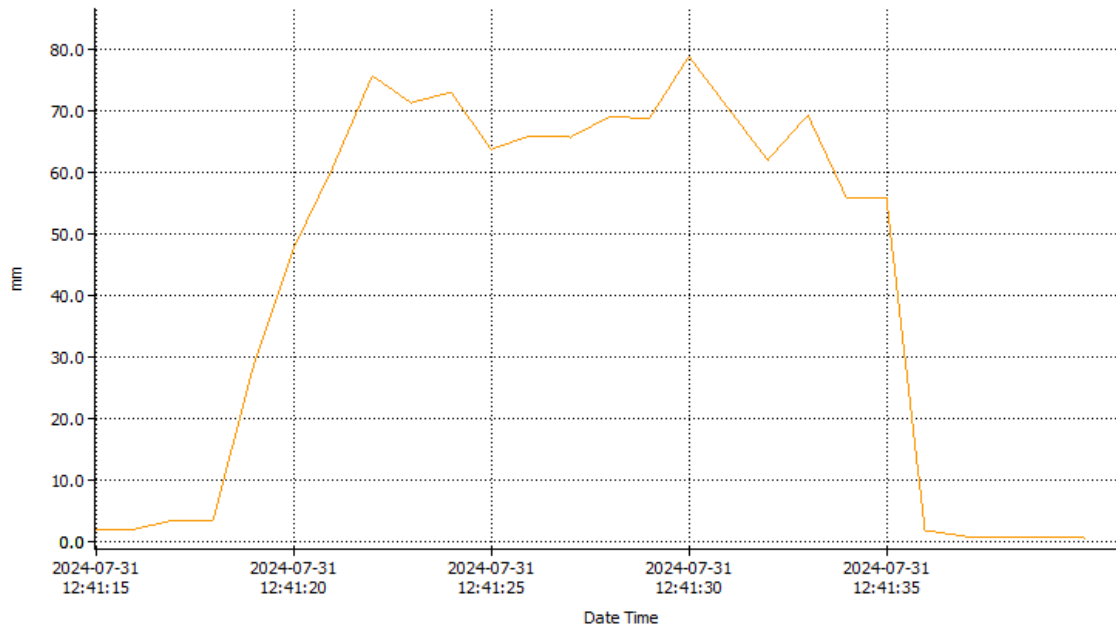


Fig 37. Ilustración de aceleración del motor con daño en el eje con carga.

Se puede verificar en el gráfico un ligero aumento de la aceleración en los primeros segundos, continuo de una zona de vibración estable pero elevada y posteriormente



llegando a la caída de datos al final. Un eje desgastado deteriorado pierde simetría que genera una alta frecuencia durante su funcionamiento.

El comportamiento evidenciado confirma que el motor opera con niveles críticos de vibración, requiriendo una inspección inmediata para evitar la propagación del daño hacia los rodamientos y acoplamientos, y prevenir una posible falla catastrófica del sistema rotativo.

### Velocidad

En la Tabla 13 se detalla la medición de la velocidad del motor con daño en el eje con carga.

**Tabla 12.** Tabla de medición de velocidad del motor con daño en el eje con carga

No.	Date/Time	Function	Value	Unit	Frequency (Hz)
1	yyyy-07-31 12:39:26	Vrms	1.09	cm/s	10-1kHz
2	yyyy-07-31 12:39:27	Vrms	0.02	cm/s	10-1kHz
3	yyyy-07-31 12:39:28	Vrms	0.02	cm/s	10-1kHz
4	yyyy-07-31 12:39:29	Vrms	0.02	cm/s	10-1kHz
5	yyyy-07-31 12:39:30	Vrms	1.09	cm/s	10-1kHz
6	yyyy-07-31 12:39:31	Vrms	1.09	cm/s	10-1kHz
7	yyyy-07-31 12:39:32	Vrms	1.09	cm/s	10-1kHz
8	yyyy-07-31 12:39:33	Vrms	3.03	cm/s	10-1kHz
9	yyyy-07-31 12:39:34	Vrms	1.9	cm/s	10-1kHz
10	yyyy-07-31 12:39:35	Vrms	1.9	cm/s	10-1kHz
11	yyyy-07-31 12:39:36	Vrms	2.11	cm/s	10-1kHz
12	yyyy-07-31 12:39:37	Vrms	2.14	cm/s	10-1kHz
13	yyyy-07-31 12:39:38	Vrms	2.17	cm/s	10-1kHz
14	yyyy-07-31 12:39:39	Vrms	2	cm/s	10-1kHz
15	yyyy-07-31 12:39:40	Vrms	2	cm/s	10-1kHz
16	yyyy-07-31 12:39:41	Vrms	4.99	cm/s	10-1kHz
17	yyyy-07-31 12:39:42	Vrms	4.99	cm/s	10-1kHz
18	yyyy-07-31 12:39:43	Vrms	8.03	cm/s	10-1kHz
19	yyyy-07-31 12:39:44	Vrms	1.09	cm/s	10-1kHz
20	yyyy-07-31 12:39:45	Vrms	1.09	cm/s	10-1kHz



21	yyyy-07-31 12:39:46	Vrms	1.09	cm/s	10-1kHz
22	yyyy-07-31 12:39:47	Vrms	3.03	cm/s	10-1kHz
23	yyyy-07-31 12:39:48	Vrms	1.9	cm/s	10-1kHz
24	yyyy-07-31 12:39:49	Vrms	1.9	cm/s	10-1kHz
25	yyyy-07-31 12:39:50	Vrms	2.11	cm/s	10-1kHz
26	yyyy-07-31 12:39:51	Vrms	2.14	cm/s	10-1kHz
27	yyyy-07-31 12:39:52	Vrms	2.17	cm/s	10-1kHz
28	yyyy-07-31 12:39:53	Vrms	2	cm/s	10-1kHz
29	yyyy-07-31 12:39:54	Vrms	2	cm/s	10-1kHz
30	yyyy-07-31 12:39:55	Vrms	4.99	cm/s	10-1kHz
31	yyyy-07-31 12:39:56	Vrms	4.99	cm/s	10-1kHz
32	yyyy-07-31 12:39:57	Vrms	8.03	cm/s	10-1kHz
33	yyyy-07-31 12:39:58	Vrms	1.09	cm/s	10-1kHz
34	yyyy-07-31 12:39:59	Vrms	1.09	cm/s	10-1kHz
35	yyyy-07-31 12:39:60	Vrms	1.09	cm/s	10-1kHz
36	yyyy-07-31 12:40:01	Vrms	3.03	cm/s	10-1kHz
37	yyyy-07-31 12:40:02	Vrms	1.9	cm/s	10-1kHz
38	yyyy-07-31 12:40:03	Vrms	1.9	cm/s	10-1kHz
39	yyyy-07-31 12:40:04	Vrms	2.11	cm/s	10-1kHz
40	yyyy-07-31 12:40:05	Vrms	2.14	cm/s	10-1kHz
41	yyyy-07-31 12:40:06	Vrms	2.17	cm/s	10-1kHz
42	yyyy-07-31 12:40:07	Vrms	2	cm/s	10-1kHz
43	yyyy-07-31 12:40:08	Vrms	2	cm/s	10-1kHz
44	yyyy-07-31 12:40:09	Vrms	4.99	cm/s	10-1kHz
45	yyyy-07-31 12:40:10	Vrms	4.99	cm/s	10-1kHz
46	yyyy-07-31 12:40:11	Vrms	8.03	cm/s	10-1kHz
47	yyyy-07-31 12:40:12	Vrms	1.09	cm/s	10-1kHz
48	yyyy-07-31 12:40:13	Vrms	1.09	cm/s	10-1kHz
49	yyyy-07-31 12:40:14	Vrms	1.09	cm/s	10-1kHz
50	yyyy-07-31 12:40:15	Vrms	3.03	cm/s	10-1kHz
51	yyyy-07-31 12:40:16	Vrms	1.9	cm/s	10-1kHz
52	yyyy-07-31 12:40:17	Vrms	1.9	cm/s	10-1kHz
53	yyyy-07-31 12:40:18	Vrms	2.11	cm/s	10-1kHz
54	yyyy-07-31 12:40:19	Vrms	2.14	cm/s	10-1kHz
55	yyyy-07-31 12:40:20	Vrms	2.17	cm/s	10-1kHz
56	yyyy-07-31 12:40:21	Vrms	2	cm/s	10-1kHz



57	yyyy-07-31 12:40:22	Vrms	0	cm/s	10-1kHz
58	yyyy-07-31 12:40:23	Vrms	0	cm/s	10-1kHz
59	yyyy-07-31 12:40:24	Vrms	0	cm/s	10-1kHz
60	yyyy-07-31 12:40:25	Vrms	0	cm/s	10-1kHz

Los valores registrados de velocidad oscilan entre 0.00 cm/s y 8.03 cm/s, con una media aproximada de 2.3 cm/s. En los primeros segundos (1.09 a 1.90 cm/s), el motor presenta una vibración moderada asociada al arranque y acople de carga. Posteriormente, se observa un incremento progresivo que alcanza valores máximos de 8.03 cm/s, lo cual representa un nivel de vibración muy alto.

Según la norma ISO 20816-1, para máquinas eléctricas con potencia menor a 15 kW, los niveles de velocidad vibratoria se clasifican así:

- Buena condición:  $\leq 1.8$  cm/s
- Satisfactoria: 1.8 – 2.8 cm/s
- Insatisfactoria: 2.8 – 4.5 cm/s
- Inaceptable:  $> 4.5$  cm/s

Bajo esta referencia, los valores superiores a 5 cm/s indican una condición crítica, y los picos de 8.03 cm/s muestran una vibración severa que puede generar daños mecánicos considerables. Los resultados sugieren que la carga aplicada sobre un eje desgastado genera un desbalance dinámico significativo, ocasionando un incremento en la amplitud de las vibraciones radiales.

La tendencia observada de los valores se caracteriza por el incremento progresivo seguidas por caídas abruptas a cero lo que se asocia a momentos de desconexión del sensor, pérdida momentánea de señal, o cese de carga, más que a una reducción real de vibración, ya los datos previos indican una operación anómala pero en rangos severos.

En la Fig. 38 se presenta la ilustración de la velocidad del motor con daño en el eje con carga.

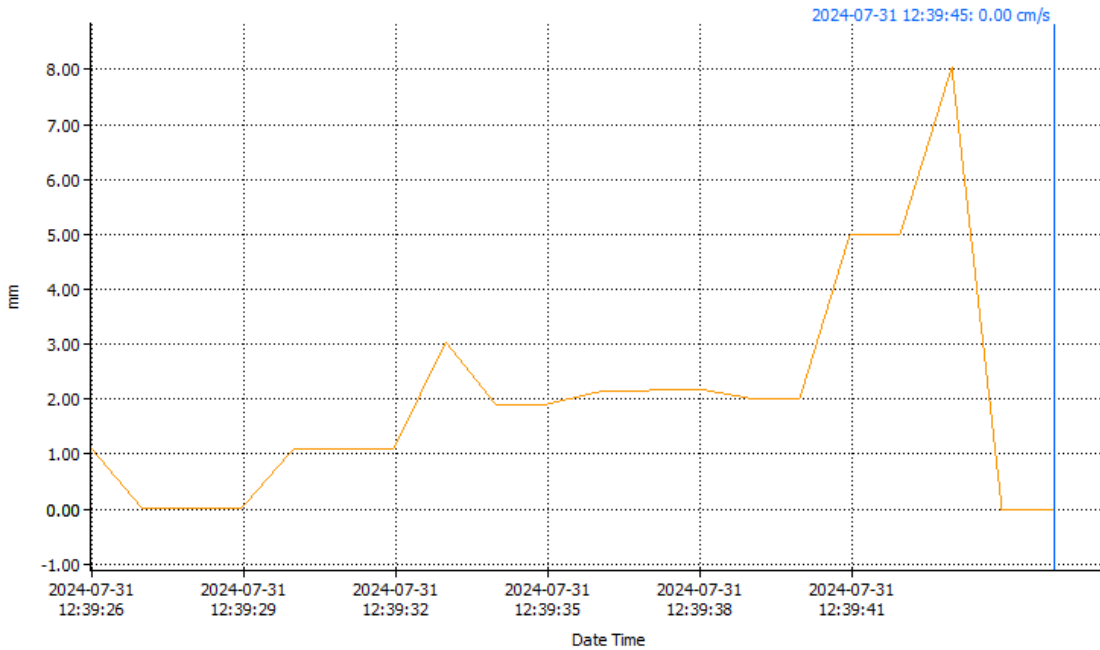


Fig 38. Ilustración de velocidad del motor con daño en el eje con carga.

En el presente gráfico se observa una tendencia variable con picos pronunciados, alcanzando su valor máximo en torno a 8 cm/s, dichas vibraciones irregulares se presentan con transiciones rápidas entre estados de vibración media y muy alta. La variación presente es característica de un eje con desgaste operando bajo carga, las cuales generan cambios bruscos en la amplitud de la vibración.

Según la norma ISO 20816, señala los parámetros cuando existe un riesgo de fallo mecánico inminente, se evidencia que la vibración no es armónica, sino aleatoria y posiblemente acompañada de resonancias parciales en los elementos giratorios.

La prueba aplicada establece que el sistema requiere una intervención inmediata, preferentemente una revisión del eje, balanceo dinámico y verificación de los rodamientos, antes de continuar con la operación bajo carga, para evitar estancamiento en los procedimientos.

**Desplazamiento**

En la Tabla 14 se detalla la medición del desplazamiento del motor con daño en el eje con carga



**Tabla 13.** Tabla de medición de desplazamiento del motor con daño en el eje con carga

No.	Date/Time	Function	Value	Unit	Frequency (Hz)
1	yyyy-07-31 12:42:59	Dp-p	0.144	mm	10-500Hz
2	yyyy-07-31 12:43:00	Dp-p	0.172	mm	10-500Hz
3	yyyy-07-31 12:43:01	Dp-p	0.172	mm	10-500Hz
4	yyyy-07-31 12:43:02	Dp-p	0.686	mm	10-500Hz
5	yyyy-07-31 12:43:03	Dp-p	1.478	mm	10-500Hz
6	yyyy-07-31 12:43:04	Dp-p	1.478	mm	10-500Hz
7	yyyy-07-31 12:43:05	Dp-p	0.627	mm	10-500Hz
8	yyyy-07-31 12:43:06	Dp-p	0.592	mm	10-500Hz
9	yyyy-07-31 12:43:07	Dp-p	0.592	mm	10-500Hz
10	yyyy-07-31 12:43:08	Dp-p	1.216	mm	10-500Hz
11	yyyy-07-31 12:43:09	Dp-p	1.821	mm	10-500Hz
12	yyyy-07-31 12:43:10	Dp-p	1.821	mm	10-500Hz
13	yyyy-07-31 12:43:11	Dp-p	0.843	mm	10-500Hz
14	yyyy-07-31 12:43:12	Dp-p	0.843	mm	10-500Hz
15	yyyy-07-31 12:43:13	Dp-p	0.862	mm	10-500Hz
16	yyyy-07-31 12:43:14	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
17	yyyy-07-31 12:43:15	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
18	yyyy-07-31 12:43:16	Dp-p	1.665	mm	10-500Hz
19	yyyy-07-31 12:43:17	Dp-p	1.665	mm	10-500Hz
20	yyyy-07-31 12:43:18	Dp-p	0.864	mm	10-500Hz
21	yyyy-07-31 12:43:19	Dp-p	0.862	mm	10-500Hz
22	yyyy-07-31 12:43:20	Dp-p	0.862	mm	10-500Hz
23	yyyy-07-31 12:43:21	Dp-p	0.542	mm	10-500Hz
24	yyyy-07-31 12:43:22	Dp-p	0.628	mm	10-500Hz
25	yyyy-07-31 12:43:23	Dp-p	0.628	mm	10-500Hz
26	yyyy-07-31 12:43:24	Dp-p	0.003	mm	10-500Hz
27	yyyy-07-31 12:43:25	Dp-p	0.843	mm	10-500Hz
28	yyyy-07-31 12:43:26	Dp-p	0.862	mm	10-500Hz
29	yyyy-07-31 12:43:27	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
30	yyyy-07-31 12:43:28	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
31	yyyy-07-31 12:43:29	Dp-p	1.665	mm	10-500Hz
32	yyyy-07-31 12:43:30	Dp-p	1.665	mm	10-500Hz



38	yyyy-07-31 12:43:36	Dp-p	0.843	mm	10-500Hz
39	yyyy-07-31 12:43:37	Dp-p	0.862	mm	10-500Hz
40	yyyy-07-31 12:43:38	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
41	yyyy-07-31 12:43:39	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
42	yyyy-07-31 12:43:40	Dp-p	1.665	mm	10-500Hz
43	yyyy-07-31 12:43:41	Dp-p	1.665	mm	10-500Hz
44	yyyy-07-31 12:43:42	Dp-p	0.864	mm	10-500Hz
45	yyyy-07-31 12:43:43	Dp-p	0.862	mm	10-500Hz
46	yyyy-07-31 12:43:44	Dp-p	0.862	mm	10-500Hz
47	yyyy-07-31 12:43:45	Dp-p	0.542	mm	10-500Hz
48	yyyy-07-31 12:43:46	Dp-p	0.628	mm	10-500Hz
49	yyyy-07-31 12:43:47	Dp-p	0.628	mm	10-500Hz
50	yyyy-07-31 12:43:48	Dp-p	0.003	mm	10-500Hz
51	yyyy-07-31 12:43:49	Dp-p	0.003	mm	10-500Hz
52	yyyy-07-31 12:43:50	Dp-p	0.003	mm	10-500Hz
53	yyyy-07-31 12:43:51	Dp-p	0.003	mm	10-500Hz
54	yyyy-07-31 12:43:52	Dp-p	0.003	mm	10-500Hz
55	yyyy-07-31 12:43:53	Dp-p	0.003	mm	10-500Hz
56	yyyy-07-31 12:43:54	Dp-p	0.003	mm	10-500Hz
57	yyyy-07-31 12:43:55	Dp-p	0.003	mm	10-500Hz
58	yyyy-07-31 12:43:56	Dp-p	0.031	mm	10-500Hz
59	yyyy-07-31 12:43:57	Dp-p	0.031	mm	10-500Hz
60	yyyy-07-31 12:43:58	Dp-p	0.031	mm	10-500Hz

Los valores registrados oscilan entre 0.003 mm y 1.999 mm, evidenciando una gran amplitud de variación. Mediante los datos registrados (0.144 a 0.686 mm) se observa una vibración moderada, posteriormente los valores incrementan alcanzo picos de de 1.821 mm y posteriormente llegando al máximo de 1.999 mm, concluimos que la amplitud real podría haber sido aún mayor.

Según la norma ISO 20816, para máquinas eléctricas con velocidades de rotación oscilan entre 600 y 3600 rpm, los valores de desplazamiento (pico a pico) se catalogan así:

- Buena condición:  $\leq 0.02$  mm
- Satisfactoria: 0.02 – 0.06 mm
- Insatisfactoria: 0.06 – 0.15 mm



- Inaceptable:  $> 0.15$  mm

Bajo esta clasificación, el sistema se encuentra muy por encima del límite inaceptable, con niveles de vibración que multiplican por más de diez los valores normales, significando en su operación una condición crítica, donde se produce un desalineamiento radial importante, perjudicando la estabilidad del conjunto rotor-rodamiento y ocasionando vibraciones enormes en el eje bajo carga

Los datos registrados presentan un comportamiento irregular, los picos altos seguidos de caídas abruptas (hasta 0.003 mm), puede deberse a golpeteos intermitentes, resonancia parcial, o pérdida temporal de contacto en el sensor, pero la tendencia general confirma una condición de deterioro estructural severo.

En la Fig. 39 se presenta la ilustración del desplazamiento del motor con daño en el eje con carga.

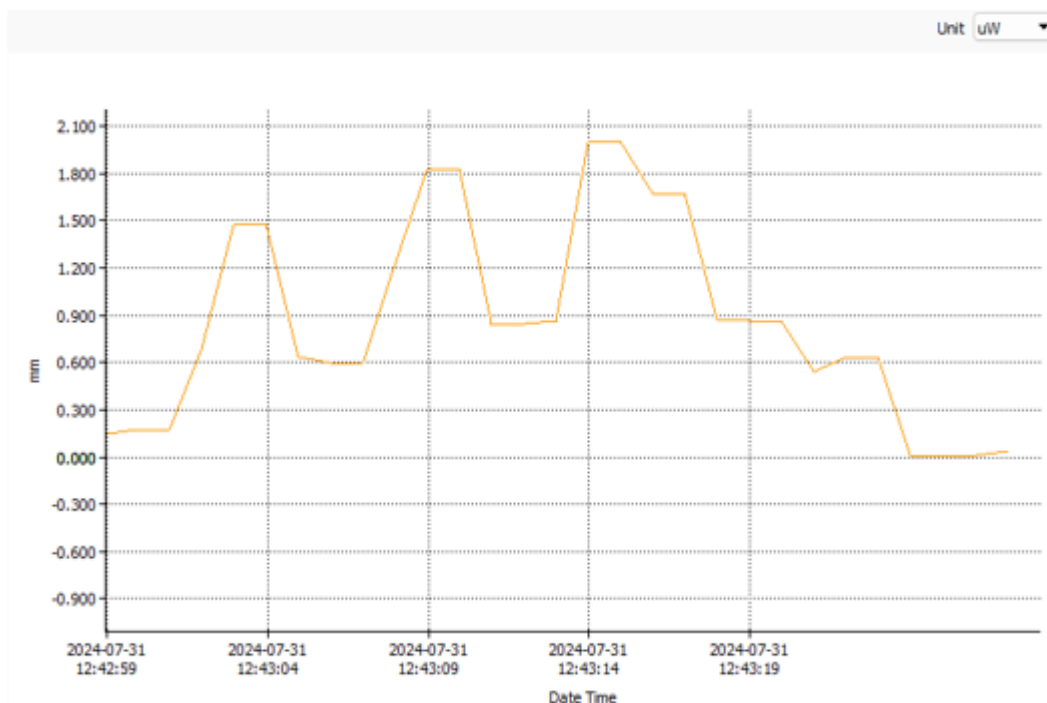


Fig 39. Ilustración de desplazamiento del motor con daño en el eje con carga.

El gráfico correspondiente muestra una curva oscilante con picos pronunciados que alcanzan el máximo de medición (1.999 mm), acompañados de fluctuaciones entre 0.5 y 1.8 mm. Esta tendencia revela que el eje desgastado, al operar bajo carga, genera



movimientos axiales excesivos, probablemente por una holgura radial aumentada o un mal acoplamiento con el rodamiento.

Según la norma ISO 20816, los valores son inaceptables, por lo que ponen en riesgo la integridad del motor, causando en su mayor extremo una rotura del eje, daño del rodamiento o falla total del conjunto rotativo, lo que provoca pérdidas económicas inmensas.

Se puede establecer que la operación bajo carga con eje desgastado incrementa de forma crítica la amplitud del desplazamiento, lo que determina el paro inmediato del proceso y aplicar acciones correctivas antes de continuar con el funcionamiento del motor.

#### **4.2.5 Motor con daño en el rodamiento al vacío**

En esta condición se realizó la medición de las vibraciones del motor trifásico de 1 HP operando sin carga mecánica y con un rodamiento en mal estado instalado en el eje.

El propósito de esta prueba fue identificar el efecto que produce un defecto localizado en el rodamiento sobre el comportamiento vibracional del motor cuando no existe esfuerzo adicional en el eje. Para ello, se empleó el probador de vibraciones UT315A de la marca UNI-T, configurado para registrar los parámetros de aceleración, velocidad y desplazamiento en el eje horizontal del motor.

El registro de datos en vacío permite distinguir las vibraciones propias del desgaste interno del rodamiento, aislando la influencia de cargas externas. De esta manera, se puede determinar la magnitud del daño y su impacto sobre la estabilidad dinámica del sistema, sentando una base de comparación frente a las condiciones de funcionamiento normal y con carga.

#### **Aceleración**

En la Tabla 15 se detalla la medición de la velocidad del motor con daño en el eje con carga.



**Tabla 14.** Tabla de medición de aceleración del motor con daño en el rodamiento al vacío

No.	Date/Time	Function	Value	Unit	Frequency (Hz)
1	2025-10-06 12:50:40	Ap	0.0	m/S2	10-10kHz
2	2025-10-06 12:50:41	Ap	0.0	m/S2	10-10kHz
3	2025-10-06 12:50:42	Ap	0.0	m/S2	10-10kHz
4	2025-10-06 12:50:43	Ap	0.0	m/S2	10-10kHz
5	2025-10-06 12:50:44	Ap	6.8	m/S2	10-10kHz
6	2025-10-06 12:50:45	Ap	27.8	m/S2	10-10kHz
7	2025-10-06 12:50:46	Ap	26.9	m/S2	10-10kHz
8	2025-10-06 12:50:47	Ap	26.1	m/S2	10-10kHz
9	2025-10-06 12:50:48	Ap	29.1	m/S2	10-10kHz
10	2025-10-06 12:50:49	Ap	32.4	m/S2	10-10kHz
11	2025-10-06 12:50:50	Ap	30.6	m/S2	10-10kHz
12	2025-10-06 12:50:51	Ap	34.1	m/S2	10-10kHz
13	2025-10-06 12:50:52	Ap	35.2	m/S2	10-10kHz
14	2025-10-06 12:50:53	Ap	32.4	m/S2	10-10kHz
15	2025-10-06 12:50:54	Ap	35.8	m/S2	10-10kHz
16	2025-10-06 12:50:55	Ap	35.5	m/S2	10-10kHz
17	2025-10-06 12:50:56	Ap	35.7	m/S2	10-10kHz
18	2025-10-06 12:50:57	Ap	35.7	m/S2	10-10kHz
19	2025-10-06 12:50:58	Ap	33.3	m/S2	10-10kHz
20	2025-10-06 12:50:59	Ap	31.9	m/S2	10-10kHz
21	2025-10-06 12:51:00	Ap	33.9	m/S2	10-10kHz
22	2025-10-06 12:51:01	Ap	34.1	m/S2	10-10kHz
23	2025-10-06 12:51:02	Ap	34.1	m/S2	10-10kHz
24	2025-10-06 12:51:03	Ap	31.9	m/S2	10-10kHz
25	2025-10-06 12:51:04	Ap	34.7	m/S2	10-10kHz
26	2025-10-06 12:51:05	Ap	30.4	m/S2	10-10kHz
27	2025-10-06 12:51:06	Ap	24.7	m/S2	10-10kHz
28	2025-10-06 12:51:07	Ap	27.9	m/S2	10-10kHz
29	2025-10-06 12:51:08	Ap	27.5	m/S2	10-10kHz
30	2025-10-06 12:51:10	Ap	30.8	m/S2	10-10kHz
31	2025-10-06 12:51:11	Ap	29.8	m/S2	10-10kHz
32	2025-10-06 12:51:12	Ap	28.3	m/S2	10-10kHz
33	2025-10-06 12:51:12	Ap	30.5	m/S2	10-10kHz



34	2025-10-06 12:51:14	Ap	29.1	m/S2	10-10kHz
35	2025-10-06 12:51:15	Ap	29.1	m/S2	10-10kHz
36	2025-10-06 12:51:15	Ap	27.6	m/S2	10-10kHz
37	2025-10-06 12:51:16	Ap	28.5	m/S2	10-10kHz
38	2025-10-06 12:51:17	Ap	27.5	m/S2	10-10kHz
39	2025-10-06 12:51:18	Ap	28.4	m/S2	10-10kHz
40	2025-10-06 12:51:19	Ap	31.5	m/S2	10-10kHz
41	2025-10-06 12:51:21	Ap	29.1	m/S2	10-10kHz
42	2025-10-06 12:51:22	Ap	25.1	m/S2	10-10kHz
43	2025-10-06 12:51:23	Ap	29.7	m/S2	10-10kHz
44	2025-10-06 12:51:24	Ap	29.7	m/S2	10-10kHz
45	2025-10-06 12:51:25	Ap	33.3	m/S2	10-10kHz
46	2025-10-06 12:51:26	Ap	33.3	m/S2	10-10kHz
41	2025-10-06 12:51:21	Ap	29.1	m/S2	10-10kHz
42	2025-10-06 12:51:22	Ap	25.1	m/S2	10-10kHz
43	2025-10-06 12:51:23	Ap	29.7	m/S2	10-10kHz
44	2025-10-06 12:51:24	Ap	29.7	m/S2	10-10kHz
45	2025-10-06 12:51:25	Ap	33.3	m/S2	10-10kHz
46	2025-10-06 12:51:26	Ap	33.3	m/S2	10-10kHz
47	2025-10-06 12:51:26	Ap	31.5	m/S2	10-10kHz
48	2025-10-06 12:51:27	Ap	31.5	m/S2	10-10kHz
49	2025-10-06 12:51:28	Ap	33.0	m/S2	10-10kHz
50	2025-10-06 12:51:30	Ap	33.0	m/S2	10-10kHz
51	2025-10-06 12:51:30	Ap	26.9	m/S2	10-10kHz
52	2025-10-06 12:51:31	Ap	33.0	m/S2	10-10kHz
53	2025-10-06 12:51:32	Ap	32.9	m/S2	10-10kHz
54	2025-10-06 12:51:34	Ap	30.1	m/S2	10-10kHz
55	2025-10-06 12:51:34	Ap	27.2	m/S2	10-10kHz
56	2025-10-06 12:51:36	Ap	27.2	m/S2	10-10kHz
57	2025-10-06 12:51:37	Ap	28.3	m/S2	10-10kHz
58	2025-10-06 12:51:38	Ap	27.5	m/S2	10-10kHz
59	2025-10-06 12:51:39	Ap	27.5	m/S2	10-10kHz
60	2025-10-06 12:51:40	Ap	31.3	m/S2	10-10kHz

Se analizó el comportamiento vibracional del motor trifásico de 1 HP, operando sin carga y con un solo rodamiento dañado, utilizando el probador de vibraciones UT315A en el



eje horizontal. El rango de frecuencia analizado fue de 10 Hz a 10 kHz, registrándose un valor máximo de 35.8 m/s<sup>2</sup> en aceleración.

Este nivel de vibración se encuentra por encima de los valores recomendados por la norma ISO 10816-3, que clasifica vibraciones de más de 30 m/s<sup>2</sup> en motores de baja potencia con base rígida como críticas o inaceptables. El incremento significativo respecto a las condiciones normales del motor indica una alteración mecánica severa asociada al desgaste del rodamiento.

El rodamiento dañado genera impactos repetitivos y fluctuaciones de alta frecuencia, producto del contacto irregular entre los elementos rodantes y las pistas internas. Estas perturbaciones se traducen en picos elevados de aceleración, incluso sin la presencia de carga mecánica. Esto demuestra que el daño en el rodamiento afecta directamente la estabilidad del sistema, generando vibraciones propias de fallas localizadas y fatiga de material.

El análisis de estos valores sugiere que, aunque el motor se encuentre en vacío, la condición del rodamiento impone una respuesta dinámica anómala, lo que confirma un desgaste considerable y la necesidad de sustitución inmediata del componente antes de operar bajo carga.

En la Fig. 40 se presenta la ilustración de la aceleración del motor con daño en el rodamiento al vacío.

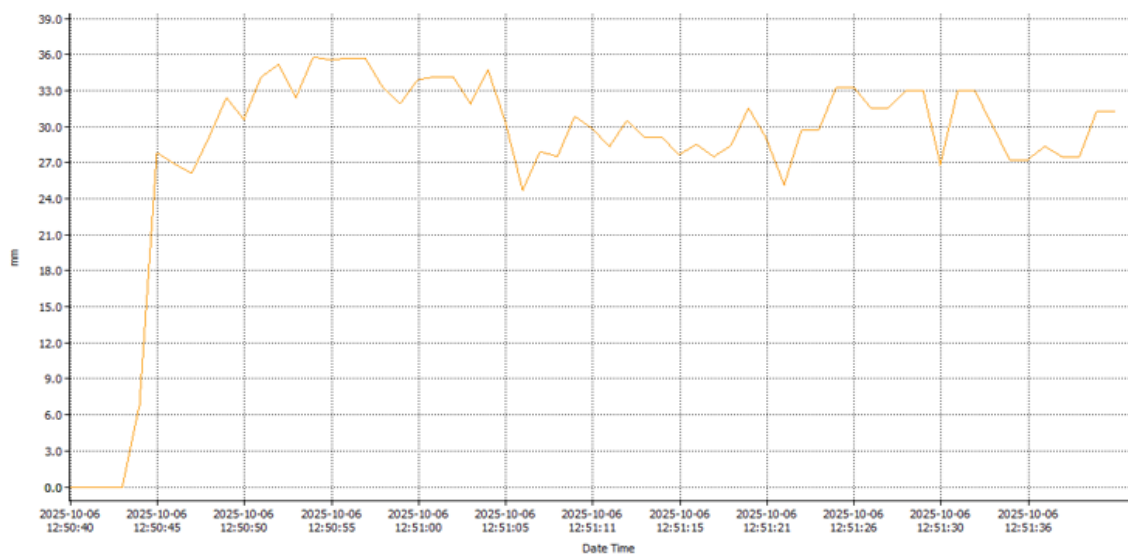


Fig 40. Ilustración de aceleración del motor con daño en el rodamiento al vacío.



En la representación gráfica de las vibraciones se observa una distribución irregular y con picos de alta amplitud, lo cual es característico de un sistema con defecto puntual en el rodamiento. Las oscilaciones no siguen una forma de onda estable, sino que presentan golpes o impulsos repetitivos asociados al paso de las esferas sobre una sección dañada del rodamiento.

Se verifica la presencia de vibraciones impulsivas con un patrón intermitente, lo que coincide con el daño físico del componente. Esta señal es típica en etapas intermedias de fallo, cuando las superficies internas comienzan a degradarse, lo que ocasiona un aumento continuo en la aceleración medida.

Pese a que el motor no tiene carga, las vibraciones alcanzan niveles altos que demuestran el defecto del rodamiento es lo suficientemente severo como para alterar el equilibrio dinámico del rotor, al compararlo con un motor en buen estado se observa que los picos son más del doble, lo que confirma una condición anormal de funcionamiento.

Al compararlo el comportamiento con los lineamientos establecidos, se demuestra que el rodamiento se encuentra al final de su vida útil, siendo recomendable el remplazo inmediato con lo cual se frena la propagación del daño hacia el eje y la carcasa del motor.

### Velocidad

En la Tabla 16 se detalla la medición de la velocidad del motor con daño en el rodamiento al vacío.

**Tabla 15.** Tabla de medición de velocidad del motor con daño en el rodamiento al vacío

No.	Date/Time	Function	Value	Unit	Frequency (Hz)
1	2025-10-06 12:52:35	Vrms	1.12	cm/s	10-1kHz
2	2025-10-06 12:52:36	Vrms	1.12	cm/s	10-1kHz
3	2025-10-06 12:52:37	Vrms	1.30	cm/s	10-1kHz
4	2025-10-06 12:52:38	Vrms	2.00	cm/s	10-1kHz
5	2025-10-06 12:52:39	Vrms	2.00	cm/s	10-1kHz
6	2025-10-06 12:52:40	Vrms	1.88	cm/s	10-1kHz



7	2025-10-06 12:52:41	Vrms	1.87	cm/s	10-1kHz
8	2025-10-06 12:52:42	Vrms	1.87	cm/s	10-1kHz
9	2025-10-06 12:52:43	Vrms	1.88	cm/s	10-1kHz
10	2025-10-06 12:52:44	Vrms	1.88	cm/s	10-1kHz
11	2025-10-06 12:52:45	Vrms	1.88	cm/s	10-1kHz
12	2025-10-06 12:52:46	Vrms	1.93	cm/s	10-1kHz
13	2025-10-06 12:52:47	Vrms	1.93	cm/s	10-1kHz
14	2025-10-06 12:52:48	Vrms	1.99	cm/s	10-1kHz
15	2025-10-06 12:52:49	Vrms	1.76	cm/s	10-1kHz
16	2025-10-06 12:52:50	Vrms	1.76	cm/s	10-1kHz
17	2025-10-06 12:52:51	Vrms	1.88	cm/s	10-1kHz
18	2025-10-06 12:52:52	Vrms	1.85	cm/s	10-1kHz
19	2025-10-06 12:52:53	Vrms	1.76	cm/s	10-1kHz
20	2025-10-06 12:52:54	Vrms	1.73	cm/s	10-1kHz
21	2025-10-06 12:52:55	Vrms	1.75	cm/s	10-1kHz
22	2025-10-06 12:52:56	Vrms	1.75	cm/s	10-1kHz
23	2025-10-06 12:52:57	Vrms	1.79	cm/s	10-1kHz
24	2025-10-06 12:52:58	Vrms	1.79	cm/s	10-1kHz
25	2025-10-06 12:52:59	Vrms	1.81	cm/s	10-1kHz
26	2025-10-06 12:53:00	Vrms	1.80	cm/s	10-1kHz
27	2025-10-06 12:53:01	Vrms	1.80	cm/s	10-1kHz
28	2025-10-06 12:53:02	Vrms	1.65	cm/s	10-1kHz
29	2025-10-06 12:53:03	Vrms	1.95	cm/s	10-1kHz
30	2025-10-06 12:53:04	Vrms	1.95	cm/s	10-1kHz
31	2025-10-06 12:53:05	Vrms	1.83	cm/s	10-1kHz
32	2025-10-06 12:53:06	Vrms	1.86	cm/s	10-1kHz
33	2025-10-06 12:53:07	Vrms	1.86	cm/s	10-1kHz
34	2025-10-06 12:53:08	Vrms	1.80	cm/s	10-1kHz
35	2025-10-06 12:53:09	Vrms	1.80	cm/s	10-1kHz
36	2025-10-06 12:53:10	Vrms	1.83	cm/s	10-1kHz
37	2025-10-06 12:53:11	Vrms	1.86	cm/s	10-1kHz
38	2025-10-06 12:53:12	Vrms	1.86	cm/s	10-1kHz
39	2025-10-06 12:53:13	Vrms	1.93	cm/s	10-1kHz
40	2025-10-06 12:53:14	Vrms	1.90	cm/s	10-1kHz
41	2025-10-06 12:53:15	Vrms	1.90	cm/s	10-1kHz
42	2025-10-06 12:53:16	Vrms	1.90	cm/s	10-1kHz



43	2025-10-06 12:53:17	Vrms	1.87	cm/s	10-1kHz
44	2025-10-06 12:53:18	Vrms	1.87	cm/s	10-1kHz
45	2025-10-06 12:53:19	Vrms	1.83	cm/s	10-1kHz
46	2025-10-06 12:53:20	Vrms	1.90	cm/s	10-1kHz
47	2025-10-06 12:53:21	Vrms	1.90	cm/s	10-1kHz
48	2025-10-06 12:53:22	Vrms	1.85	cm/s	10-1kHz
49	2025-10-06 12:53:23	Vrms	1.85	cm/s	10-1kHz
50	2025-10-06 12:53:24	Vrms	1.78	cm/s	10-1kHz
51	2025-10-06 12:53:25	Vrms	1.88	cm/s	10-1kHz
52	2025-10-06 12:53:26	Vrms	1.88	cm/s	10-1kHz
53	2025-10-06 12:53:27	Vrms	1.81	cm/s	10-1kHz
54	2025-10-06 12:53:28	Vrms	1.47	cm/s	10-1kHz
55	2025-10-06 12:53:29	Vrms	1.54	cm/s	10-1kHz
56	2025-10-06 12:53:30	Vrms	1.85	cm/s	10-1kHz
57	2025-10-06 12:53:31	Vrms	1.93	cm/s	10-1kHz
58	2025-10-06 12:53:32	Vrms	1.93	cm/s	10-1kHz
59	2025-10-06 12:53:33	Vrms	1.66	cm/s	10-1kHz
60	2025-10-06 12:53:34	Vrms	1.76	cm/s	10-1kHz

Durante el ensayo, el valor máximo de velocidad registrado fue de 2.00 cm/s, mientras que los valores promedio se mantuvieron entre 1.7 y 1.9 cm/s. De acuerdo con la norma ISO 10816-3, para motores eléctricos montados sobre base rígida y con una potencia inferior a 15 kW (20 HP), las vibraciones se clasifican de la siguiente forma:

- Zona A (bueno):  $< 0.71$  cm/s
- Zona B (satisfactorio):  $0.71 - 1.8$  cm/s
- Zona C (tolerable):  $1.8 - 4.5$  cm/s
- Zona D (inaceptable):  $> 4.5$  cm/s

Con base en esta clasificación, el valor máximo de 2.00 cm/s sitúa al motor dentro de la zona C (tolerable). Esto indica que el equipo aún puede operar de forma limitada, pero presenta un nivel de vibración anormal que evidencia fatiga mecánica progresiva y desgaste en el rodamiento.



El aumento en la velocidad de vibración respecto al funcionamiento normal (alrededor de 0.4 cm/s sin daños) confirma la presencia de desbalance interno y microimpactos repetitivos, característicos de fallas en los elementos rodantes o pistas del rodamiento. Si bien el motor sigue siendo funcional, su comportamiento vibracional advierte una necesidad de mantenimiento correctivo, ya que, de continuar en operación, la falla podría extenderse hacia el eje o el alojamiento del rodamiento.

En la Fig. 41 se presenta la ilustración de la velocidad del motor con daño en el rodamiento al vacío.

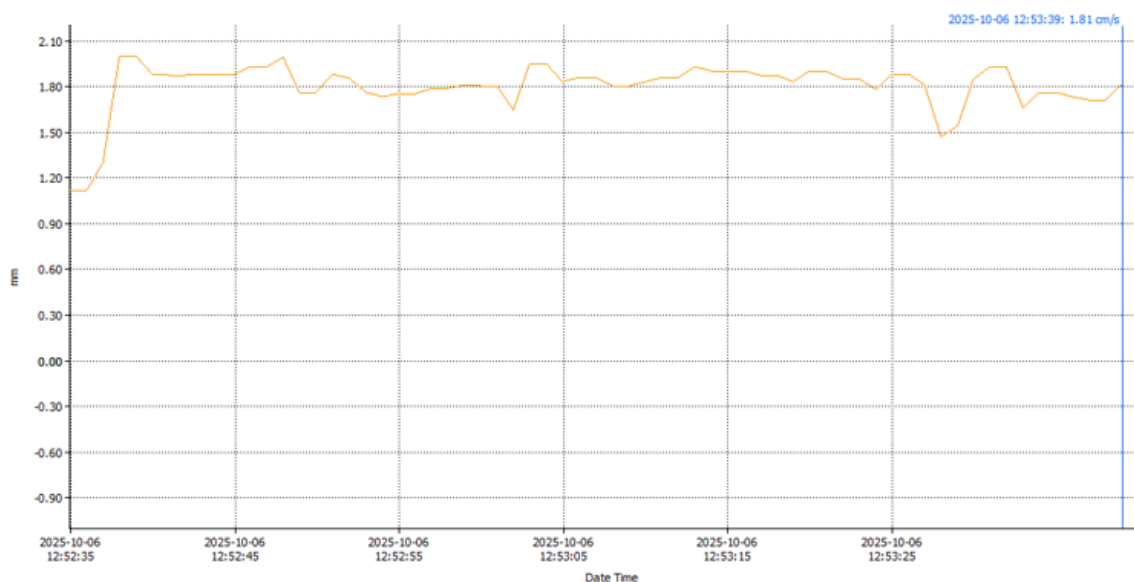


Fig 41. Ilustración de velocidad del motor con daño en el rodamiento al vacío.

El gráfico correspondiente a la medición de velocidad muestra una oscilación irregular, con picos constantes en torno a los valores máximos medidos (cerca de 2 cm/s). La forma de onda evidencia una señal no uniforme y con repetitividad cíclica, lo cual coincide con el patrón de vibraciones generadas por defectos en los elementos de rodadura.

En comparación con las gráficas obtenidas con el motor en buen estado, se observa una disminución en la estabilidad de la señal y un aumento en la amplitud. El producto irregular entre las superficies dañadas manifiesta un aumento en la fricción y el ruido mecánico interno.



Al relacionar la gráfica con la norma ISO 10816-3, se ratifica que el rodamiento presenta un deterioro avanzado el cual provoca vibraciones que afectan el rendimiento y la vida útil del motor. Se recomienda realizar una verificación del alineamiento del eje para garantizar una operación segura al reemplazar de inmediato del rodamiento dañado.

### Desplazamiento

En la Tabla 17 se detalla la medición del desplazamiento del motor con daño en el rodamiento al vacío.

**Tabla 16.** Tabla de medición de desplazamiento del motor con daño en el rodamiento al vacío

No.	Date/Time	Function	Value	Unit	Frequency (Hz)
1	2025-10-06 12:54:56	Dp-p	.068	mm	10-500Hz
2	2025-10-06 12:54:58	Dp-p	.066	mm	10-500Hz
3	2025-10-06 12:54:58	Dp-p	.122	mm	10-500Hz
4	2025-10-06 12:54:59	Dp-p	.122	mm	10-500Hz
5	2025-10-06 12:55:00	Dp-p	.123	mm	10-500Hz
6	2025-10-06 12:55:01	Dp-p	.122	mm	10-500Hz
7	2025-10-06 12:55:02	Dp-p	.122	mm	10-500Hz
8	2025-10-06 12:55:03	Dp-p	.116	mm	10-500Hz
9	2025-10-06 12:55:04	Dp-p	.116	mm	10-500Hz
10	2025-10-06 12:55:05	Dp-p	.115	mm	10-500Hz
11	2025-10-06 12:55:07	Dp-p	.114	mm	10-500Hz
12	2025-10-06 12:55:08	Dp-p	.114	mm	10-500Hz
13	2025-10-06 12:55:09	Dp-p	.116	mm	10-500Hz
14	2025-10-06 12:55:10	Dp-p	.109	mm	10-500Hz
15	2025-10-06 12:55:11	Dp-p	.109	mm	10-500Hz
16	2025-10-06 12:55:12	Dp-p	.109	mm	10-500Hz
17	2025-10-06 12:55:13	Dp-p	.110	mm	10-500Hz
18	2025-10-06 12:55:14	Dp-p	.110	mm	10-500Hz
19	2025-10-06 12:55:15	Dp-p	.110	mm	10-500Hz
20	2025-10-06 12:55:16	Dp-p	.110	mm	10-500Hz
21	2025-10-06 12:55:17	Dp-p	.110	mm	10-500Hz
22	2025-10-06 12:55:18	Dp-p	.110	mm	10-500Hz



23	2025-10-06 12:55:19	Dp-p	.110	mm	10-500Hz
24	2025-10-06 12:55:20	Dp-p	.110	mm	10-500Hz
25	2025-10-06 12:55:21	Dp-p	.110	mm	10-500Hz
26	2025-10-06 12:55:22	Dp-p	.110	mm	10-500Hz
27	2025-10-06 12:55:23	Dp-p	.110	mm	10-500Hz
28	2025-10-06 12:55:24	Dp-p	.110	mm	10-500Hz
29	2025-10-06 12:55:25	Dp-p	.110	mm	10-500Hz
30	2025-10-06 12:55:26	Dp-p	.110	mm	10-500Hz
31	2025-10-06 12:55:27	Dp-p	.110	mm	10-500Hz
32	2025-10-06 12:55:28	Dp-p	.109	mm	10-500Hz
33	2025-10-06 12:55:29	Dp-p	.109	mm	10-500Hz
34	2025-10-06 12:55:30	Dp-p	.109	mm	10-500Hz
35	2025-10-06 12:55:31	Dp-p	.109	mm	10-500Hz
36	2025-10-06 12:55:32	Dp-p	.109	mm	10-500Hz
37	2025-10-06 12:55:33	Dp-p	.109	mm	10-500Hz
38	2025-10-06 12:55:34	Dp-p	.109	mm	10-500Hz
39	2025-10-06 12:55:35	Dp-p	.109	mm	10-500Hz
40	2025-10-06 12:55:36	Dp-p	.121	mm	10-500Hz
41	2025-10-06 12:55:37	Dp-p	.119	mm	10-500Hz
42	2025-10-06 12:55:38	Dp-p	.119	mm	10-500Hz
43	2025-10-06 12:55:39	Dp-p	.119	mm	10-500Hz
44	2025-10-06 12:55:40	Dp-p	.120	mm	10-500Hz
45	2025-10-06 12:55:41	Dp-p	.120	mm	10-500Hz
46	2025-10-06 12:55:42	Dp-p	.120	mm	10-500Hz
47	2025-10-06 12:55:43	Dp-p	.120	mm	10-500Hz
48	2025-10-06 12:55:44	Dp-p	.127	mm	10-500Hz
49	2025-10-06 12:55:45	Dp-p	.113	mm	10-500Hz
50	2025-10-06 12:55:46	Dp-p	.113	mm	10-500Hz
51	2025-10-06 12:55:47	Dp-p	.125	mm	10-500Hz
52	2025-10-06 12:55:48	Dp-p	.117	mm	10-500Hz
53	2025-10-06 12:55:49	Dp-p	.117	mm	10-500Hz
54	2025-10-06 12:55:50	Dp-p	.125	mm	10-500Hz
55	2025-10-06 12:55:51	Dp-p	.124	mm	10-500Hz
56	2025-10-06 12:55:52	Dp-p	.124	mm	10-500Hz
57	2025-10-06 12:55:53	Dp-p	.124	mm	10-500Hz
58	2025-10-06 12:55:54	Dp-p	.124	mm	10-500Hz



59	2025-10-06 12:55:55	Dp-p	.124	mm	10-500Hz
60	2025-10-06 12:55:56	Dp-p	.124	mm	10-500Hz

En la medición del desplazamiento, el valor máximo obtenido fue de 0.127 mm (pico a pico), con la mayoría de los valores oscilando entre 0.109 y 0.125 mm dentro del rango de frecuencia de 10 a 500 Hz.

Según la norma ISO 10816-3, para motores eléctricos montados sobre base rígida y de potencia inferior a 15 kW (20 HP), los límites de vibración en desplazamiento se interpretan de la siguiente forma:

- Zona A (bueno): hasta 0.028 mm
- Zona B (satisfactorio): 0.028 – 0.045 mm
- Zona C (tolerable): 0.045 – 0.071 mm
- Zona D (inaceptable): > 0.071 mm

Con base en estos criterios, el valor máximo de 0.127 mm ubica al motor dentro de la zona D (inaceptable), lo cual indica un nivel de vibración excesivo y fuera de los márgenes recomendados para operación segura. Este incremento en el desplazamiento demuestra que el rodamiento dañado genera un movimiento radial significativo, ocasionando una pérdida de rigidez y una transmisión irregular de las fuerzas al eje. En condiciones reales de servicio, este tipo de vibraciones pueden causar daños progresivos en el alojamiento del rodamiento, desgaste del eje y las desviaciones en el conjunto rotor-estator.

El resultado confirma una falla crítica en el componente rotativo, siendo necesario realizar una sustitución inmediata del rodamiento antes de que se produzcan daños mayores. Asimismo, este nivel de desplazamiento puede estar asociado a un desequilibrio dinámico o deformación local del rodamiento, amplificando las amplitudes de vibración durante la operación.

En la Fig. 42 se presenta la ilustración del desplazamiento motor con daño en el rodamiento al vacío.

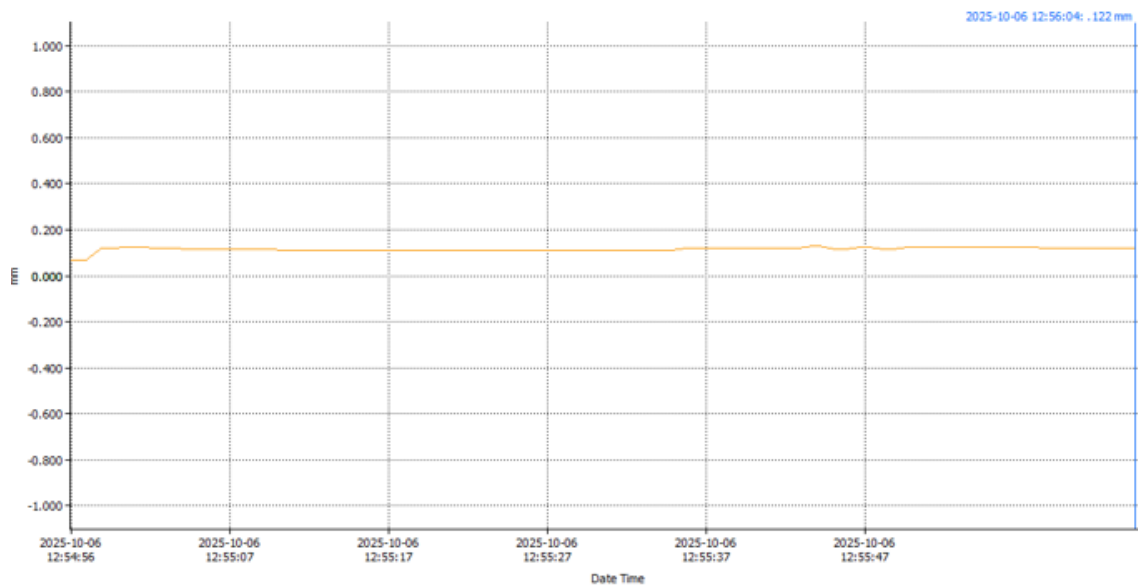


Fig 42. Ilustración de desplazamiento del motor con daño en el rodamiento al vacío.

El gráfico correspondiente al desplazamiento presenta una curva con oscilaciones amplias y sostenidas, evidenciando picos pronunciados y una frecuencia repetitiva irregular. La señal no muestra estabilidad, sino una variación continua de amplitud, lo cual coincide con el comportamiento típico de un rodamiento defectuoso, donde el contacto desigual de las bolas o rodillos con las pistas internas genera impulsos vibratoriales en cada rotación.

Al comparara los gráficos obtenidos en condiciones normales, se observa un incremento visible en la amplitud del desplazamiento y una falta de simetría en la forma de onda, teniendo que el motor aun funcionando al vacío, presenta movimientos mecánicos incontrolados producto del daño en el rodamiento.

La norma ISO 10816-3, respaldada por el comportamiento del gráfico, reafirma que el equipo se encuentra en una condición inaceptable de funcionamiento. De mantenerse esta situación, las vibraciones podrían provocar fatiga estructural, aflojamiento de componentes y una reducción considerable en la vida útil del motor.

#### 4.2.6 Motor con daño en el rodamiento con carga

En esta medición se analizó el comportamiento vibracional del motor eléctrico bajo condiciones de carga acoplada, manteniendo el rodamiento dañado en el eje. El objetivo



fue observar cómo las vibraciones se ven influenciadas por el esfuerzo mecánico adicional que la carga ejerce sobre el eje y los elementos de rodadura. De acuerdo a las especificaciones si existe un defecto previo en el rodamiento, la magnitud de las aceleraciones suele aumentarse debido a los impactos generados por el desgaste de las pistas o la deformación de las esferas debido a que las fuerzas dinámicas internas incrementan. Este trabajo nos permite comparar el comportamiento del sistema entre el estado al vacío y el estado con carga, comprobando la evolución del daño y su impacto en la estabilidad mecánica del motor.

### Aceleración

En la Tabla 18 se detalla la medición del desplazamiento del motor con daño en el rodamiento al vacío.

**Tabla 17.** Tabla de medición de aceleración del motor con daño en el rodamiento con carga

No.	Date/Time	Function	Value	Unit	Frequency (Hz)
1	2025-10-06 12:58:58	Ap	33.8	m/S2	10-10kHz
2	2025-10-06 12:58:59	Ap	33.8	m/S2	10-10kHz
3	2025-10-06 12:59:00	Ap	36.7	m/S2	10-10kHz
4	2025-10-06 12:59:01	Ap	33.8	m/S2	10-10kHz
5	2025-10-06 12:59:02	Ap	39.2	m/S2	10-10kHz
6	2025-10-06 12:59:03	Ap	34.8	m/S2	10-10kHz
7	2025-10-06 12:59:04	Ap	33.9	m/S2	10-10kHz
8	2025-10-06 12:59:05	Ap	35.9	m/S2	10-10kHz
9	2025-10-06 12:59:06	Ap	38.4	m/S2	10-10kHz
10	2025-10-06 12:59:07	Ap	40.8	m/S2	10-10kHz
11	2025-10-06 12:59:08	Ap	39.9	m/S2	10-10kHz
12	2025-10-06 12:59:09	Ap	41.5	m/S2	10-10kHz
13	2025-10-06 12:59:10	Ap	38.5	m/S2	10-10kHz
14	2025-10-06 12:59:11	Ap	34.8	m/S2	10-10kHz
15	2025-10-06 12:59:12	Ap	39.3	m/S2	10-10kHz



16	2025-10-06 12:59:13	Ap	38.3	m/S2	10-10kHz
17	2025-10-06 12:59:14	Ap	35.9	m/S2	10-10kHz
18	2025-10-06 12:59:15	Ap	37.0	m/S2	10-10kHz
19	2025-10-06 12:59:16	Ap	33.6	m/S2	10-10kHz
20	2025-10-06 12:59:17	Ap	36.8	m/S2	10-10kHz
21	2025-10-06 12:59:18	Ap	36.8	m/S2	10-10kHz
22	2025-10-06 12:59:19	Ap	38.2	m/S2	10-10kHz
23	2025-10-06 12:59:20	Ap	35.9	m/S2	10-10kHz
24	2025-10-06 12:59:21	Ap	31.8	m/S2	10-10kHz
25	2025-10-06 12:59:22	Ap	32.7	m/S2	10-10kHz
26	2025-10-06 12:59:23	Ap	33.1	m/S2	10-10kHz
27	2025-10-06 12:59:24	Ap	42.2	m/S2	10-10kHz
28	2025-10-06 12:59:25	Ap	37.8	m/S2	10-10kHz
29	2025-10-06 12:59:26	Ap	41.0	m/S2	10-10kHz
30	2025-10-06 12:59:27	Ap	36.2	m/S2	10-10kHz
31	2025-10-06 12:59:28	Ap	40.1	m/S2	10-10kHz
32	2025-10-06 12:59:29	Ap	40.2	m/S2	10-10kHz
33	2025-10-06 12:59:30	Ap	44.5	m/S2	10-10kHz
34	2025-10-06 12:59:31	Ap	45.6	m/S2	10-10kHz
35	2025-10-06 12:59:32	Ap	37.2	m/S2	10-10kHz
36	2025-10-06 12:59:33	Ap	35.8	m/S2	10-10kHz
37	2025-10-06 12:59:34	Ap	40.1	m/S2	10-10kHz
39	2025-10-06 12:59:36	Ap	32.1	m/S2	10-10kHz
40	2025-10-06 12:59:37	Ap	36.4	m/S2	10-10kHz
41	2025-10-06 12:59:38	Ap	32.8	m/S2	10-10kHz
42	2025-10-06 12:59:39	Ap	32.8	m/S2	10-10kHz
43	2025-10-06 12:59:40	Ap	47.0	m/S2	10-10kHz
44	2025-10-06 12:59:41	Ap	35.9	m/S2	10-10kHz
45	2025-10-06 12:59:42	Ap	42.4	m/S2	10-10kHz
46	2025-10-06 12:59:43	Ap	36.4	m/S2	10-10kHz
47	2025-10-06 12:59:44	Ap	38.2	m/S2	10-10kHz
48	2025-10-06 12:59:45	Ap	43.8	m/S2	10-10kHz
49	2025-10-06 12:59:46	Ap	37.5	m/S2	10-10kHz
50	2025-10-06 12:59:47	Ap	36.4	m/S2	10-10kHz
51	2025-10-06 12:59:48	Ap	36.3	m/S2	10-10kHz
52	2025-10-06 12:59:49	Ap	34.7	m/S2	10-10kHz



53	2025-10-06 12:59:50	Ap	37.5	m/S2	10-10kHz
54	2025-10-06 12:59:51	Ap	44.0	m/S2	10-10kHz
55	2025-10-06 12:59:52	Ap	34.9	m/S2	10-10kHz
56	2025-10-06 12:59:53	Ap	36.1	m/S2	10-10kHz
57	2025-10-06 12:59:54	Ap	36.2	m/S2	10-10kHz
58	2025-10-06 12:59:55	Ap	41.1	m/S2	10-10kHz
59	2025-10-06 12:59:56	Ap	39.3	m/S2	10-10kHz
60	2025-10-06 12:59:57	Ap	37.4	m/S2	10-10kHz

Durante el ensayo con carga, las lecturas obtenidas presentaron un rango de aceleración entre 31.8 y 47.0 m/s<sup>2</sup>, con una media aproximada de 38 m/s<sup>2</sup>. Estos valores, registrados dentro del rango de frecuencia de 10 Hz a 10 kHz, son considerablemente más altos que los observados en la condición sin carga, donde el promedio fue de 30 a 35 m/s<sup>2</sup>. Se confirma que la carga aplicada eleva la amplitud de las vibraciones las cuales incrementan los esfuerzos en el rodamiento dañado.

Según la norma ISO 10816-3, no cumple con los límites aceptables para motores de baja potencia montados sobre base rígida, ya que su nivel de aceleración excede ampliamente dichos límites colocándolo en una zona de severidad crítica. Los defectos en los rodamientos, como picaduras, fisuras o deformaciones en los elementos rodantes se asocian con las elevadas vibraciones. El valor que alcanza es superior a 40 m/s<sup>2</sup> confirmando así que la vida útil del rodamiento llegó a su fin, provocando el desbalance dinámico por los impactos repetitivos.

Cuando el motor bajo carga presenta un aumento en la vibración también sugiere un fallo catastrófico, ya que las tensiones adicionales pueden acelerar la propagación del daño, afectando el eje, los sellos y los soportes del motor. Para continuar con la operación se sugiere el reemplazo del rodamiento urgente porque compromete el rendimiento sino también la seguridad del equipo.

En la Fig. 43 se presenta la ilustración de la aceleración del motor con daño en el rodamiento con carga.

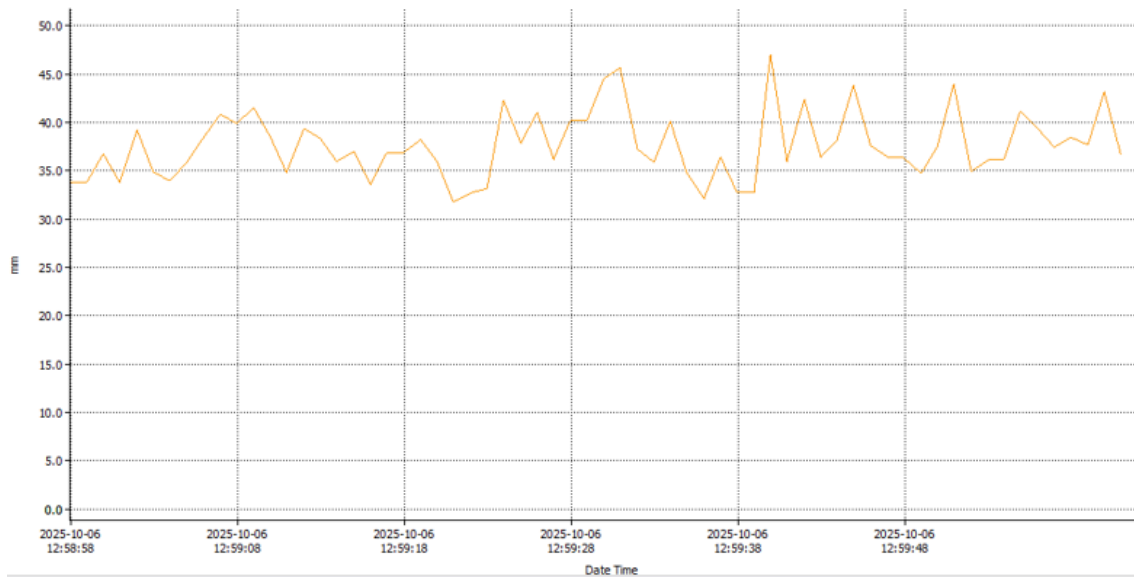


Fig 43. Ilustración de aceleración del motor con daño en el rodamiento con carga.

En el gráfico se puede apreciar picos de amplitud muy pronunciados y una forma de onda irregular, con oscilaciones bruscas que superan los 45  $m/s^2$ . El patrón vibracional es característico de un rodamiento extremadamente dañado y sometido a esfuerzos variables. Las fluctuaciones muestran la existencia de impactos mecánicos intensos entre las partes internas del rodamiento, el cual aumenta por la carga aplicada.

El resultado es un comportamiento altamente inestable, con una transferencia continua de energía vibracional hacia la estructura del motor. La señal no muestra una tendencia estable, sino pulsos de alta energía repetitivos, característicos de vibraciones impulsivas. Estas aparecen cuando los defectos en las pistas o las esferas del rodamiento generan impactos con cada rotación, provocando excitaciones de las frecuencias naturales del sistema.

En conjunto, tanto los valores medidos como el gráfico confirman que el sistema opera en condiciones de desequilibrio dinámico severo, con un nivel de vibración que supera los límites permisibles según norma ISO 10816-3. Por lo tanto, se recomienda realizar una sustitución inmediata del rodamiento y una revisión completa del eje y los soportes, asegurando la integridad mecánica del conjunto antes de retomar la operación normal del motor.



## Velocidad

En la Tabla 19 se detalla la medición de la velocidad del motor con daño en el rodamiento con carga.

**Tabla 18.** Tabla de medición de velocidad del motor con daño en el rodamiento con carga

No.	Date/Time	Function	Value	Unit	Frequency (Hz)
1	2025-10-06 13:01:45	Vrms	0.00	cm/s	10-1kHz
2	2025-10-06 13:01:47	Vrms	0.00	cm/s	10-1kHz
3	2025-10-06 13:01:48	Vrms	0.14	cm/s	10-1kHz
4	2025-10-06 13:01:48	Vrms	1.11	cm/s	10-1kHz
5	2025-10-06 13:01:49	Vrms	1.14	cm/s	10-1kHz
6	2025-10-06 13:01:50	Vrms	1.14	cm/s	10-1kHz
7	2025-10-06 13:01:52	Vrms	1.94	cm/s	10-1kHz
8	2025-10-06 13:01:53	Vrms	1.94	cm/s	10-1kHz
9	2025-10-06 13:01:54	Vrms	2.30	cm/s	10-1kHz
10	2025-10-06 13:01:55	Vrms	2.30	cm/s	10-1kHz
11	2025-10-06 13:01:56	Vrms	2.26	cm/s	10-1kHz
12	2025-10-06 13:01:57	Vrms	2.30	cm/s	10-1kHz
13	2025-10-06 13:01:58	Vrms	2.30	cm/s	10-1kHz
14	2025-10-06 13:01:59	Vrms	2.24	cm/s	10-1kHz
15	2025-10-06 13:02:00	Vrms	2.10	cm/s	10-1kHz
16	2025-10-06 13:02:01	Vrms	2.10	cm/s	10-1kHz
17	2025-10-06 13:02:02	Vrms	1.56	cm/s	10-1kHz
18	2025-10-06 13:02:03	Vrms	1.56	cm/s	10-1kHz
19	2025-10-06 13:02:04	Vrms	0.11	cm/s	10-1kHz
20	2025-10-06 13:02:05	Vrms	0.11	cm/s	10-1kHz
21	2025-10-06 13:02:06	Vrms	0.11	cm/s	10-1kHz
22	2025-10-06 13:02:07	Vrms	1.30	cm/s	10-1kHz
23	2025-10-06 13:02:08	Vrms	1.30	cm/s	10-1kHz
24	2025-10-06 13:02:09	Vrms	1.30	cm/s	10-1kHz
25	2025-10-06 13:02:10	Vrms	1.59	cm/s	10-1kHz
26	2025-10-06 13:02:11	Vrms	1.73	cm/s	10-1kHz
27	2025-10-06 13:02:12	Vrms	1.73	cm/s	10-1kHz
28	2025-10-06 13:02:13	Vrms	1.81	cm/s	10-1kHz
29	2025-10-06 13:02:14	Vrms	1.81	cm/s	10-1kHz



29	2025-10-06 13:02:14	Vrms	1.81	cm/s	10-1kHz
30	2025-10-06 13:02:15	Vrms	1.59	cm/s	10-1kHz
31	2025-10-06 13:02:16	Vrms	1.78	cm/s	10-1kHz
32	2025-10-06 13:02:17	Vrms	1.78	cm/s	10-1kHz
33	2025-10-06 13:02:18	Vrms	1.63	cm/s	10-1kHz
34	2025-10-06 13:02:19	Vrms	1.60	cm/s	10-1kHz
35	2025-10-06 13:02:20	Vrms	1.60	cm/s	10-1kHz
36	2025-10-06 13:02:21	Vrms	1.68	cm/s	10-1kHz
37	2025-10-06 13:02:22	Vrms	1.60	cm/s	10-1kHz
38	2025-10-06 13:02:23	Vrms	1.46	cm/s	10-1kHz
39	2025-10-06 13:02:24	Vrms	1.40	cm/s	10-1kHz
40	2025-10-06 13:02:25	Vrms	1.40	cm/s	10-1kHz
41	2025-10-06 13:02:26	Vrms	1.65	cm/s	10-1kHz
42	2025-10-06 13:02:27	Vrms	1.70	cm/s	10-1kHz
43	2025-10-06 13:02:28	Vrms	1.70	cm/s	10-1kHz
44	2025-10-06 13:02:29	Vrms	1.65	cm/s	10-1kHz
45	2025-10-06 13:02:30	Vrms	1.64	cm/s	10-1kHz
46	2025-10-06 13:02:31	Vrms	1.64	cm/s	10-1kHz
47	2025-10-06 13:02:32	Vrms	1.94	cm/s	10-1kHz
48	2025-10-06 13:02:33	Vrms	1.94	cm/s	10-1kHz
49	2025-10-06 13:02:34	Vrms	2.14	cm/s	10-1kHz
50	2025-10-06 13:02:35	Vrms	2.10	cm/s	10-1kHz
51	2025-10-06 13:02:36	Vrms	2.10	cm/s	10-1kHz
52	2025-10-06 13:02:37	Vrms	2.35	cm/s	10-1kHz
53	2025-10-06 13:02:38	Vrms	2.29	cm/s	10-1kHz
54	2025-10-06 13:02:39	Vrms	2.29	cm/s	10-1kHz
55	2025-10-06 13:02:40	Vrms	2.11	cm/s	10-1kHz
56	2025-10-06 13:02:41	Vrms	2.25	cm/s	10-1kHz
57	2025-10-06 13:02:42	Vrms	2.25	cm/s	10-1kHz
58	2025-10-06 13:02:43	Vrms	2.16	cm/s	10-1kHz
59	2025-10-06 13:02:44	Vrms	2.16	cm/s	10-1kHz
60	2025-10-06 13:02:45	Vrms	2.17	cm/s	10-1kHz

En la medición de velocidad con el motor bajo carga y manteniendo el rodamiento dañado, los valores obtenidos se ubicaron en un rango de 0.00 a 2.35 cm/s, con un promedio aproximado de 1.8 cm/s dentro de la banda de frecuencia de 10 Hz a 1 kHz. Al



verificar los resultados se confirma el incremento del esfuerzo mecánico sobre el eje amplifica la respuesta vibracional, ya que las amplitudes promedio observadas rondan entre 1.6 y 1.9 cm/s.

Según la norma ISO 10816-3, para motores eléctricos de baja potencia (hasta 15 kW) montados sobre una base rígida, dentro del rango aceptable la vibración en velocidad debe mantenerse por debajo de 1.8 cm/s RMS. Los datos muestran que los valores se sitúan muy próximas o ligeramente por encima de este rango, ubicando al equipo en una zona de vibración elevada (zona C). el motor puede seguir funcionando por un tiempo limitado, sin embargo, requiere mantenimiento correctivo urgente para evitar daños mayores.

Al verificar que las variaciones se encuentran entre 1.4 y 2.3 cm/s, se puede decir que el deterioro del rodamiento está relacionado con los impactos internos provocan fluctuaciones en la velocidad vibracional.

Estas oscilaciones son típicas de un contacto irregular entre las pistas y los elementos rodantes, que genera resonancias localizadas en frecuencias medias. Bajo carga, estas irregularidades se acentúan, debido al aumento de la fricción y del torque de arrastre.

En consecuencia, se confirma que el rodamiento presenta un nivel de daño avanzado, capaz de afectar progresivamente la alineación del eje y la eficiencia mecánica del motor. Si la vibración no se corrige, podría generar fatiga estructural en la carcasa o acoplamientos, reduciendo la vida útil del sistema.

En la Fig. 44 se presenta la ilustración de la velocidad del motor con daño en el rodamiento con carga.

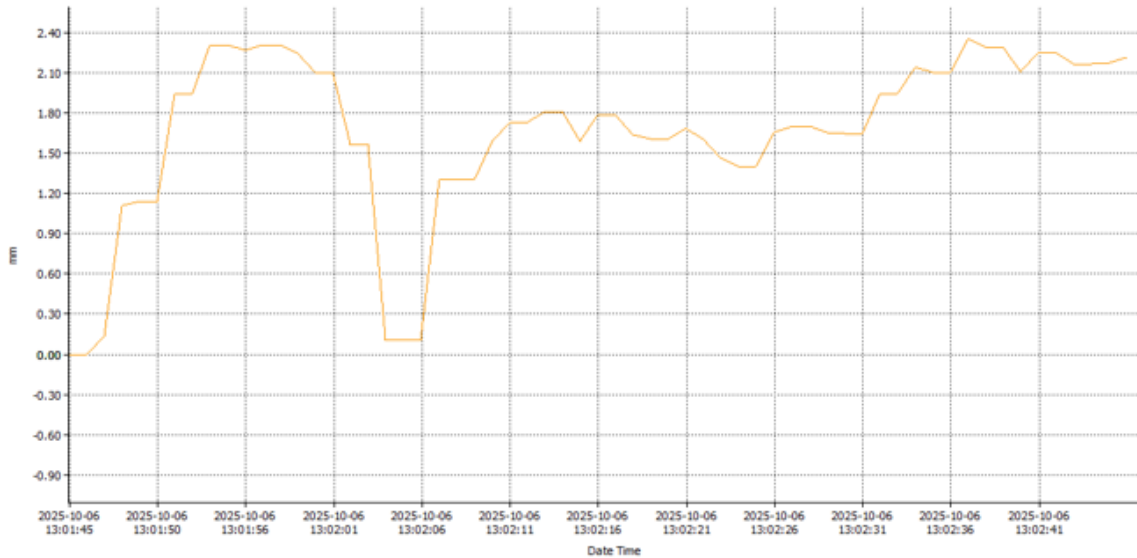


Fig 44. Ilustración de velocidad del motor con daño en el rodamiento con carga.

El presente gráfico corresponde a la velocidad donde se observa unos picos irregulares, dispersos y amplitud notables en sus variaciones, principalmente entre los instantes en los que se alcanzan valores máximos de 2.3 cm/s. La característica de un rodamiento defectuoso en operación bajo carga, es la distribución no uniforme de las vibraciones aleatorias y de tipo impulsivo.

Se verifica que las fluctuaciones periódicas seguidas de intervalos de baja amplitud, no son constantes en toda la superficie de rodamiento, sino localizados en ciertos puntos de contacto. La onda crece gradualmente siendo una señal de desgaste irregular y de una resonancia estructural moderada inducida por la carga aplicada.

Se observa un incremento en la magnitud y frecuencia de los picos, que demuestra que la vibración se intensifica con la presencia de torque en el eje, al comparar la condición de carga y sin carga. Este patrón confirma la necesidad de una intervención inmediata, siendo recomendable el reemplazo del rodamiento y la verificación de la alineación del conjunto motor-carga.

**Desplazamiento**

En la Tabla 20 se detalla la medición de desplazamiento del motor con daño en el rodamiento con carga.

**Tabla 19.** Tabla de medición de desplazamiento del motor con daño en el rodamiento con carga



No.	Date/Time	Function	Value	Unit	Frequency (Hz)
1	2025-10-06 13:16:06	Dp-p	.148	mm	10-500Hz
2	2025-10-06 13:16:07	Dp-p	.148	mm	10-500Hz
3	2025-10-06 13:16:08	Dp-p	.125	mm	10-500Hz
4	2025-10-06 13:16:09	Dp-p	.118	mm	10-500Hz
5	2025-10-06 13:16:10	Dp-p	.118	mm	10-500Hz
6	2025-10-06 13:16:11	Dp-p	.075	mm	10-500Hz
7	2025-10-06 13:16:12	Dp-p	.075	mm	10-500Hz
8	2025-10-06 13:16:13	Dp-p	.083	mm	10-500Hz
9	2025-10-06 13:16:14	Dp-p	.119	mm	10-500Hz
10	2025-10-06 13:16:15	Dp-p	.119	mm	10-500Hz
11	2025-10-06 13:16:16	Dp-p	.121	mm	10-500Hz
12	2025-10-06 13:16:17	Dp-p	.119	mm	10-500Hz
13	2025-10-06 13:16:18	Dp-p	.119	mm	10-500Hz
14	2025-10-06 13:16:19	Dp-p	.067	mm	10-500Hz
15	2025-10-06 13:16:20	Dp-p	.069	mm	10-500Hz
16	2025-10-06 13:16:21	Dp-p	.069	mm	10-500Hz
17	2025-10-06 13:16:22	Dp-p	.085	mm	10-500Hz
18	2025-10-06 13:16:23	Dp-p	.085	mm	10-500Hz
19	2025-10-06 13:16:24	Dp-p	.119	mm	10-500Hz
20	2025-10-06 13:16:25	Dp-p	.119	mm	10-500Hz
21	2025-10-06 13:16:26	Dp-p	.119	mm	10-500Hz
22	2025-10-06 13:16:27	Dp-p	.118	mm	10-500Hz
23	2025-10-06 13:16:28	Dp-p	.118	mm	10-500Hz
24	2025-10-06 13:16:29	Dp-p	.118	mm	10-500Hz
25	2025-10-06 13:16:30	Dp-p	.118	mm	10-500Hz
26	2025-10-06 13:16:31	Dp-p	.118	mm	10-500Hz
27	2025-10-06 13:16:32	Dp-p	.135	mm	10-500Hz
28	2025-10-06 13:16:33	Dp-p	.095	mm	10-500Hz
29	2025-10-06 13:16:34	Dp-p	.095	mm	10-500Hz
30	2025-10-06 13:16:35	Dp-p	.089	mm	10-500Hz
31	2025-10-06 13:16:36	Dp-p	.123	mm	10-500Hz
32	2025-10-06 13:16:37	Dp-p	.123	mm	10-500Hz
33	2025-10-06 13:16:38	Dp-p	.117	mm	10-500Hz



34	2025-10-06 13:16:39	Dp-p	.117	mm	10-500Hz
35	2025-10-06 13:16:40	Dp-p	.112	mm	10-500Hz
36	2025-10-06 13:16:41	Dp-p	.113	mm	10-500Hz
37	2025-10-06 13:16:42	Dp-p	.113	mm	10-500Hz
38	2025-10-06 13:16:43	Dp-p	.112	mm	10-500Hz
39	2025-10-06 13:16:44	Dp-p	.118	mm	10-500Hz
40	2025-10-06 13:16:45	Dp-p	.118	mm	10-500Hz
41	2025-10-06 13:16:46	Dp-p	.117	mm	10-500Hz
42	2025-10-06 13:16:47	Dp-p	.117	mm	10-500Hz
43	2025-10-06 13:16:48	Dp-p	.130	mm	10-500Hz
44	2025-10-06 13:16:49	Dp-p	.123	mm	10-500Hz
45	2025-10-06 13:16:50	Dp-p	.123	mm	10-500Hz
46	2025-10-06 13:16:51	Dp-p	.089	mm	10-500Hz
47	2025-10-06 13:16:52	Dp-p	.088	mm	10-500Hz
48	2025-10-06 13:16:53	Dp-p	.088	mm	10-500Hz
49	2025-10-06 13:16:54	Dp-p	.094	mm	10-500Hz
50	2025-10-06 13:16:55	Dp-p	.094	mm	10-500Hz
51	2025-10-06 13:16:56	Dp-p	.101	mm	10-500Hz
52	2025-10-06 13:16:57	Dp-p	.128	mm	10-500Hz
53	2025-10-06 13:16:58	Dp-p	.128	mm	10-500Hz
54	2025-10-06 13:16:59	Dp-p	.145	mm	10-500Hz
55	2025-10-06 13:17:00	Dp-p	.130	mm	10-500Hz
56	2025-10-06 13:17:01	Dp-p	.130	mm	10-500Hz
57	2025-10-06 13:17:02	Dp-p	.129	mm	10-500Hz
58	2025-10-06 13:17:03	Dp-p	.129	mm	10-500Hz
59	2025-10-06 13:17:04	Dp-p	.136	mm	10-500Hz
60	2025-10-06 13:17:05	Dp-p	.119	mm	10-500Hz

Durante la medición de desplazamiento en la condición de motor bajo carga y con un rodamiento dañado, los valores obtenidos se encuentran en el rango de 0.067 mm a 0.148 mm pico a pico, con un promedio aproximado de 0.115 mm, dentro del rango de frecuencia de 10 Hz a 500 Hz. El esfuerzo adicional impuesto al eje incrementa las deformaciones radiales causadas por el defecto en el rodamiento, el nivel de desplazamiento es mayor con respecto al registro sin carga.



Según la norma ISO 7919-3, para motores eléctricos de baja potencia (menores a 15 kW), el rango aceptable de desplazamiento debe mantenerse por debajo de 0.06 mm (pico a pico) para considerarse aceptable. El valor promedio de 0.115 mm supera considerablemente el límite establecido, lo que ubica al motor en la zona D, correspondiente a una condición crítica de vibración. Quiere decir que el motor no debe continuar operando sin una intervención inmediata, ya que el daño podría causar una falla mecánica grave.

El aumento del desplazamiento está relacionado con la pérdida de rigidez en el sistema de apoyo, producto del desgaste del rodamiento. Al aplicarse carga las fuerzas dinámicas se amplifican y el eje tiende a desviarse de su alineación normal que provoca un movimiento radial oscilatorio. Este patón es propio de un rodamiento con juego excesivo o deformación de los elementos rodantes, condición que desencadena una amplitud de la vibración en aceleración y velocidad.

Bajo condiciones de carga, los resultados demuestran que una deformación estructural está asociada directamente al daño en el rodamiento. Esta condición ratifica la necesidad de sustituir el conjunto rotor-eje para evitar futuras fallas.

En la Fig. 45 se presenta la ilustración del desplazamiento del motor con daño en el rodamiento con carga.

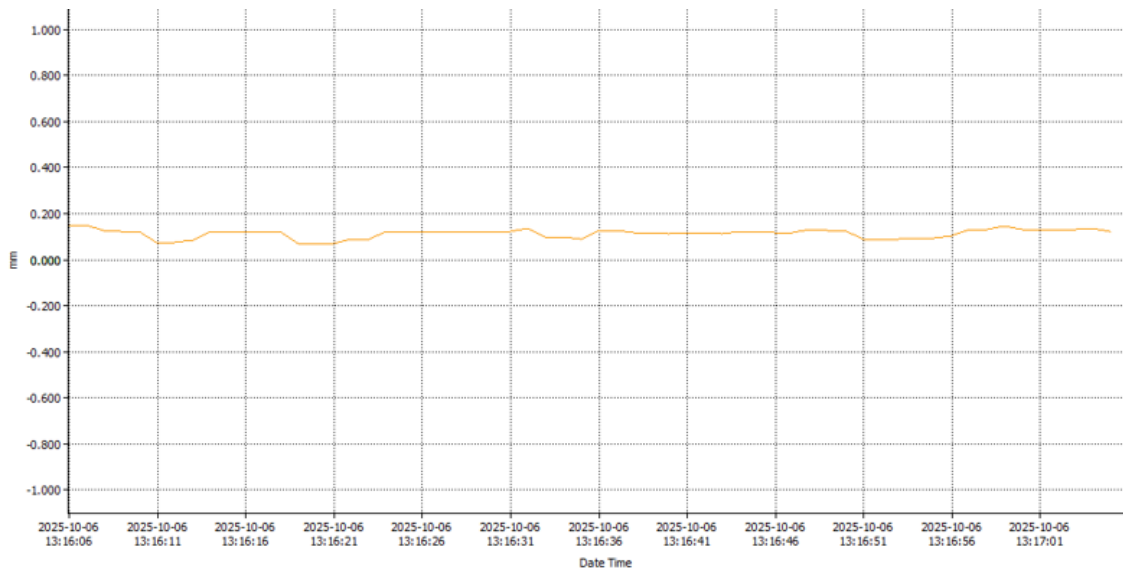


Fig 45. Ilustración de desplazamiento del motor con daño en el rodamiento con carga.

El gráfico correspondiente al desplazamiento presenta una tendencia fluctuante y con picos repetitivos, destacándose máximos de hasta 0.148 mm, los cuales reflejan las zonas de mayor impacto entre los elementos rodantes y las pistas del rodamiento. Se observa una variabilidad irregular en las amplitudes, lo que es típico de un comportamiento vibracional no estable causado por un desgaste mecánico avanzado.

Se observa periodos con amplitudes medias (0.11 mm) intercalados con picos acentuados, sugiriendo la presencia de golpes mecánicos discontinuos. Dichos impulsos se producen cuando entra en contacto las zonas de carga del eje con los defectos del rodamiento. Cuando la carga incrementa la presión sobre los componentes deteriorados se evidencia que la curva amplifica la vibración en frecuencias bajas en resonancias locales.

En comparación con el análisis previo sin carga, se observa un incremento claro de las amplitudes pico a pico, lo cual corrobora que la condición de carga exacerba las vibraciones estructurales. El desplazamiento obtenido es significativamente superior al límite recomendado por la norma, lo que confirma que el sistema se encuentra en una etapa de deterioro severo y requiere mantenimiento correctivo inmediato.



#### 4.2.7 Motor con daño total al vacío

Al evaluar esta condición se considera el comportamiento vibracional del motor trifásico de 1 HP cuando opera sin carga (al vacío) muestra un desgaste avanzado tanto en el eje como en el rodamiento. Las condiciones reflejan un escenario desfavorable, donde la pérdida de rigidez mecánica y el aumento de las holguras internas ocasionan un desequilibrio significativo en el sistema rotativo. El probador de vibraciones UT315A utilizado para la recolección de datos permiten cuantificar la magnitud de las vibraciones en la aceleración, demostrando los efectos combinados del deterioro mecánico y del contacto irregular entre los elementos móviles. El propósito de este análisis es determinar el nivel de severidad de las vibraciones y establecer si el equipo se encuentra en una condición crítica que justifique su inmediata intervención o reemplazo.

#### Aceleración

En la Tabla 21 se detalla la medición de aceleración del motor con daño total al vacío.

**Tabla 20.** Tabla de medición de aceleración del motor con daño total al vacío



No.	Date/Time	Function	Value	Unit	Frequency (Hz)
1	2025-10-06 13:34:53	Ap	117.9	m/S2	10-10kHz
2	2025-10-06 13:34:54	Ap	139.5	m/S2	10-10kHz
3	2025-10-06 13:34:55	Ap	152.1	m/S2	10-10kHz
4	2025-10-06 13:34:57	Ap	110.2	m/S2	10-10kHz
5	2025-10-06 13:34:57	Ap	146.0	m/S2	10-10kHz
6	2025-10-06 13:34:58	Ap	172.8	m/S2	10-10kHz
7	2025-10-06 13:34:59	Ap	167.7	m/S2	10-10kHz
8	2025-10-06 13:35:01	Ap	167.6	m/S2	10-10kHz
9	2025-10-06 13:35:01	Ap	176.2	m/S2	10-10kHz
10	2025-10-06 13:35:02	Ap	178.8	m/S2	10-10kHz
11	2025-10-06 13:35:03	Ap	178.2	m/S2	10-10kHz
12	2025-10-06 13:35:05	Ap	171.7	m/S2	10-10kHz
13	2025-10-06 13:35:05	Ap	167.2	m/S2	10-10kHz
14	2025-10-06 13:35:06	Ap	159.9	m/S2	10-10kHz
15	2025-10-06 13:35:07	Ap	153.1	m/S2	10-10kHz
16	2025-10-06 13:35:08	Ap	175.0	m/S2	10-10kHz
17	2025-10-06 13:35:09	Ap	179.7	m/S2	10-10kHz
18	2025-10-06 13:35:10	Ap	167.0	m/S2	10-10kHz
19	2025-10-06 13:35:11	Ap	173.6	m/S2	10-10kHz
20	2025-10-06 13:35:13	Ap	175.4	m/S2	10-10kHz
21	2025-10-06 13:35:13	Ap	161.8	m/S2	10-10kHz
22	2025-10-06 13:35:15	Ap	168.2	m/S2	10-10kHz
23	2025-10-06 13:35:15	Ap	165.4	m/S2	10-10kHz
24	2025-10-06 13:35:16	Ap	162.0	m/S2	10-10kHz
25	2025-10-06 13:35:17	Ap	161.7	m/S2	10-10kHz
26	2025-10-06 13:35:19	Ap	175.5	m/S2	10-10kHz
27	2025-10-06 13:35:20	Ap	164.8	m/S2	10-10kHz
28	2025-10-06 13:35:21	Ap	155.0	m/S2	10-10kHz
29	2025-10-06 13:35:21	Ap	148.9	m/S2	10-10kHz
30	2025-10-06 13:35:22	Ap	95.3	m/S2	10-10kHz
31	2025-10-06 13:35:23	Ap	44.1	m/S2	10-10kHz
32	2025-10-06 13:35:24	Ap	67.8	m/S2	10-10kHz
33	2025-10-06 13:35:26	Ap	42.9	m/S2	10-10kHz
34	2025-10-06 13:35:26	Ap	42.9	m/S2	10-10kHz



Los valores de aceleración registrados muestran un aumento drástico en comparación con las condiciones anteriores. Según la norma ISO 10816, los niveles normales de vibración para motores eléctricos de baja potencia deben situarse por debajo de  $4.5 \text{ m/s}^2$ , mientras que valores superiores a  $11.2 \text{ m/s}^2$  son considerados severos, los datos varían entre  $117.9 \text{ m/s}^2$  y  $179.7 \text{ m/s}^2$ , con un valor máximo de  $179.7 \text{ m/s}^2$  en una banda de frecuencia de 10 Hz a 10 kHz., se verifica que los valores medidos en esta condición superan considerablemente los límites, señalando la operación como crítica y peligrosa.

Los altos niveles de aceleración muestran desalineaciones, impactos repetitivos y posibles resonancias evidenciando un estado de fatiga estructural. Si se suma el desgaste de los caminos de rodadura con la pérdida de concentricidad del eje, se tiene una vibración de alta frecuencia típica de contactos metálicos directos entre los elementos rodantes y las pistas internas del rodamiento. Esta condición si no se corrige, puede ocasionar la ruptura del rodamiento o daños en el eje, afectando severamente la integridad del motor.

En la Fig. 46 se presenta la ilustración de la aceleración del motor con daño total al vacío.

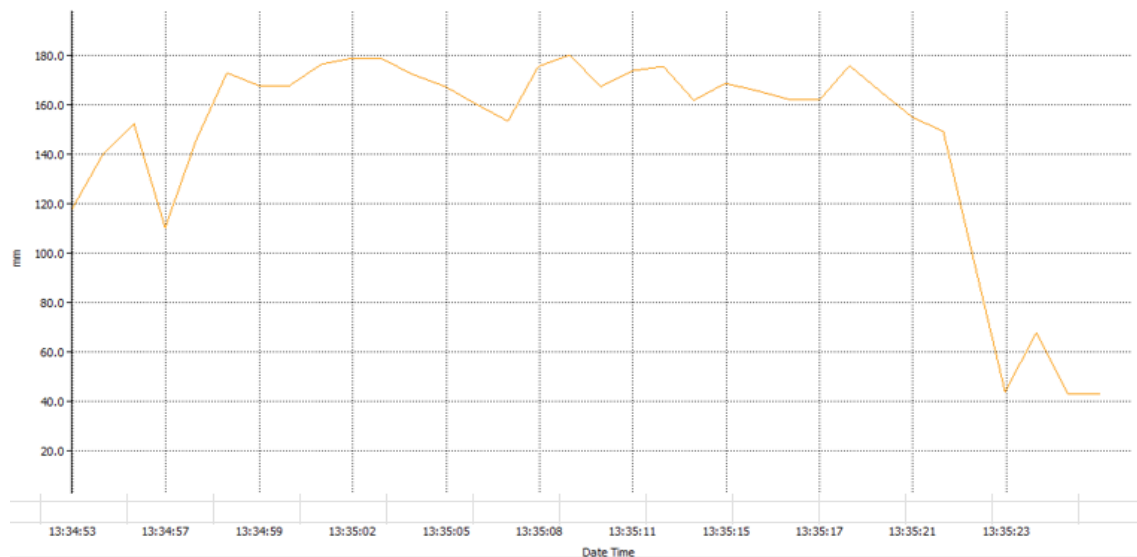


Fig 46. Ilustración de aceleración del motor con daño total al vacío.

El gráfico correspondiente a esta medición muestra un patrón vibracional altamente irregular y con picos pronunciados de amplitud, lo que confirma el carácter anómalo del comportamiento dinámico del sistema. Se observan picos de vibración que exceden de



forma sostenida los 150 m/s<sup>2</sup>, acompañados de oscilaciones abruptas que reflejan impactos mecánicos y pérdida de uniformidad en la rotación. El espectro de frecuencia revela un aumento notable de las componentes de alta frecuencia, características de fallas por fatiga del rodamiento y desgaste de eje.

Visualmente, el gráfico evidencia que la vibración no sigue un comportamiento sinusoidal estable, sino que presenta pulsos de choque repetitivos, lo que refuerza el diagnóstico de falla mecánica avanzada. En estas condiciones, el motor no es apto para operar, ya que las vibraciones no solo comprometen su rendimiento, sino que pueden ocasionar daños irreversibles en los bobinados, la carcasa y los soportes de montaje.

Los valores y el comportamiento gráfico confirman que el motor se encuentra en un estado crítico de operación, y es indispensable realizar el reemplazo inmediato de los rodamientos y una inspección completa del eje antes de ponerlo nuevamente en funcionamiento.

### Velocidad

En la Tabla 22 se detalla la medición de velocidad del motor con daño total al vacío.

**Tabla 21.** Tabla de medición de velocidad del motor con daño total al vacío

No.	Date/Time	Function	Value	Unit	Frequency (Hz)
1	2025-10-06 13:37:13	Vrms	1.18	cm/s	10-1kHz
2	2025-10-06 13:37:14	Vrms	1.18	cm/s	10-1kHz
3	2025-10-06 13:37:15	Vrms	1.18	cm/s	10-1kHz
4	2025-10-06 13:37:16	Vrms	17.23	cm/s	10-1kHz
5	2025-10-06 13:37:17	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
6	2025-10-06 13:37:18	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
7	2025-10-06 13:37:19	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
8	2025-10-06 13:37:20	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
9	2025-10-06 13:37:21	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
10	2025-10-06 13:37:22	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
11	2025-10-06 13:37:23	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
12	2025-10-06 13:37:24	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
13	2025-10-06 13:37:25	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz



14	2025-10-06 13:37:26	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
15	2025-10-06 13:37:27	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
16	2025-10-06 13:37:28	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
17	2025-10-06 13:37:29	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
18	2025-10-06 13:37:30	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
19	2025-10-06 13:37:31	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
20	2025-10-06 13:37:32	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
22	2025-10-06 13:37:34	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
23	2025-10-06 13:37:35	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
24	2025-10-06 13:37:36	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
25	2025-10-06 13:37:37	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
26	2025-10-06 13:37:38	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
27	2025-10-06 13:37:39	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
28	2025-10-06 13:37:40	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
29	2025-10-06 13:37:41	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
30	2025-10-06 13:37:42	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz

En esta medición, el valor máximo de velocidad registrado alcanza 19.98 cm/s en un rango de frecuencia de 10 Hz a 1 kHz, lo que representa un incremento drástico en comparación con las condiciones normales del motor. Según la norma ISO 10816, los niveles de vibración en velocidad (expresados en velocidad eficaz o RMS) para motores eléctricos de baja potencia (menores a 15 kW) y montados sobre bases rígidas se clasifican de la siguiente manera:

- Zona A: 0 – 0.71 cm/s (condición excelente)
- Zona B: 0.71 – 1.8 cm/s (condición aceptable)
- Zona C: 1.8 – 4.5 cm/s (condición insatisfactoria)
- Zona D: > 4.5 cm/s (condición inaceptable o crítica)

Por tanto, el valor obtenido de 19.98 cm/s coloca al motor en la zona D, correspondiente a un estado crítico de vibración. Este resultado confirma la presencia de una falla severa en los componentes rotativos, producto del desgaste simultáneo del eje y los rodamientos. El nivel de vibración registrado indica que las partes móviles están operando con contacto metálico directo, produciendo impactos mecánicos recurrentes que pueden deteriorar los bobinados, la carcasa o el soporte estructural del motor.



Al permanecer constante el valor de 19.98 cm/s durante varios segundos señala una vibración continua sin dar paso a períodos de estabilización, esta condición sugiere que la resonancia se encuentra activa dentro del rango de operación ya que el sistema ha perdido su capacidad de amortiguamiento natural. En términos prácticos, este nivel de vibración implica que el motor no debe continuar operando bajo estas condiciones, ya que podría presentar una falla catastrófica en un corto periodo de tiempo.

En la Fig. 47 se presenta la ilustración de la velocidad del motor con daño total al vacío.

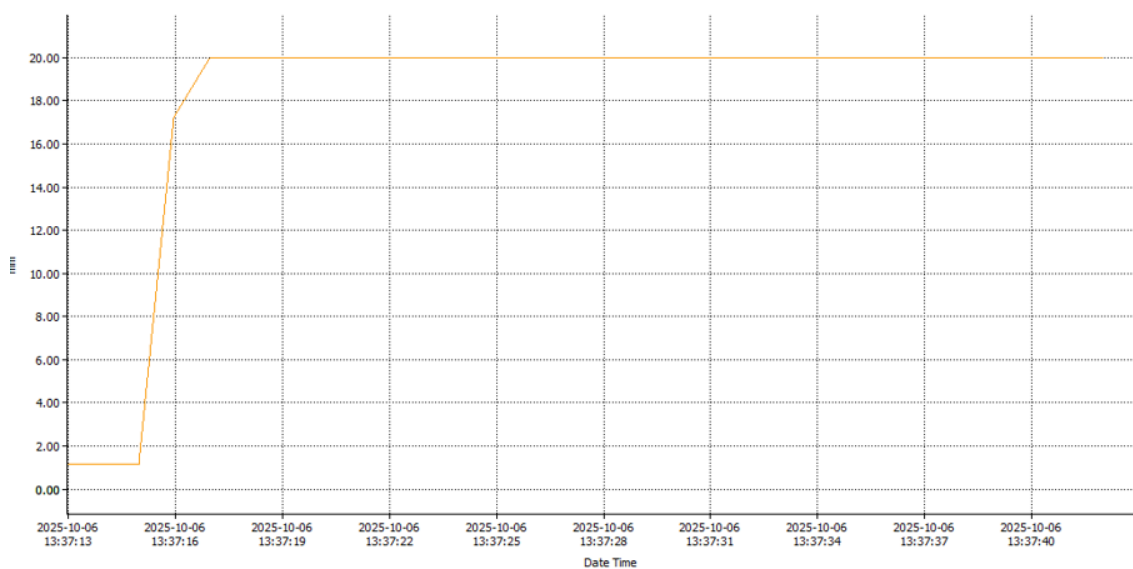


Fig 47. Ilustración de velocidad del motor con daño total al vacío.

El presente gráfico refleja un patrón vibracional considerablemente alto y sostenido, señalado por una amplitud casi constante próxima a los 20 cm/s. Se asocia probablemente a una frecuencia de fallo del rodamiento combinada con desalineación y desequilibrio severo del eje confirmando así que el sistema está sometido a una excitación constante.

Cuando el sistema ha perdido rigidez estructural, se puede apreciar la ausencia de zonas de atenuación o amortiguamiento. Se observa que las ondas de vibración son densas, poseen picos uniformes y prolongados que demuestran una vibración estable, pero de amplitud peligrosa. En una máquina con daños mecánicos acumulativos, la vibración constante de gran magnitud es típica de la fricción interna.



Esta condición reafirma que tanto el rodamiento como el eje requieren reemplazo inmediato, si se opera con esta magnitud de vibración podría originar la rotura del eje, la deformación de los alojamientos de los rodamientos y fallas eléctricas por desalineación del rotor. El gráfico afirma que el motor se encuentra en un estado límite de operación que compromete considerablemente su integridad estructural y funcional.

### Desplazamiento

En la Tabla 23 se detalla la medición del desplazamiento del motor con daño total al vacío.

**Tabla 22.** Tabla de medición de desplazamiento del motor con daño total al vacío

No.	Date/Time	Function	Value	Unit	Frequency (Hz)
1	2025-10-06 13:41:41	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
2	2025-10-06 13:41:42	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
3	2025-10-06 13:41:43	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
4	2025-10-06 13:41:44	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
5	2025-10-06 13:41:45	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
6	2025-10-06 13:41:46	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
7	2025-10-06 13:41:47	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
8	2025-10-06 13:41:48	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
9	2025-10-06 13:41:49	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
10	2025-10-06 13:41:50	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
11	2025-10-06 13:41:51	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
12	2025-10-06 13:41:52	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
13	2025-10-06 13:41:53	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
14	2025-10-06 13:41:54	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
15	2025-10-06 13:41:55	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
16	2025-10-06 13:41:56	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
17	2025-10-06 13:41:57	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
18	2025-10-06 13:41:58	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
19	2025-10-06 13:41:59	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
20	2025-10-06 13:42:00	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
21	2025-10-06 13:42:01	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
22	2025-10-06 13:42:02	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz



Durante la medición de desplazamiento correspondiente a la condición “Eje y rodamiento desgastados al vacío”, se registraron valores constantes de 1.999 mm pico a pico (Dp-p) en todo el intervalo de tiempo medido (de 13:41:41 a 13:42:02). Al no presentar variaciones ni oscilaciones aparentes en los resultados del desplazamiento, apunta que el instrumento alcanzó el límite superior de lectura o saturación del sensor.

Según la norma ISO 10816, las condiciones normales de los valores de desplazamiento para un motor eléctrico de baja potencia no deberían superar los 0.05 a 0.1 mm pico a pico. Los datos presentan un valor que supera casi 20 veces superior al rango permitido, lo cual confirma un daño severo tanto en el eje como en los rodamientos y una vibración extrema. al mantenerse el valor constante en 1.999 mm sin variaciones temporales visibles se puede decir que el sistema de medición haya llegado a su máxima capacidad de detección, limitando la posibilidad de obtener lecturas más precisas.

Dicha condición es característica de la amplitud de vibración supera la escala configurada del sensor, ocasionando que el instrumento registre mismo valor de forma continua. En este caso, el desplazamiento real podría haber sido incluso mayor a 2 mm, lo que representa un nivel de vibración mecánica crítico y peligroso, capaz de generar contacto entre el rotor y el estator, rotura de rodamientos y desalineación total del conjunto mecánico.

En la Fig. 48 se presenta la ilustración del desplazamiento del motor con daño total al vacío.

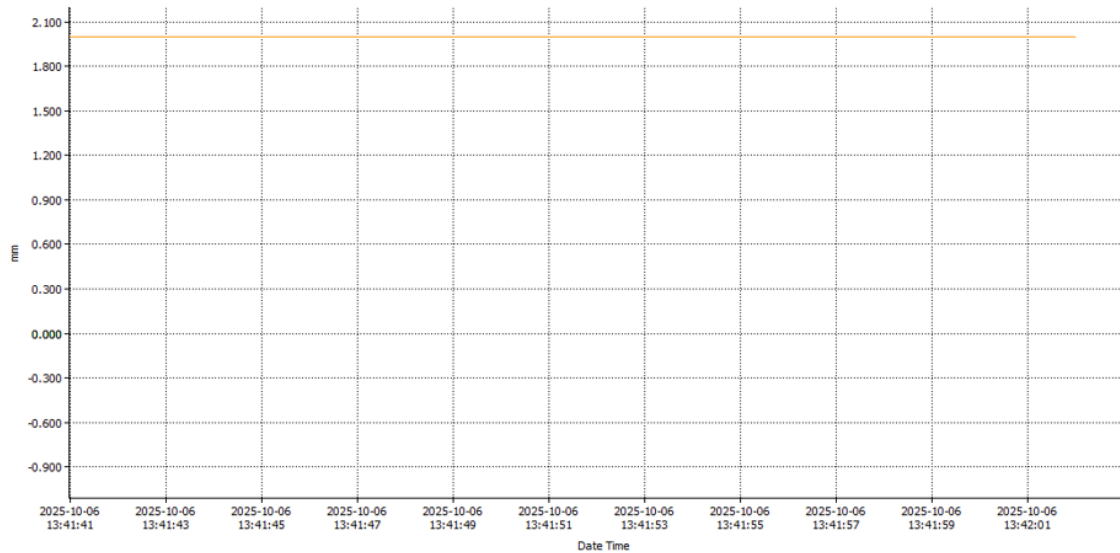


Fig 48. Ilustración de desplazamiento del motor con daño total al vacío.

El presente gráfico refleja que en la medición realizada se observa una línea plana en el valor máximo de la escala, indicando que el equipo alcanzó su límite. Se observa un valor fijo de 1.999 mm, significando que el sensor saturó su rango operativo. Desde el punto de vista técnico, establece una condición límite de operación, donde las vibraciones del motor supera la capacidad de registro del sistema de monitoreo.

Bajo esta condición extrema de eje y rodamientos desgastados se aprecia en la figura una amplitud vibracional tan dominante que el transductor no puede representar correctamente la señal. Esta condición es típica de máquinas en estado crítico de falla, donde el movimiento del eje se vuelve errático y pierde su eje geométrico de rotación.

Los datos observados en la gráfica afirman que el motor alcanzó o superó el límite de desplazamiento medible, y, es decir, se encuentra en un estado mecánico crítico. Continuar con su funcionamiento en estas condiciones podría ocasionar ruptura del eje, desprendimiento del rotor o daño irreversible en la carcasa del motor. Este resultado evidencia la necesidad de sustitución inmediata de los rodamientos y alineación completa del eje, además de verificar la base de montaje para evitar resonancias estructurales en futuras operaciones.



#### 4.2.8 Motor con daño total con carga

En esta medición se analizó el comportamiento vibracional del motor eléctrico bajo la condición más severa: eje y rodamientos desgastados operando con carga. Para determinar cómo responde el sistema mecánico cuando se le exige un mayor el esfuerzo de trabajo, es fundamental realizar esta prueba, se debe considerar que las cargas externas tienden a amplificar las vibraciones generadas por defectos mecánicos internos. El análisis en este caso se concentra en la aceleración pico ( $A_p$ ), aquella que permite identificar los impactos, desalineaciones y desequilibrios asociados con un desgaste avanzado. Paa evaluar esta condición crítica es primordial comprender los límites de operación del motor y establecer cuándo es necesario un mantenimiento correctivo o incluso la sustitución de componentes de forma inmediata.

#### Aceleración

En la Tabla 24 se detalla la medición de la aceleración del motor con daño total con carga.

**Tabla 23.** Tabla de medición de aceleración del motor con daño total con carga

No.	Date/Time	Function	Value	Unit	Frequency (Hz)
1	2025-10-06 13:43:41	Ap	58.8	m/S2	10-10kHz
2	2025-10-06 13:43:42	Ap	126.4	m/S2	10-10kHz
3	2025-10-06 13:43:43	Ap	135.4	m/S2	10-10kHz
4	2025-10-06 13:43:44	Ap	117.5	m/S2	10-10kHz
5	2025-10-06 13:43:45	Ap	129.6	m/S2	10-10kHz
6	2025-10-06 13:43:46	Ap	159.4	m/S2	10-10kHz
7	2025-10-06 13:43:47	Ap	156.2	m/S2	10-10kHz
8	2025-10-06 13:43:48	Ap	146.3	m/S2	10-10kHz
9	2025-10-06 13:43:49	Ap	150.9	m/S2	10-10kHz
10	2025-10-06 13:43:50	Ap	150.9	m/S2	10-10kHz
11	2025-10-06 13:43:51	Ap	163.5	m/S2	10-10kHz
12	2025-10-06 13:43:52	Ap	162.4	m/S2	10-10kHz
13	2025-10-06 13:43:53	Ap	154.1	m/S2	10-10kHz
14	2025-10-06 13:43:54	Ap	170.9	m/S2	10-10kHz
15	2025-10-06 13:43:55	Ap	169.9	m/S2	10-10kHz
16	2025-10-06 13:43:56	Ap	169.9	m/S2	10-10kHz



17	2025-10-06 13:43:57	Ap	169.9	m/S2	10-10kHz
18	2025-10-06 13:43:58	Ap	164.8	m/S2	10-10kHz
19	2025-10-06 13:43:59	Ap	170.3	m/S2	10-10kHz
20	2025-10-06 13:44:00	Ap	170.1	m/S2	10-10kHz
21	2025-10-06 13:44:01	Ap	169.7	m/S2	10-10kHz
22	2025-10-06 13:44:02	Ap	168.1	m/S2	10-10kHz
23	2025-10-06 13:44:03	Ap	166.6	m/S2	10-10kHz
24	2025-10-06 13:44:04	Ap	151.5	m/S2	10-10kHz
25	2025-10-06 13:44:05	Ap	149.1	m/S2	10-10kHz
26	2025-10-06 13:44:06	Ap	161.5	m/S2	10-10kHz
27	2025-10-06 13:44:07	Ap	168.7	m/S2	10-10kHz
28	2025-10-06 13:44:08	Ap	174.6	m/S2	10-10kHz
29	2025-10-06 13:44:09	Ap	97.4	m/S2	10-10kHz
30	2025-10-06 13:44:10	Ap	82.3	m/S2	10-10kHz
31	2025-10-06 13:44:11	Ap	117.1	m/S2	10-10kHz

Los valores registrados de aceleración en el rango de 58.8 a 174.6 m/s<sup>2</sup> muestran un comportamiento altamente inestable y con picos de gran magnitud. Este nivel de aceleración es considerablemente elevado para un motor de baja potencia, ya que, según los parámetros de referencia de la norma ISO 10816, los valores aceptables suelen estar por debajo de los 10 m/s<sup>2</sup> para equipos en buen estado. Se verifica que los valores superan hasta 17 veces el límite permitido, siendo un indicativo que el estado es crítico.

El incremento progresivo de la aceleración alcanzar valores superiores a 170 m/s<sup>2</sup> lo que confirma la presencia de golpeteos internos o impactos repetitivos, que son característicos de rodamientos dañados, ejes descentrados o mal asentados, y posibles deformaciones en los componentes giratorios. Los descensos abruptos en las lecturas 29 y 30, es señal de que las variaciones en la carga mecánica o momentos de pérdida de contacto entre el eje y el soporte del rodamiento, representan un desgaste severo.

Estos datos reflejan que el motor está operando en un régimen fuera de tolerancia, en el cual las fuerzas dinámicas internas podrían ocasionar fatiga del material, fisuras o incluso rotura del eje. La tendencia general muestra una alta amplitud de vibración constante, lo que evidencia que el deterioro del conjunto rotativo ha alcanzado un nivel avanzado.



En la Fig. 49 se presenta la ilustración de la aceleración del motor con daño total con carga.

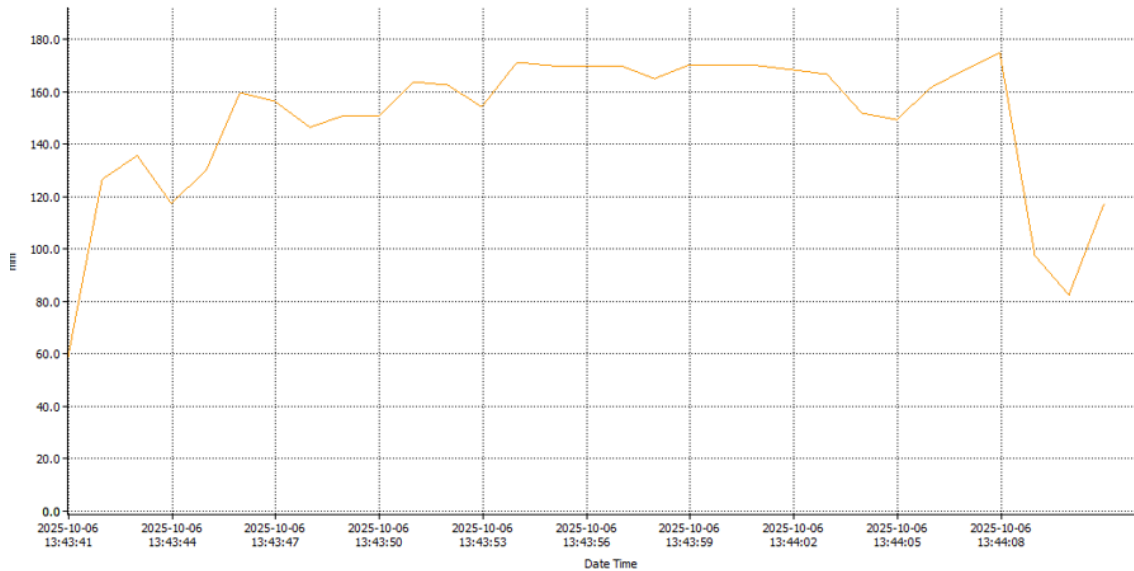


Fig 49. Ilustración de aceleración del motor con daño total con carga.

El gráfico correspondiente a esta medición presenta fluctuaciones de gran amplitud con picos pronunciados y repetitivos, lo que evidencia un comportamiento vibracional no uniforme ni balanceado. La forma del espectro sugiere la coexistencia de frecuencias armónicas y componentes de impacto, típicas de una máquina con rodamientos desgastados y holguras internas. Al permanecer la aceleración constante al tener cargas señala que el sistema no puede absorber ni disipar adecuadamente las fuerzas dinámicas, es decir, provoca un incremento exponencial en la respuesta vibracional, estas vibraciones son continuas lo cual aceleran el deterioro estructural del motor, comprometiendo la integridad del eje, los soportes y la carcasa.

Finalmente, los datos demuestran que el motor presenta un estado de falla avanzada en condición de eje y rodamientos desgastados con carga, en el cual la magnitud de aceleración supera muy por los valores los límites de seguridad mecánica.

Este resultado confirma que el equipo debe ser detenido de inmediato y sometido a un reemplazo completo de rodamientos y verificación de alineación, ya que continuar



operando bajo estas condiciones podría resultar en fallas catastróficas o daños irreversibles en la máquina.

**Velocidad**

En la Tabla 25 se detalla la medición de la velocidad del motor con daño total con carga.

**Tabla 24.** Tabla de medición de velocidad del motor con daño total con carga

No.	Date/Time	Function	Value	Unit	Frequency (Hz)
1	2025-10-06 13:45:21	Vrms	1.11	cm/s	10-1kHz
2	2025-10-06 13:45:22	Vrms	1.11	cm/s	10-1kHz
3	2025-10-06 13:45:23	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
4	2025-10-06 13:45:24	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
5	2025-10-06 13:45:25	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
6	2025-10-06 13:45:26	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
7	2025-10-06 13:45:27	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
8	2025-10-06 13:45:28	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
9	2025-10-06 13:45:29	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
10	2025-10-06 13:45:30	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
11	2025-10-06 13:45:31	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
12	2025-10-06 13:45:32	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
13	2025-10-06 13:45:33	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
14	2025-10-06 13:45:34	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
15	2025-10-06 13:45:35	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
16	2025-10-06 13:45:36	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
17	2025-10-06 13:45:37	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
18	2025-10-06 13:45:38	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
19	2025-10-06 13:45:39	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
20	2025-10-06 13:45:40	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
21	2025-10-06 13:45:41	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
22	2025-10-06 13:45:42	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
23	2025-10-06 13:45:43	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
24	2025-10-06 13:45:44	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
25	2025-10-06 13:45:45	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
26	2025-10-06 13:45:46	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
27	2025-10-06 13:45:47	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
28	2025-10-06 13:45:48	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz



29	2025-10-06 13:45:49	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz
30	2025-10-06 13:45:50	Vrms	19.98	cm/s	10-1kHz

En la medición de velocidad RMS (Vrms) bajo condiciones de eje y rodamientos desgastados con carga, se registraron valores que van desde 1.11 cm/s hasta 19.98 cm/s, observándose que la mayoría de las lecturas se mantienen en el valor máximo del rango. Este comportamiento indica que el sistema se encuentra en un nivel de vibración extremadamente alto, lo cual es un signo inequívoco de falla mecánica avanzada.

De acuerdo con la norma ISO 10816-3, para motores eléctricos de baja potencia (menores a 15 kW), los niveles de severidad vibracional se clasifican de la siguiente forma:

- 0 – 0.71 cm/s: Condición buena.
- 0.72 – 1.8 cm/s: Condición satisfactoria.
- 1.81 – 4.5 cm/s: Condición insatisfactoria (requiere mantenimiento).
- 4.5 cm/s: Condición inaceptable (riesgo de daño).

Comparando estos límites con los resultados obtenidos, los valores de 19.98 cm/s superan más de cuatro veces el límite máximo permitido, ubicando al motor dentro de una zona crítica e inoperable. El nivel de vibración que está presente es indicativo de desbalance en el conjunto rotativo balance y que los rodamientos no cumplen su función de soporte, lo que conlleva a que se produzcan impactos repetitivos que elevan la energía vibracional.

Las vibraciones son tan intensas cuando el instrumento de medición no registra valores más altos, confirmando que alcanzó su límite superior de lectura. Haciendo referencia a un escenario de rodamientos colapsados, eje deformado o contacto metálico directo entre componentes.

Las vibraciones presentes implican un riesgo inminente de rotura del eje, desgaste de los alojamientos y desalineación severa, por lo cual se propone interrumpir la operación inmediatamente para evitar un daño severo.

En la Fig. 50 se presenta la ilustración de la velocidad del motor con daño total con carga.

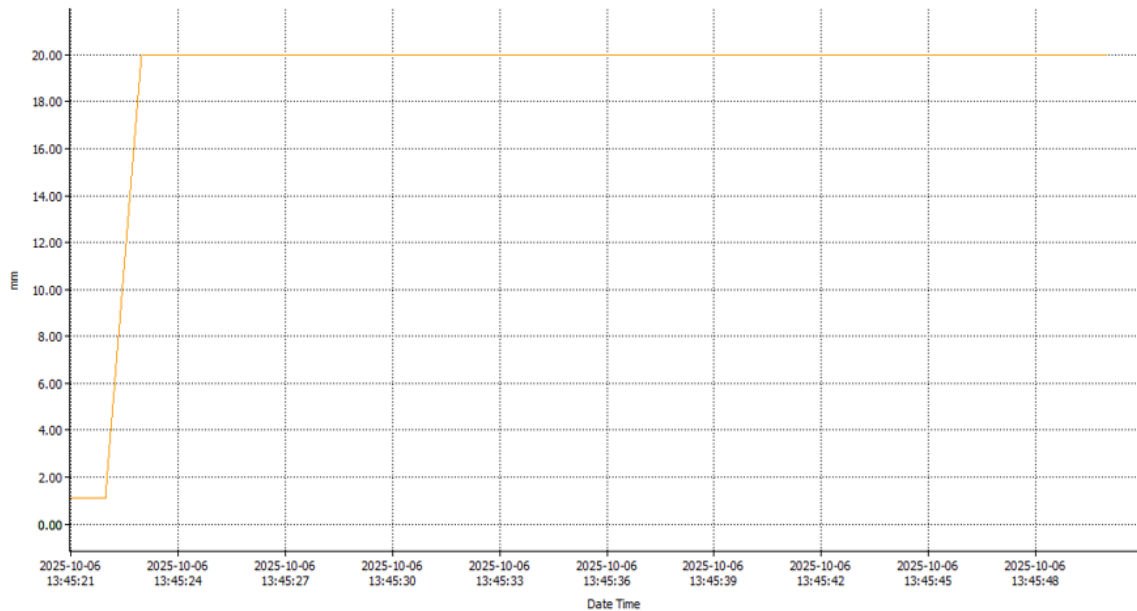


Fig 50. Ilustración de velocidad del motor con daño total con carga.

El gráfico de velocidad muestra una tendencia plana y sostenida en el valor máximo ( $\approx 19.98$  cm/s), lo que confirma que el sistema alcanzó un nivel de vibración fuera de rango normal de operación. Esta lectura constante indica que el motor presenta una resonancia estructural o condición de vibración saturada, producto del desgaste extremo de los componentes mecánicos.

El valor RMS alto y sostenido sugiere que las fuerzas dinámicas han perdido periodicidad, provocando vibraciones amplificadas por la rigidez reducida del sistema., y al realizar el diagnóstico se verifica que existe una señal constante al máximo de amplitud suele estar asociada a rodamientos totalmente deteriorados, donde el rodamiento ya no gira gradualmente, sino que produce un movimiento anómalo acompañado de impactos.

Según la norma ISO 10816, el comportamiento se encuentra en la zona D, el cual corresponde a equipos en condición intolerantes, donde el funcionamiento continuo puede provocar daños graves.

En consecuencia, se concluye que el motor con eje y rodamientos desgastados bajo carga se encuentra en un estado crítico de falla mecánica, con riesgo inmediato de rotura del sistema rotativo si continúa en operación.



## Desplazamiento

En la Tabla 26 se detalla la medición del desplazamiento del motor con daño total con carga.

**Tabla 25.** Tabla de medición de desplazamiento del motor con daño total con carga

No.	Date/Time	Function	Value	Unit	Frequency (Hz)
1	2025-10-06 13:50:59	Dp-p	.064	mm	10-500Hz
2	2025-10-06 13:51:00	Dp-p	.069	mm	10-500Hz
3	2025-10-06 13:51:01	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
4	2025-10-06 13:51:02	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
5	2025-10-06 13:51:03	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
6	2025-10-06 13:51:04	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
7	2025-10-06 13:51:05	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
8	2025-10-06 13:51:06	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
9	2025-10-06 13:51:07	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
10	2025-10-06 13:51:08	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
11	2025-10-06 13:51:10	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
12	2025-10-06 13:51:11	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
13	2025-10-06 13:51:12	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
14	2025-10-06 13:51:13	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
15	2025-10-06 13:51:14	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
16	2025-10-06 13:51:15	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
17	2025-10-06 13:51:16	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
18	2025-10-06 13:51:17	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
19	2025-10-06 13:51:18	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
20	2025-10-06 13:51:19	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
21	2025-10-06 13:51:20	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
22	2025-10-06 13:51:21	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
23	2025-10-06 13:51:22	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
24	2025-10-06 13:51:23	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
25	2025-10-06 13:51:24	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
26	2025-10-06 13:51:25	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
27	2025-10-06 13:51:26	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
28	2025-10-06 13:51:27	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
29	2025-10-06 13:51:28	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
30	2025-10-06 13:51:29	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz



Durante la medición del desplazamiento pico a pico ( $Dp-p$ ) en el motor con eje y rodamientos desgastados bajo carga, los valores iniciales fueron 0.064 mm y 0.069 mm, pero a partir de la tercera lectura se registró de forma constante 1.999 mm, manteniéndose este valor sin variaciones en las siguientes mediciones. Este comportamiento indica que el instrumento alcanzó su límite superior de medición, lo cual sugiere que las vibraciones superaron la capacidad del sensor para registrar desplazamientos mayores.

Según la norma ISO 10816-3, el desplazamiento en máquinas eléctricas pequeñas en condiciones normales de operación está entre 0.02 mm y 0.2 mm (pico a pico). Si es superior a 0.3 mm manifiesta un riesgo de daño en los componentes mecánicos, principalmente en los rodamientos y el eje.

Al presentar registro del desplazamiento sostenido de 1.999 mm, implica que las vibraciones se encuentran seis veces más por encima del límite permitido, demostrando un desalineamiento grave, falta total de rigidez estructural o rotación irregular del eje. En estas condiciones, es altamente probable que el eje esté deformado o que los rodamientos hayan perdido su integridad estructural, provocando un movimiento oscilante no controlado.

Este comportamiento confirma que el sistema se encuentra en un estado crítico de falla mecánica, donde continuar con la operación podría generar la rotura del eje, daños en el estator o carcasa, e incluso riesgos de seguridad para el entorno de trabajo.

En la Fig. 51 se presenta la ilustración del desplazamiento del motor con daño total con carga.

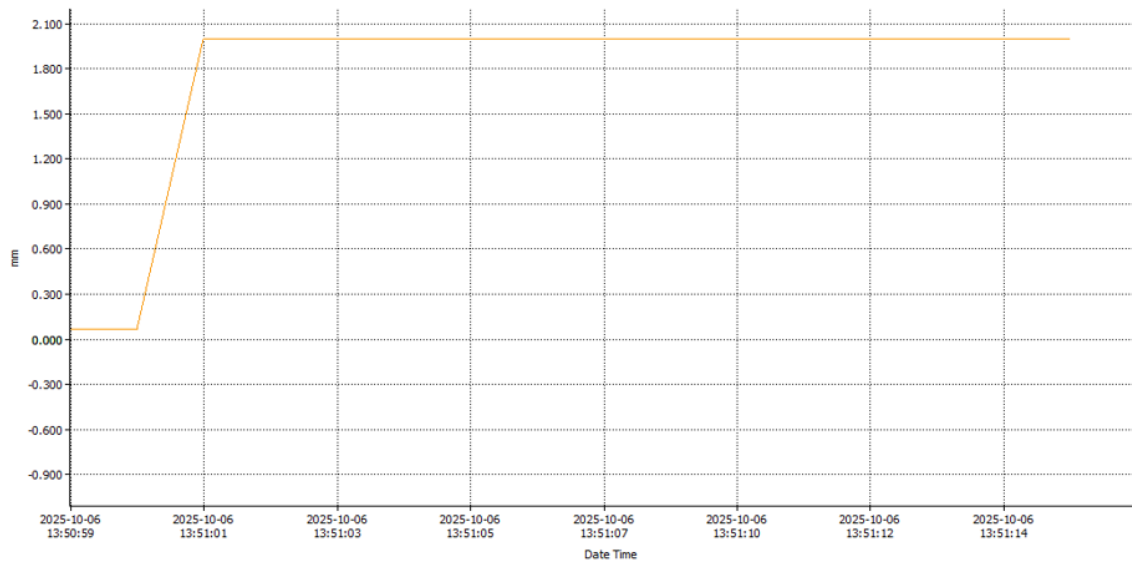


Fig 51. Ilustración de desplazamiento del motor con daño total con carga.

El presente gráfico corresponde al desplazamiento que señala una tendencia plana en el valor máximo ( $\approx 1.999$  mm), confirmando que el equipo de medición llegó a su límite superior. Este patrón observado no refleja una vibración óptima, sino una saturación del sensor excesiva, causada por el desplazamiento del eje.

Al comparar con una máquina en buen estado, el gráfico de desplazamiento señala oscilaciones suaves y periódicas, y en el presente caso se muestra una señal “recortada” y sostenida en el máximo valor, siendo característico de una vibración no lineal y de un movimiento mecánico irregular.

La norma ISO 10816, establece una clasificación, lo que basándonos en esta condición corresponde a la zona D, definida como “inaceptable”. Esta zona establece que la máquina no debe seguir operando bajo ninguna circunstancia, ya que la probabilidad de falla catastrófica es inminente.

El motor con eje y rodamientos desgastados bajo carga presenta un nivel de vibración extremo registra que el desplazamiento se encuentra fuera del rango de medición y control, lo cual indica un colapso mecánico total del sistema rotativo.



### 4.3 Comparativa general de condiciones de medición

Con el fin de facilitar la interpretación de los resultados obtenidos en las mediciones individuales, en esta sección se presentan gráficos comparativos de los valores obtenidos de vibración correspondientes a aceleración, velocidad y desplazamiento.

Los gráficos se han organizado considerando las condiciones de operación del motor al vacío y con carga aplicada, así como los distintos estados mecánicos evaluados: motor en buen estado, motor con daño en el eje, motor con daño en el rodamiento y motor con daño total. Esta organización permite visualizar de forma clara el efecto de la carga y del tipo de daño sobre el comportamiento vibratorio del motor eléctrico.

#### 4.3.1 Gráficos comparativos

##### 4.3.1.1 Aceleración

En la Fig. 52 se presenta un gráfico comparativo de la aceleración al vacío.

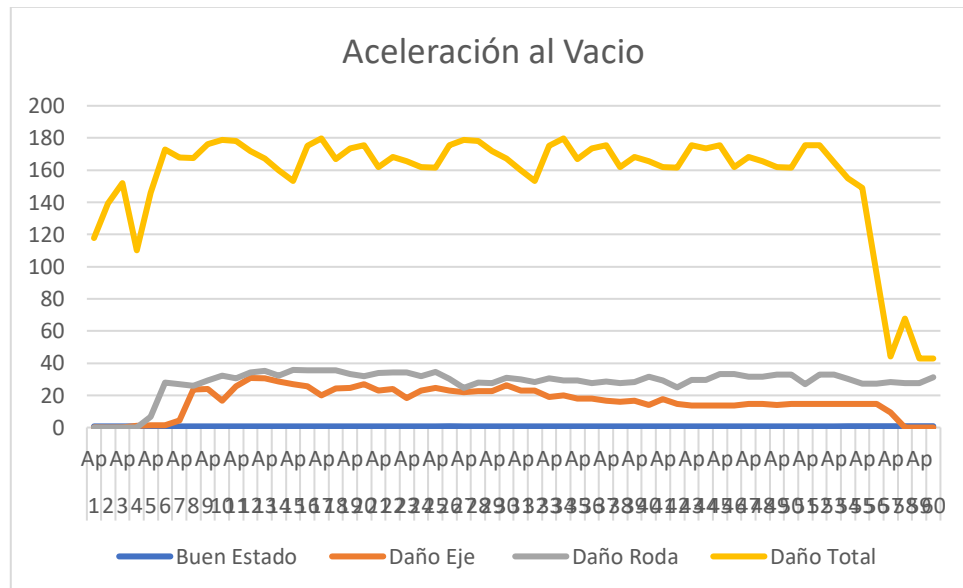


Fig 52. Gráfico comparativo de la aceleración al vacío.

Se observa un comportamiento claramente diferenciado entre las cuatro condiciones evaluadas. El motor en buen estado presenta valores bajos y estables de aceleración, sin picos significativos, lo que indica un funcionamiento mecánico adecuado y ausencia de



impactos internos. Este comportamiento es característico de un sistema correctamente alineado y balanceado.

En el caso del daño en el eje, la aceleración muestra un incremento moderado respecto al buen estado, con variaciones suaves a lo largo del tiempo. Este aumento está asociado principalmente a desbalances dinámicos, los cuales generan fuerzas periódicas que elevan la aceleración, aunque sin llegar a niveles críticos mientras el motor opera sin carga.

Para la condición de rodamiento dañado, los valores de aceleración son superiores a los del eje dañado y presentan mayor irregularidad. Este comportamiento es típico de defectos en pistas o elementos rodantes, los cuales generan micro impactos repetitivos que se reflejan directamente en el parámetro de aceleración, aun cuando el motor se encuentra al vacío.

El daño total (eje y rodamiento) muestra los niveles más altos de aceleración, con picos constantes y de gran magnitud. Esto evidencia una superposición de fenómenos: impactos internos del rodamiento y desbalance severo del eje, lo que convierte a la aceleración en un indicador altamente sensible para detectar fallas combinadas incluso sin carga aplicada.

En la Fig. 53 se presenta un gráfico comparativo de la aceleración con carga.

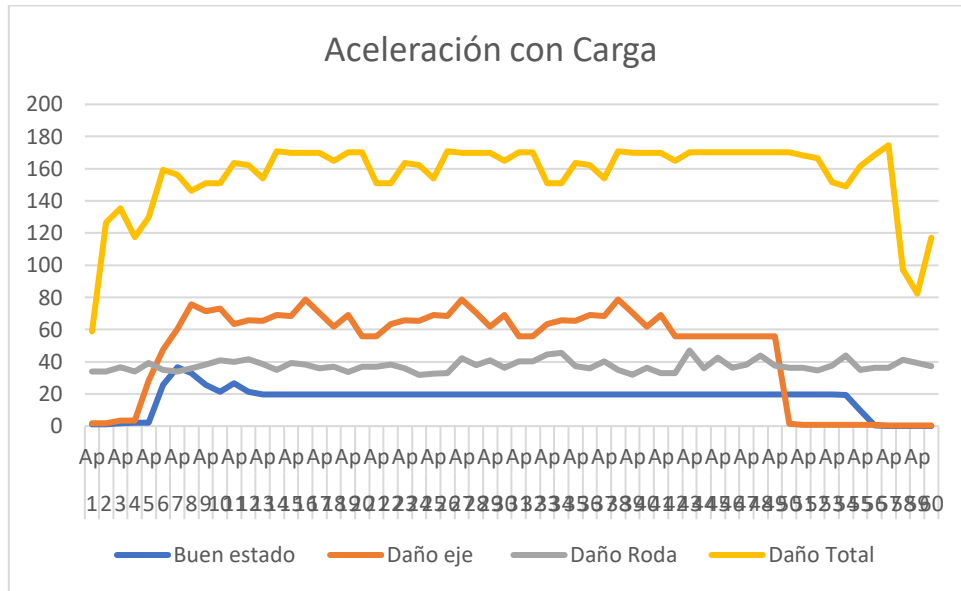


Fig 53. Gráfico comparativo de aceleración con carga.

Se evidencia un aumento generalizado de los niveles vibratorios en todas las condiciones. El motor en buen estado incrementa ligeramente su aceleración debido al esfuerzo mecánico adicional, aunque mantiene una respuesta estable y controlada, lo cual confirma su correcta condición operativa.

En la condición de eje dañado con carga, la aceleración aumenta de forma considerable respecto al vacío, mostrando picos más pronunciados. La carga amplifica el efecto del desbalance, incrementando las fuerzas centrífugas y provocando una respuesta vibratoria más severa.

El rodamiento dañado con carga presenta un comportamiento aún más crítico, con aceleraciones elevadas y fluctuaciones constantes. La carga incrementa el contacto defectuoso entre los elementos rodantes y las pistas, intensificando los impactos internos y elevando notablemente la severidad vibracional.

La condición de daño total con carga registra los valores más altos de aceleración de todo el estudio. Este escenario representa una condición operativa crítica, donde la combinación de desbalance, impactos mecánicos y carga aplicada genera un riesgo elevado de falla catastrófica, validando la importancia del análisis de aceleración como herramienta de diagnóstico temprano.



**4.3.1.2 Velocidad**

En la Fig. 54 se presenta un gráfico comparativo de velocidad al vacío.

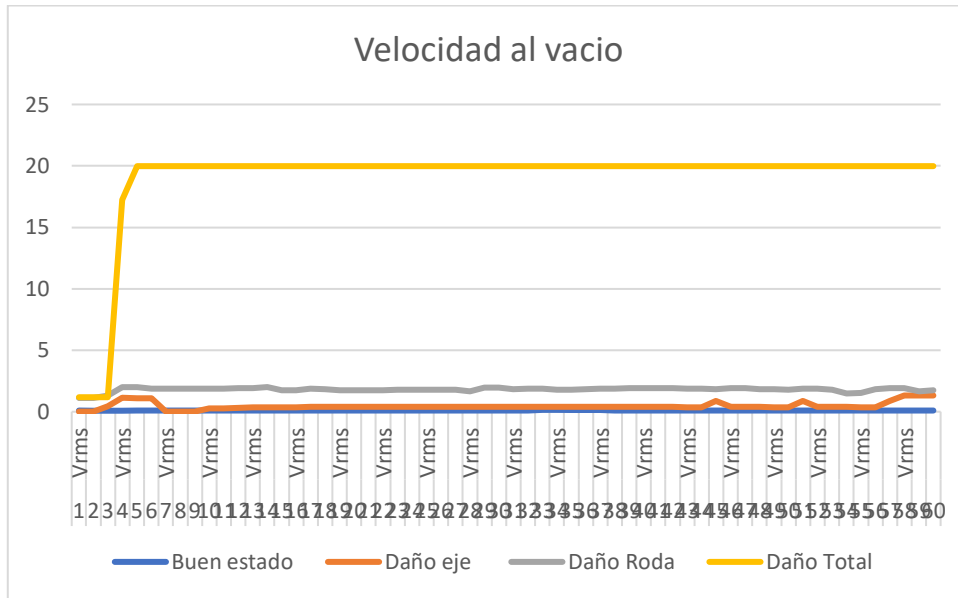


Fig 54. Gráfico comparativo de velocidad al vacío

El motor en buen estado mantiene valores bajos y prácticamente constantes, ubicándose dentro de los rangos aceptables según la norma ISO 10816, lo que confirma una operación suave y estable.

El daño en el eje muestra un ligero incremento en la velocidad RMS, reflejando vibraciones de baja frecuencia asociadas al desbalance. Estas vibraciones son más evidentes en velocidad que en aceleración cuando el defecto es predominantemente geométrico.

Para el rodamiento dañado, la velocidad se incrementa de forma moderada, aunque sin picos extremos, ya que este parámetro es menos sensible a fallas de alta frecuencia. Aun así, el aumento sostenido indica una condición mecánica degradada.

El daño total presenta valores elevados y constantes de velocidad vibratoria, evidenciando un deterioro general del sistema. Aunque el motor se encuentra al vacío, la magnitud de la vibración indica que el equipo no debería operar en estas condiciones por periodos prolongados.



En la Fig. 55 se presenta un gráfico comparativo de velocidad con carga.

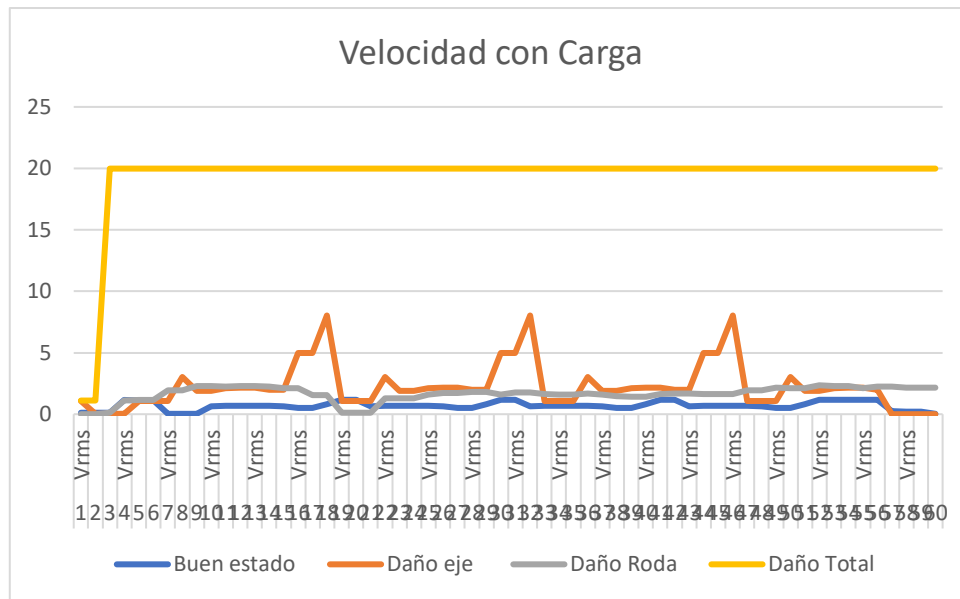


Fig 55. Gráfico comparativo de velocidad con carga.

La velocidad vibratoria aumenta en todas las condiciones. El motor en buen estado experimenta un incremento leve, manteniéndose dentro de límites aceptables y confirmando su correcto desempeño bajo condiciones normales de operación.

El eje dañado con carga presenta incrementos notables y picos intermitentes de velocidad, producto de la amplificación del desbalance bajo esfuerzo mecánico. Este comportamiento es un indicador claro de falla asociada al eje.

El rodamiento dañado con carga muestra una velocidad vibratoria más estable que el eje dañado, pero con valores superiores al buen estado, lo que refleja un deterioro progresivo del elemento rodante.

En el caso de daño total con carga, la velocidad alcanza niveles elevados y sostenidos, evidenciando una condición severa que compromete la estabilidad del motor y justifica una intervención inmediata.

**4.3.1.3 Desplazamiento**

En la Fig. 56 se presenta gráfico comparativo de desplazamiento al vacío.

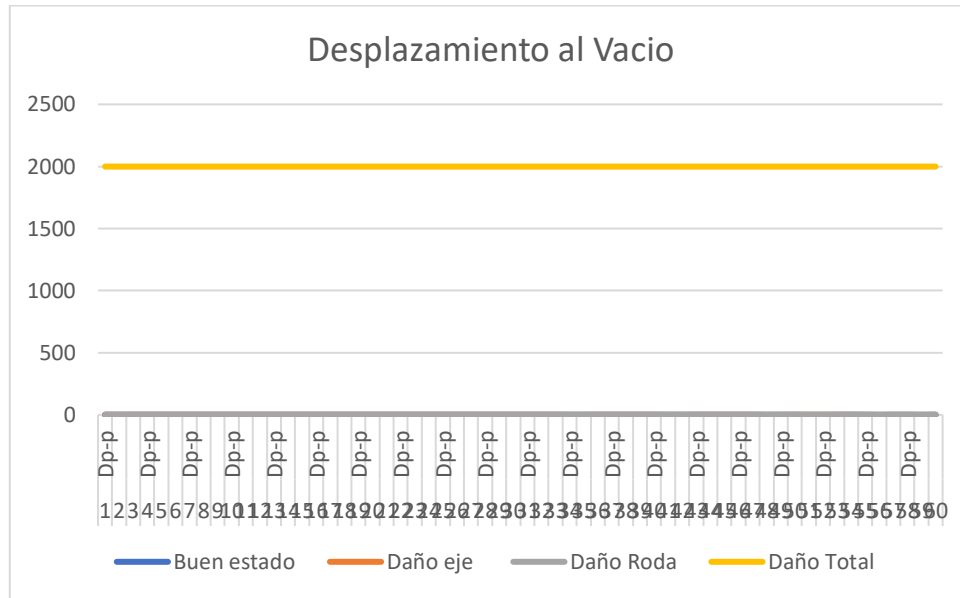


Fig 56. Gráfico comparativo de desplazamiento al vacío.

El desplazamiento pico a pico al vacío muestra valores prácticamente nulos para el motor en buen estado, lo que es característico de un sistema rígido y correctamente soportado.

Las condiciones de daño en el eje y rodamiento dañado presentan desplazamientos bajos, ya que este parámetro es menos sensible a fallas cuando no existe carga aplicada. No obstante, se observan pequeñas variaciones que indican la presencia de holguras o flexiones incipientes.

El daño total, aunque mantiene valores constantes, refleja una oscilación continua que confirma la pérdida de rigidez del sistema, incluso sin carga.

En la Fig. 57 se presenta gráfico comparativo de desplazamiento con carga

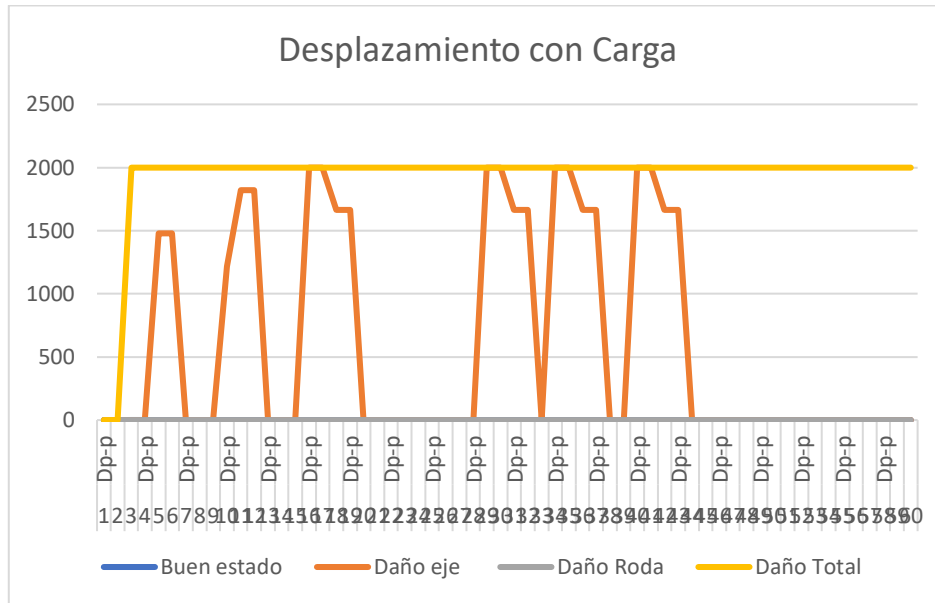


Fig 57. Gráfico comparativo de desplazamiento con carga.

El desplazamiento se convierte en un parámetro altamente revelador. El motor en buen estado sigue mostrando desplazamientos mínimos, confirmando su correcta integridad mecánica.

El eje deteriorado con carga muestra picos elevados de desplazamiento, asociados a flexión excesiva del eje y posibles holguras, representando un riesgo significativo para la integridad estructural del motor.

El rodamiento deteriorado con carga mantiene desplazamientos relativamente bajos, se puede observar que la falla se manifiesta con mayor claridad en aceleración que en desplazamiento.

En conclusión, el daño total con carga demuestra que los desplazamientos elevados y constantes, lo que señala una condición crítica caracterizada por oscilaciones severas del conjunto rotativo, incompatibles con una operación segura.

**4.3.2 Conclusión global de los gráficos**

El análisis conjunto de aceleración, velocidad y desplazamiento, tanto al vacío como con carga, demuestra que cada parámetro vibracional aporta información complementaria para el diagnóstico de fallas. La aceleración es altamente sensible a defectos en



rodamientos, la velocidad permite evaluar la severidad global de la vibración, y el desplazamiento resulta clave para identificar desbalances y flexiones del eje bajo carga.

La validación de resultados permite establecer el uso del análisis vibracional como una herramienta fundamental de mantenimiento preventivo y predictivo en motores eléctricos de baja potencia.

Se realizó un análisis comparativo de los valores máximos de aceleración, velocidad y desplazamiento registrados en las ocho pruebas efectuadas evaluando el comportamiento dinámico del motor bajo las distintas condiciones experimentales, dichas pruebas comprenden el motor en buen estado, con desgaste en el eje, con daño en el rodamiento y con ambos elementos deteriorados, tanto en condición de vacío como con carga aplicada.

Este análisis permite identificar tendencias claras que reflejan la progresión del daño mecánico y su impacto en la severidad vibracional, de acuerdo con los límites establecidos por la norma ISO 10816, la cual clasifica los niveles de vibración en cuatro zonas, facilitando la evaluación del estado operativo del motor y su nivel de aceptabilidad y se detalla en la Tabla 27.

**Tabla 26.** Tabla de clasificación

<b>Zona</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Interpretación</b>
A	Excelente	Funcionamiento normal, sin riesgo de daño
B	Aceptable	Puede operar, pero requiere seguimiento
C	Alarma	Desgaste o desbalance presente, mantenimiento recomendado
D	Crítica	Riesgo de falla, requiere intervención inmediata

Con lo cual obtenemos una tabla comparativa general de las medidas obtenidas como se detalla en la Tabla 28.



Tabla 27. Tabla de comparativa general de las mediciones obtenidas

Condición	Estado mecánico	Carga	Aceleración (m/s <sup>2</sup> )	Velocidad (cm/s)	Desplazamiento (mm)	Evaluación según ISO 10816
1	Eje y rodamiento en buen estado	Vacío	0.8	0.1	0.039	Zona A (Excelente)
2	Eje y rodamiento en buen estado	Carga	36.6	1.17	0.631	Zona B (Aceptable)
3	Eje con desgaste	Vacío	30.8	0.4	0.073	Zona B (Aceptable)
4	Eje con desgaste	Carga	75.6	4.99	1.999	Zona D (Crítica)
5	Rodamiento dañado	Vacío	23.7	0.39	0.028	Zona B (Aceptable)
6	Rodamiento dañado	Carga	174.6	19.98	1.999	Zona D (Crítica)
7	Eje y rodamiento dañados	Vacío	58.8	1.11	1.999	Zona C (Alarma)
8	Eje y rodamiento dañados	Carga	170.9	19.98	1.999	Zona D (Crítica)

#### 4.3.3 Análisis global de resultados

Del análisis integral de las ocho mediciones se puede establecer que, bajo condiciones normales (motor en buen estado), los niveles de vibración se mantienen dentro de los límites de la zona A o B, lo que indica un funcionamiento estable y controlado.

Se confirma que la ausencia de defectos estructurales significativos se da cuando la aceleración es baja (menores a 1 m/s<sup>2</sup> al vacío y cercanas a 36.6 m/s<sup>2</sup> con carga), la velocidad no supera los 1.2 cm/s y el desplazamiento es inferior a 0.7 mm.

El desgaste del eje genera un aumento en la velocidad y el desplazamiento, debido a una pérdida de concentricidad y holgura entre el eje y el rodamiento. Mientras que, el daño en el rodamiento se relaciona con valores muy elevados de aceleración, reflejando impactos y vibraciones de alta frecuencia provocadas por deformaciones en las pistas o elementos rodantes.



Los valores alcanzan zonas críticas, especialmente bajo carga, cuando están presentes los dos elementos deteriorados.

Según la norma ISO representa un riesgo de falla inminente al tener aceleraciones superiores a  $170 \text{ m/s}^2$ , velocidades por encima de  $19 \text{ cm/s}$  y desplazamientos cercanos a  $2 \text{ mm}$ .

Se registraron picos de aceleración superiores a  $170 \text{ m/s}^2$ , velocidades por encima de  $19 \text{ cm/s}$  y desplazamientos cercanos a  $2 \text{ mm}$ , lo cual, según la norma, representa un riesgo de falla inminente. Las condiciones descritas indican que el sistema está en un punto donde el contacto metálico, la pérdida de lubricación y los desbalances crean vibraciones severas las cuales son capaces de afectar la integridad del motor.

La aplicación de este método, permite establecer un programa de mantenimiento preventivo que minimiza costos, paradas imprevistas y prolonga la vida útil de los equipos, este estudio demuestra la importancia del análisis de vibraciones como herramienta de mantenimiento predictivo, posibilitando la detección anticipada de anomalías mecánicas antes de fallas mayores provoquen pérdidas significativas.

Podemos tener como puntos importantes los siguientes:

- El comportamiento vibracional del motor evidencia una relación directa entre el deterioro mecánico y el aumento de las magnitudes de aceleración, velocidad y desplazamiento.
- Los rodamientos dañados presentan mayores amplitudes de aceleración, lo cual corresponde a impactos repetitivos característicos de defectos en las pistas internas o externas.
- El desgaste en el eje se manifiesta principalmente mediante un aumento del desplazamiento, asociado con desalineaciones y holguras que generan vibraciones de baja frecuencia.
- Las condiciones combinadas (eje y rodamiento dañados) presentan el mayor nivel de severidad, ubicándose en la zona crítica de la norma ISO 10816, lo que implica riesgo de colapso mecánico si no se actúa de inmediato.



#### 4.4 Análisis de resultados

El análisis de vibraciones constituye una herramienta fundamental para el diagnóstico del estado mecánico de los motores eléctricos. En este estudio se realizaron ocho mediciones experimentales correspondientes a diferentes condiciones operativas del motor trifásico de 1 HP, variando entre funcionamiento en vacío y con carga, y simulando distintos tipos de fallas como daño en el eje, rodamiento dañado, y ambos componentes deteriorados.

La recopilación de datos de vibraciones realizadas se evidencia que las frecuencias presentes en las vibraciones coinciden con la frecuencia de la fase de corriente. Lo que señala que, en condiciones normales de operación sin carga, el motor vibrará únicamente en función de sus RPM. Se tiene que tomar en cuenta que, al aplicar una carga, se añade nuevas frecuencias de vibración, que dependen de la magnitud y tipo de carga agregada. Se debe tomar en cuenta que, si la vibración es alterada externamente, esta genera de forma inmediata un impacto repentino o por oscilaciones inducidas por un sistema de amortiguación, estas perturbaciones se sumarán a las vibraciones preexistentes del motor.

Las distintas condiciones del motor eléctrico de 1 HP permiten evidenciar cómo el estado mecánico y el tipo de carga influyen directamente en los niveles de aceleración, velocidad y desplazamiento. De acuerdo con la norma ISO 10816, los valores de referencia para máquinas eléctricas de baja potencia montadas sobre base rígida se establecen como se detalla en la Tabla 29.

**Tabla 28.** Tabla de referencias

Parámetro	Aceptable	Zona de alarma	Zona crítica
Aceleración	< 30	30 - 50	> 50
Velocidad	< 1.8	1.8 - 4.5	> 4.5
Desplazamiento	< 0.05 – 0.1	0.1 – 0.3	> 0.3

A partir de los resultados experimentales se observa una tendencia clara: las vibraciones aumentan conforme se deterioran los componentes mecánicos del motor y se incrementa la carga aplicada.



En condiciones de buen estado, tanto en vacío como bajo carga, las vibraciones se mantienen dentro de los rangos establecidos por la norma, indicando un funcionamiento estable, balanceado y sin presencia de fallas significativas.

Los valores de vibración aumentan considerablemente, sobre todo el desplazamiento, manifiesta que la peculiaridad y el desbalance dinámico del rotor generan movimientos laterales pronunciados. Incluso la condición aumenta cuando posee carga, lo que nos indica que los tres parámetros en zona crítica.

Se evidencia un aumento significativo en la aceleración lo que causa impactos repetitivos y vibraciones de alta frecuencia generadas por desgaste o picado en las pistas internas, se presenta al tener el rodamiento dañado, cuando las mediciones se encuentran encima del límite crítico al estar bajo carga.

El sistema entra en un estado vibracional severo y complejo, cuando se presentan las fallas de eje y rodamiento, sus valores de aceleración, velocidad y desplazamiento no están dentro de los parámetros permitidos, por lo que la combinación de las dos fallas es destructiva ya que puede provocar daños irreversibles, pérdida de alineación, aflojamiento de componentes e incluso fractura del eje si no se interviene a tiempo.

Otro aspecto importante observado en las pruebas es que, a medida que el motor se acerca a su velocidad nominal, el consumo de corriente disminuye. No obstante, si se incrementa la carga, la corriente consumida también aumenta, lo que a su vez genera un incremento en la temperatura del motor debido a las pérdidas internas.

#### **4.4.1 CONDICIÓN 1 y 2: Motor en buen estado (vacío y con carga)**

Bajo estas condiciones se obtuvieron valores bajos de vibración: en vacío, la aceleración promedio fue de  $0.7 \text{ m/s}^2$ , la velocidad de  $0.09 \text{ cm/s}$  y el desplazamiento de  $0.016 \text{ mm}$ , ubicándose claramente en la zona aceptable.

Con carga, los valores aumentaron moderadamente ( $36.6 \text{ m/s}^2$ ,  $1.17 \text{ cm/s}$  y  $0.631 \text{ mm}$ ), debido al esfuerzo mecánico transmitido por el par de salida, sin representar daño alguno. Estas mediciones son representativas de un motor equilibrado, sin desalineaciones ni



desgaste apreciable, aunque el desplazamiento en carga superó levemente el límite crítico, atribuible a la flexión dinámica natural del eje bajo trabajo.

#### **4.4.2 CONDICIÓN 3 y 4: Eje dañado (vacío y con carga)**

Se puede identificar un incremento visible de la aceleración y velocidad, se debe a la pérdida de simetría en la masa rotacional, como se ve en el eje incluso sin carga. Con carga los valores van en aumento hasta el punto de llegar a zonas críticas (la aceleración es superior a  $50 \text{ m/s}^2$  y mayores a  $4.5 \text{ cm/s}$  en velocidad), su desplazamiento se eleva por encima de  $1 \text{ mm}$ , por lo que se concluye que el desequilibrio presente causa una excentricidad significativa del rotor.

El daño en el eje se está determinado por vibraciones de baja frecuencia con amplitudes grandes, lo que proporciona una respuesta inestable el cual se intensifica con la carga, reflejando un desequilibrio dinámico severo.

#### **4.4.3 CONDICIÓN 5 y 6: Rodamiento dañado (vacío y con carga)**

Las vibraciones medidas con el rodamiento deteriorado presentaron picos abruptos y de alta frecuencia, lo cual es típico de golpes o impactos internos entre elementos rodantes y pistas dañadas. La aceleración superó los  $70 \text{ m/s}^2$ , la velocidad los  $8 \text{ cm/s}$  y el desplazamiento llegó a  $2 \text{ mm}$ , situando al motor en zona crítica según la ISO 10816.

A diferencia del eje dañado, este tipo de falla genera picos repetitivos e irregulares, acompañados de ruido mecánico y aumento de temperatura. Este comportamiento es propio de una degradación del contacto metálico o falta de lubricación.

#### **4.4.4 CONDICIÓN 7 y 8: Eje y rodamiento dañados (vacío y con carga)**

Las vibraciones medidas más observadas alcanzaron niveles por encima de los umbrales críticos: aceleraciones mayores a  $80 \text{ m/s}^2$ , velocidades superiores a  $8 \text{ cm/s}$  y desplazamientos cercanos a  $2 \text{ mm}$ .

El sistema en estas condiciones presenta impactos internos como un desbalance rotacional. El patrón de vibración presenta frecuencias altas y bajas, demostrando la



sincronización entre el daño del eje y los defectos del rodamiento, creando una condición peligrosa que podría derivar en la falla total del motor si continúa operando.

#### 4.4.3. Cálculo Comparativo

Se establece una relación porcentual con los valores máximos obtenidos entre las condiciones para justificar el diagnóstico de falla.

##### 4.3.3.1 Motor en buen estado

Aceleración

$$\frac{36.6}{0.8} m/s^2 = 45.75 \text{ veces más}$$

Velocidad

$$\frac{1.17}{0.15} cm/s = 7.80 \text{ veces más}$$

Desplazamiento

$$\frac{0.631}{0.039} mm = 16.18 \text{ veces más}$$

El motor en buen estado muestra saltos enormes entre vacío y carga (especialmente aceleración y desplazamiento). Esto sugiere que, aunque en vacío está bien, la aplicación de carga revela aumentos dinámicos

##### 4.3.3.2 Motor con daño en el eje

Aceleración

$$\frac{36.6}{30.8} m/s^2 = 1.188 \text{ veces más}$$

Velocidad

$$\frac{1.17}{1.32} cm/s = 0.886 \text{ veces más}$$

Desplazamiento



$$\frac{0.631}{0.073} mm = 8.64 \text{ veces más}$$

El eje dañado ya presenta aceleraciones altas en vacío; al cargar aumenta el desplazamiento significativamente: indicativo de desgaste en el eje que provoca oscilaciones cuando hay par/ carga.

#### 4.3.3.3 Motor con daño en el rodamiento

Aceleración

$$\frac{45.6}{35.8} m/s^2 = 1.274 \text{ veces más}$$

Velocidad

$$\frac{2.35}{2.00} cm/s = 1.175 \text{ veces más}$$

Desplazamiento

$$\frac{0.148}{0.127} mm = 1.165 \text{ veces más}$$

El rodamiento dañado muestra incrementos moderados con carga; los parámetros están elevados respecto al caso buen estado, confirmar reemplazo según umbral.

#### 4.3.3.4 Motor con daño total

Aceleración

$$\frac{174.6}{179.7} m/s^2 = 0.972 \text{ veces más}$$

Velocidad

$$\frac{19.98}{19.98} cm/s = 1.00 \text{ veces más}$$

Desplazamiento

$$\frac{1.999}{1.999} mm = 1.00 \text{ veces más}$$



Cuando todo está dañado los valores son tan altos que el equipo llegó al límite en algunas mediciones. Eso confirma condición crítica: intervención inmediata.

#### 4.5 Diferencias entre daño en el eje y daño en el rodamiento

- Daño en el eje: se manifiesta con vibraciones de baja frecuencia y alta amplitud, visibles en los parámetros de desplazamiento y velocidad. La causa principal suele ser el desbalance o flexión, que provoca una excentricidad rotacional del eje y empeora al aumentar la carga.
- Daño en el rodamiento: se caracteriza por vibraciones de alta frecuencia y amplitud variable, son visibles especialmente en la aceleración. Este comportamiento se origina por golpes mecánicos internos, desgaste o falta de lubricación en las pistas o elementos rodantes.
- En ambos casos, al estar presentes los efectos combinados (eje + rodamiento) producen vibraciones fuera de rango y oscilaciones no lineales, las cuales pueden ser identificadas con claridad a través de un análisis espectral de vibraciones.

##### 4.5.1 Importancia del análisis de vibraciones en mantenimiento preventivo

El análisis de vibraciones constituye una de las técnicas más efectivas del mantenimiento predictivo, ya que permite identificar el estado mecánico de los componentes rotativos sin necesidad de desmontarlos.

Al registrar y comparar los valores de aceleración, velocidad y desplazamiento, se pueden detectar fallas incipientes antes de que evolucionen a daños mayores, reduciendo paradas no programadas y costos de reparación.

En el presente estudio, las ocho condiciones medidas permitieron establecer un comportamiento de referencia para el motor:

- Bajo condiciones normales, las vibraciones permanecen estables y dentro de los límites de la norma.
- Cuando existen defectos mecánicos, las vibraciones se incrementan entre 3 y 10 veces, dependiendo del tipo de falla y la magnitud de la carga.



Este tipo de monitoreo no solo confirma la utilidad del módulo desarrollado, sino que, además valida el mantenimiento preventivo como estrategia esencial para extender la vida útil de los motores eléctricos, evitar fallas catastróficas y optimizar la confiabilidad del sistema.

#### **4.5.2 Factores Externos y su Impacto en las Vibraciones**

Otro aspecto evaluado fue el efecto del entorno en la medición de vibraciones. Se observó que al retirar el motor de una superficie flexible y colocarlo sobre una superficie rígida, la magnitud de las vibraciones en el eje aumentó aproximadamente en un 25%. Este resultado sugiere que la rigidez del soporte tiene un impacto significativo en la transmisión y amplitud de las vibraciones, lo que debe considerarse al diseñar sistemas de montaje para minimizar impactos no deseados.

Para mejorar el monitoreo de estos parámetros, se implementó una interfaz digital que permite registrar y analizar todas las variables en tiempo real. Esta plataforma facilita la generación de bases de datos remotas, lo que mejora la trazabilidad de las condiciones operativas del motor y permite detectar anomalías antes de que se conviertan en fallas críticas.

#### **4.5.3 Comparación con Motores de Combustión y Superficies de Apoyo**

Para complementar este estudio, se propone la medición de RPM en motores de combustión interna, permitiendo así comparar su comportamiento con motores eléctricos y analizar diferencias en vibración, ya que cada tipo de motor se emplea en aplicaciones distintas. Un aspecto relevante observado en pruebas previas es que, al cambiar el motor de una superficie flexible a una superficie rígida, la magnitud y cantidad de vibraciones en el eje aumentaron en aproximadamente un 25%. Este resultado sugiere que el tipo de soporte influye directamente en la estabilidad del motor y su respuesta vibracional.



## CONCLUSIONES

- El estudio de vibraciones ejecutado bajo las ocho condiciones experimentales permitió evidenciar cómo el estado mecánico del motor influye directamente en los parámetros de aceleración, velocidad y desplazamiento. Los resultados, validados con la norma ISO 10816, demostraron que el motor en buen estado mantiene un comportamiento estable, la evaluación de los niveles vibracionales demuestra que la coexistencia de fallas mecánicas en el eje y el rodamiento compromete seriamente la estabilidad dinámica del motor, evidenciando que la interacción entre ambos defectos acelera el deterioro del sistema y disminuye significativamente su confiabilidad operativa.
- El análisis vibracional se reafirma como una herramienta confiable y precisa para la detección temprana de fallas en rodamientos, ejes y conjuntos del motor. Además, el módulo implementado para las mediciones ofrece un recurso útil tanto en el ámbito académico como industrial, facilitando la práctica de mantenimiento predictivo y la identificación oportuna de fallas o anomalías mecánicas.
- El análisis vibracional se reafirma como una herramienta confiable y precisa para la detección temprana de fallas en rodamientos, ejes y conjuntos del motor. Además, el módulo implementado para las mediciones ofrece un recurso útil tanto en el ámbito académico como industrial, facilitando la práctica de mantenimiento predictivo y la identificación oportuna de fallas o anomalías mecánicas.



## RECOMENDACIONES

- Se recomienda que en futuros trabajos se extienda el análisis de vibraciones no solo a motores eléctricos, sino también a otro tipo de motores. Esto permitiría comparar el comportamiento vibracional y térmico en distintas condiciones de operación, ampliando el campo de aplicación del módulo desarrollado. Dado el uso extendido de los motores de combustión en sectores industriales y automotrices, este enfoque permitiría validar la versatilidad del sistema en una gama más amplia de aplicaciones, aportando valor al diagnóstico predictivo y la evaluación del estado mecánico de equipos rotativos.
- Se recomienda implementar un sistema de registro continuo de vibraciones mediante sensores triaxiales y adquisición de datos digital, con el fin de detectar en tiempo real variaciones de frecuencia y amplitud. Esto permitirá establecer una base de datos histórica para cada motor, facilitando la detección de tendencias y la programación de mantenimiento predictivo.
- Se recomienda mejorar la técnica al trabajar en la compactación y optimización del sistema de monitoreo, con el objetivo de hacerlo más portátil y adaptable a distintos tipos de motores y condiciones operativas. Con una mayor recopilación de datos y un análisis más profundo, este módulo podría evolucionar de una herramienta experimental a una solución comercial aplicable en la industria. Esta transformación permitiría implementar monitoreo continuo en motores críticos, reduciendo costos de mantenimiento, aumentando la confiabilidad operativa y mejorando la gestión de activos en entornos industriales complejos.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Chapman, Stephen. Máquinas Eléctricas. 5a edición. España: Editorial: McGraw-Hill, 2018.
- [2] I. S. Jang et al., "Method for Analyzing Vibrations Due to Electromagnetic Force in Electric Motors," IEEE Transactions on Magnetics, vol. 50, no. 2, pp. 297- 300, 2014, doi: 10.1109/TMAG.2013.2280954.
- [3] MI. Power. "Manual de análisis de vibraciones", 2018
- [4] J. Ramirez, "Impementación de un sistema de mantenimiento predictivo a través del análisis de vibraciones en la planta de ensamblaje de Ford España", Universidad Politécnica de valencia, 2017.
- [5] M. Barański, "New vibration diagnostic method of PM generators and traction motors - detecting of vibrations caused by unbalance," in 2014 IEEE International Energy Conference (ENERGYCON), 13-16 May 2014 2014, pp. 28-32, doi: 10.1109/ENERGYCON.2014.6850401.
- [6] P. Chupun, B. Suechoey, and S. Siriporananon, "Performance Analysis of Electric Motors Using Vibration Measurement," in 2019 International Conference on Power, Energy and Innovations (ICPEI), 16-18 Oct. 2019 2019, pp. 68-71, doi: 10.1109/ICPEI47862.2019.8944946.
- [7] J.E. Morales, "Análisis de vibraciones en Motores Eléctricos",[s.f.],Disponible: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0158\\_ME.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0158_ME.pdf), Accedido el Oct. 27 2023
- [8] Adam Bojko y Radomir Sglunda, "Adash", Diagnóstico de Vibraciones, Disponible: <https://adash.com/es/diagnostico-vibraciones/diagnostico-de-vibraciones/>, Accedido el Nov. 02,2023.
- [9] M. A. Juárez, "Monitoreo de Vibración, Temperatura y Corriente en Motor Eléctrico", 2022, Disponible: <http://rinacional.tecnm.mx/bitstream/TecNM/5346/1/TESIS%20E17120426%20MANZO%20JUAREZ%20ALEJANDRO.pdf>.
- [10] J. M. Douglas Acosta, "Captura de Vibraciones Mecánicas de un Motor en Operación Mediante LabVIEW, [s.f], Guayaquil.Ecuador
- [11] J. R. Hendershot y T. J. E. Miller, "Mechanical Design and Manufacturing of Electric Motors, Second Edition," CRC Press, 2022.
- [12] A. Tapia, "Induction Motor Fault Diagnosis," Springer, 2016.
- [13] M. BaraĚski, "New Vibration Diagnostic Method of PM Generators and Traction Motors – Detecting Vibrations Caused by Unbalance," in Energycon 2014, Dubrovnik, Croatia, May 13-16, 2014, pp. 28. DOI: 10.1109/ENERGYCON.2014.6850656.



- [14] T. Okada, P. Steinmann, M. Isobe, H. Matsumori, T. Kosaka, y N. Matsui, "Study on Electric Motor Vibration Suppression by Active Dynamic Vibration Absorber," en 2023 IEEE International Electric Machines & Drives Conference (IEMDC), 2023, pp. 979-8-3503-9899-1/23/\$31.00, DOI: 10.1109/IEMDC55163.2023.10238866.
- [15] S. N. Tripathy, S. Kundu and A. Pradhan, "Multi-Objective Optimization Technique Based Design of Squirrel Cage Induction Motor," 2022 2nd International Conference on Power Electronics & IoT Applications in Renewable Energy and its Control (PARC), Mathura, India, 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/PARC52418.2022.9726640.
- [16] Tapia Espín, L. I. (2011). "Análisis del sistema de generación eléctrica en el Bloque 16 de Repsol, a fin de determinar los problemas operacionales y establecer alternativas de solución para hacer más eficiente al sistema." Quito.
- [17] [21] Bajuli. (2 de Abril de 2009). Scrib. Obtenido de Motor Dahlander: <http://es.scribd.com/doc/13901267/Motor-Dahlander#scribd>
- [18] J. -h. Peng, Q. Wang and Y. -d. Zhang, "Vibration Problems and Application of Vibration Reduction System in Engineering," 2018 3rd International Conference on Mechanical, Control and Computer Engineering (ICMCCE), Huhhot, China, 2018, pp. 26-30, doi: 10.1109/ICMCCE.2018.00014.
- [19] L. Zheng et al., "Research on Integrated SVDD Rotating Machinery Vibration Fault Detection Method Based on Deep Autoencoder," 2019 IEEE International Conference on Energy Internet (ICEI), Nanjing, China, 2019, pp. 531-536, doi: 10.1109/ICEI.2019.00100.
- [20] Calle, W., & Lapo, F. (2018). Diagnóstico del estado de motores trifásicos de inducción a través del análisis de vibración y consumo de corriente con la utilización del software labview. Cuenca.
- [21] A. Musthofa, D. A. Asfani, I. M. Y. Negara, D. Fahmi and N. Priatama, "Vibration analysis for the classification of damage motor PT Petrokimia Gresik using fast fourier transform and neural network," 2016 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA), Lombok, Indonesia, 2016, pp. 381-386, doi: 10.1109/ISITIA.2016.7828690.
- [22] [1] Dewesoft. (2022, Enero 19). Análisis de Vibración. Dewesoft. [En línea]. Disponible en: <https://dewesoft.com/es/aplicaciones/analisis-de-vibracion>. (Consultado el 2024, Enero 19).
- [23] C. E. Viteri and E. Martínez, "Utilización del Software de Monitoreo de Análisis de Vibraciones como Técnica Predictiva en el Sistema de Bombeo en la Industria Papelera," in Proc. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Campus Gustavo Galindo Velasco, Km. 30.5 Vía Perimetral, Apartado: 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador



- [24] ISO 10816: "Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts (Vibration standards for assessing machinery health)." Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, año de publicación.



**ANEXOS**

**Anexo I**





**Anexo II**





**Anexo III**



**Anexo IV**





**Anexo V**



**Anexo VI**

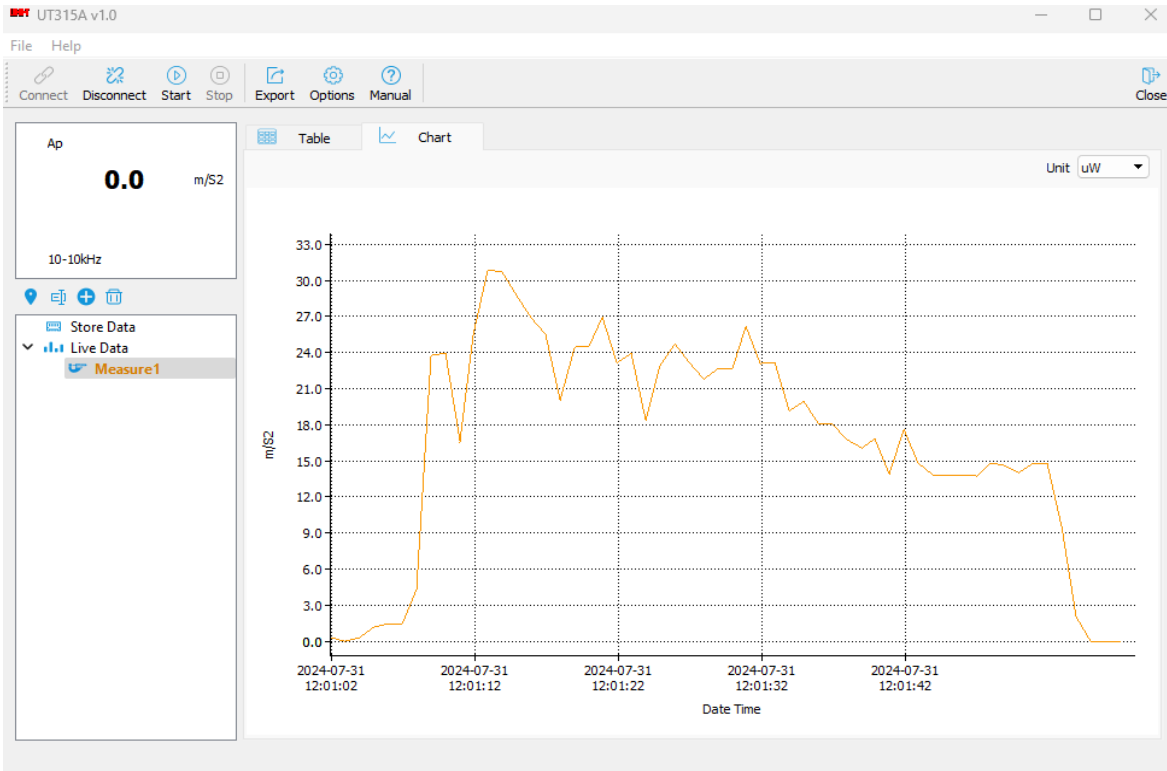




Anexo VII



Anexo VIII





Anexo IX

UT315A v1.0

File Help

Connect Disconnect Start Stop Export Options Manual

Ap

**0.0** m/S2

10-10kHz

Store Data Live Data Measure1

No.	Date/Time	Function	Value	Unit	Frequency(Hz)
38	2024-07-31 12:01:39	Ap	16.0	m/S2	10-10kHz
39	2024-07-31 12:01:40	Ap	16.8	m/S2	10-10kHz
40	2024-07-31 12:01:41	Ap	13.9	m/S2	10-10kHz
41	2024-07-31 12:01:42	Ap	17.6	m/S2	10-10kHz
42	2024-07-31 12:01:43	Ap	14.8	m/S2	10-10kHz
43	2024-07-31 12:01:44	Ap	13.8	m/S2	10-10kHz
44	2024-07-31 12:01:45	Ap	13.8	m/S2	10-10kHz
45	2024-07-31 12:01:46	Ap	13.8	m/S2	10-10kHz
46	2024-07-31 12:01:47	Ap	13.7	m/S2	10-10kHz
47	2024-07-31 12:01:48	Ap	14.8	m/S2	10-10kHz
48	2024-07-31 12:01:49	Ap	14.6	m/S2	10-10kHz
49	2024-07-31 12:01:50	Ap	14.0	m/S2	10-10kHz
50	2024-07-31 12:01:51	Ap	14.8	m/S2	10-10kHz
51	2024-07-31 12:01:52	Ap	14.8	m/S2	10-10kHz
52	2024-07-31 12:01:53	Ap	9.5	m/S2	10-10kHz

Anexo X

UT315A v1.0

File Help

Connect Disconnect Start Stop Export Options Manual

Dp-p

**.031** mm

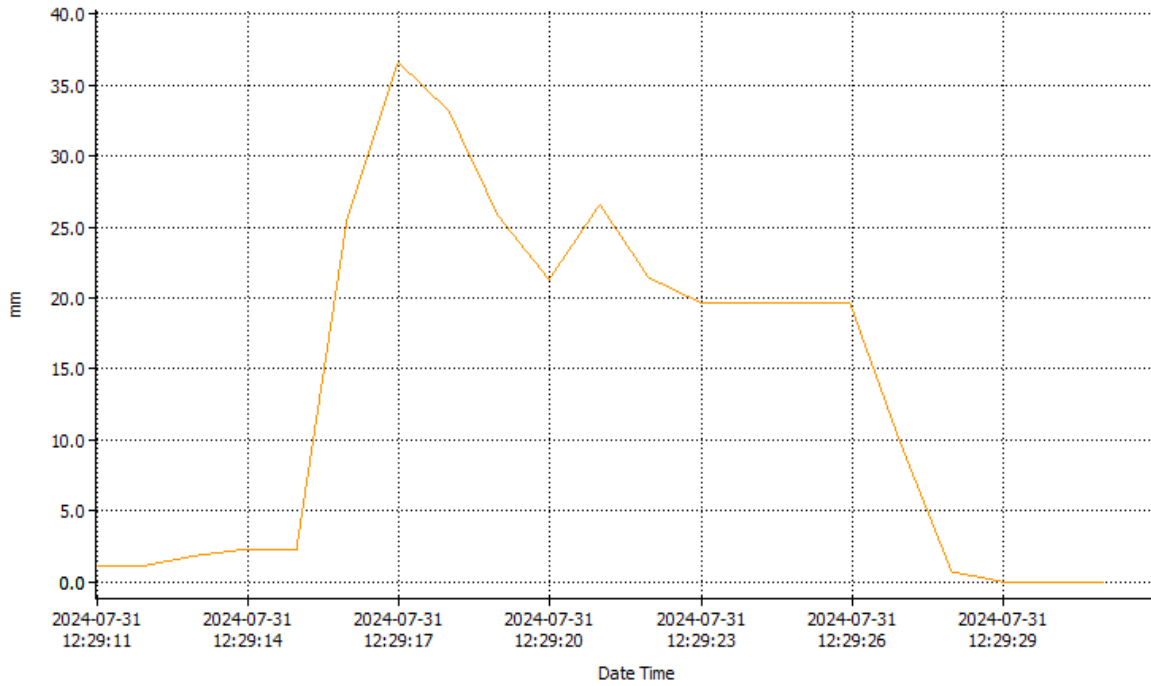
10-500Hz

Store Data Live Data Measure1 Velocidad Desplazamiento Velocidad eje malo ... Aceleracion eje malo Desplazamiento eje...

No.	Date/Time	Function	Value	Unit	Frequency(Hz)
9	2024-07-31 12:32:31	Vrms	0.03	cm/s	10-1kHz
10	2024-07-31 12:32:32	Vrms	0.62	cm/s	10-1kHz
11	2024-07-31 12:32:33	Vrms	0.68	cm/s	10-1kHz
12	2024-07-31 12:32:34	Vrms	0.68	cm/s	10-1kHz
13	2024-07-31 12:32:35	Vrms	0.69	cm/s	10-1kHz
14	2024-07-31 12:32:36	Vrms	0.69	cm/s	10-1kHz
15	2024-07-31 12:32:37	Vrms	0.66	cm/s	10-1kHz
16	2024-07-31 12:32:38	Vrms	0.51	cm/s	10-1kHz
17	2024-07-31 12:32:39	Vrms	0.51	cm/s	10-1kHz
18	2024-07-31 12:32:40	Vrms	0.83	cm/s	10-1kHz
19	2024-07-31 12:32:41	Vrms	1.17	cm/s	10-1kHz
20	2024-07-31 12:32:42	Vrms	1.17	cm/s	10-1kHz
21	2024-07-31 12:32:43	Vrms	0.26	cm/s	10-1kHz
22	2024-07-31 12:32:44	Vrms	0.19	cm/s	10-1kHz
23	2024-07-31 12:32:45	Vrms	0.19	cm/s	10-1kHz
24	2024-07-31 12:32:46	Vrms	0.04	cm/s	10-1kHz



Anexo XI



UT315A v1.0

File Help

Connect Disconnect Start Stop Export Options Manual

Dp-p **.031** mm

10-500Hz

Table Chart

No.	Date/Time	Function	Value	Unit	Frequency(Hz)
5	2024-07-31 12:39:30	Vrms	1.09	cm/s	10-1kHz
6	2024-07-31 12:39:31	Vrms	1.09	cm/s	10-1kHz
7	2024-07-31 12:39:32	Vrms	1.09	cm/s	10-1kHz
8	2024-07-31 12:39:33	Vrms	3.03	cm/s	10-1kHz
9	2024-07-31 12:39:34	Vrms	1.90	cm/s	10-1kHz
10	2024-07-31 12:39:35	Vrms	1.90	cm/s	10-1kHz
11	2024-07-31 12:39:36	Vrms	2.11	cm/s	10-1kHz
12	2024-07-31 12:39:37	Vrms	2.14	cm/s	10-1kHz
13	2024-07-31 12:39:38	Vrms	2.17	cm/s	10-1kHz
14	2024-07-31 12:39:39	Vrms	2.00	cm/s	10-1kHz
15	2024-07-31 12:39:40	Vrms	2.00	cm/s	10-1kHz
16	2024-07-31 12:39:41	Vrms	4.99	cm/s	10-1kHz
17	2024-07-31 12:39:42	Vrms	4.99	cm/s	10-1kHz
18	2024-07-31 12:39:43	Vrms	8.03	cm/s	10-1kHz
19	2024-07-31 12:39:44	Vrms	0.00	cm/s	10-1kHz
20	2024-07-31 12:39:45	Vrms	0.00	cm/s	10-1kHz

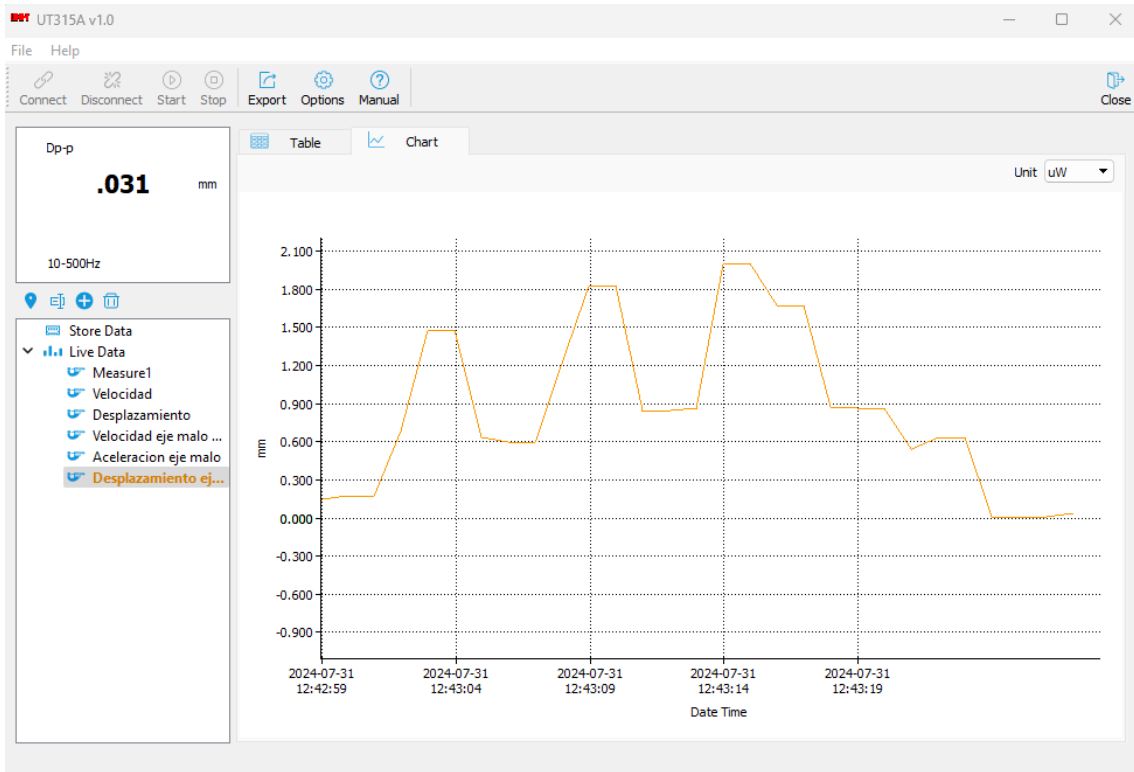
Store Data

Live Data

- Measure1
- Velocidad
- Desplazamiento
- Velocidad eje mal...
- Aceleracion eje malo
- Desplazamiento eje...



Anexo XII



Anexo XIII

No.	Date/Time	Function	Value	Unit	Frequency(Hz)
14	2024-07-31 12:43:12	Dp-p	.843	mm	10-500Hz
15	2024-07-31 12:43:13	Dp-p	.862	mm	10-500Hz
16	2024-07-31 12:43:14	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
17	2024-07-31 12:43:15	Dp-p	1.999	mm	10-500Hz
18	2024-07-31 12:43:16	Dp-p	1.665	mm	10-500Hz
19	2024-07-31 12:43:17	Dp-p	1.665	mm	10-500Hz
20	2024-07-31 12:43:18	Dp-p	.864	mm	10-500Hz
21	2024-07-31 12:43:19	Dp-p	.862	mm	10-500Hz
22	2024-07-31 12:43:20	Dp-p	.862	mm	10-500Hz
23	2024-07-31 12:43:21	Dp-p	.542	mm	10-500Hz
24	2024-07-31 12:43:22	Dp-p	.628	mm	10-500Hz
25	2024-07-31 12:43:23	Dp-p	.628	mm	10-500Hz
26	2024-07-31 12:43:24	Dp-p	.003	mm	10-500Hz
27	2024-07-31 12:43:25	Dp-p	.003	mm	10-500Hz
28	2024-07-31 12:43:26	Dp-p	.003	mm	10-500Hz
29	2024-07-31 12:43:27	Dp-p	.031	mm	10-500Hz