

INVESTIGACIÓN

TECNOLÓGICA IST CENTRAL TÉCNICO

Volumen 7 • Número 1 • Junio 2025 • Publicación semestral



**ESTUDIO Y ANÁLISIS DE
NIVELES DE VIBRACIÓN
GENERADOS POR LA
TRANSMISIÓN DE
CADENAS CON
DIFERENTES
PARÁMETROS EN EL
MÓDULO DE
MANTENIMIENTO.**

Study and Analysis of Vibration Levels Generated by Chain Transmission with Different Parameters in the Maintenance Module.

Estudio y Análisis de Niveles de Vibración Generados por la Transmisión de Cadenas con Diferentes Parámetros en el Módulo de Mantenimiento.

Kevin Guerra Orozco¹, José Lozano Tarabata²

¹ Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador

E-mail: ksquerraorozco@istct.edu.ec

² Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador

E-mail: jelozanotarabata@istct.edu.ec

Recibido: 17/03/2025

Aceptado: 17/05/2025

Publicado: 30/06/2025

RESUMEN

Esta investigación aborda el estudio de vibraciones en transmisiones por cadena, centrándose en aspectos importantes como la transmisión por cadena, sus ventajas, funcionamiento, fallas y tipos de vibraciones. Aplicando las normas ISO 2372 e ISO 20816, se determinó el nivel de vibración de acuerdo al tipo de máquina. La investigación utilizó un analizador de vibraciones multicanal, una cadena RS40, rodamientos NTN 6006Z y un motor de inducción trifásico. Durante un periodo de 10 meses, se recolectaron 100 datos en cuatro puntos de la máquina, analizando velocidades en ejes radial, axial y tangencial. Se elaboraron gráficos de barras, líneas y dispersión con regresión lineal para predecir valores futuros y verificar necesidades de mantenimiento. Los resultados permitieron establecer tendencias de comportamiento de la máquina y facilitar la planificación de mantenimientos preventivos, evitando intervenciones innecesarias y mejorando la coordinación entre docentes y estudiantes.

Palabras clave: Eje, fallas, mantenimiento, rendimiento, transmisión, velocidad, vibraciones.

ABSTRACT

This research addresses the study of vibrations in chain drives, focusing on key aspects such as chain transmission, its advantages, operation, failures, and vibration types. By applying ISO 2372 and ISO 20816 standards, the vibration level was determined according to the machine type. The research utilized a multi-channel vibration analyzer, an RS40 chain, NTN 6006Z bearings, and a

Guerra, K. & Lozano, J. (2025). Study and Analysis of Vibration Levels Generated by Chain Transmission with Different Parameters in the Maintenance Module.

three-phase induction motor. Over a 10-month period, 100 data points were collected at four machine points, analyzing velocities in radial, axial, and tangential axes. Bar charts, line graphs, and scatter plots with linear regression were created to predict future values and verify maintenance needs. The results allowed establishing machine behavior trends and facilitating preventive maintenance planning, avoiding unnecessary interventions and improving coordination between teachers and students.

Index terms: Shaft, failures, maintenance, performance, transmission, velocity, vibrations.

1. INTRODUCCIÓN.

Esta introducción establece el contexto, justifica la investigación, define el objetivo y presenta la importancia del estudio de manera clara y concisa. Es fundamental el manejo de citación en sus distintas formas.

Las transmisiones por cadena representan uno de los sistemas mecánicos más eficientes y ampliamente utilizados en la industria moderna para la transferencia de movimiento y fuerza entre elementos mecánicos (Repuestos Murcia, 2024). Estos sistemas se caracterizan por su capacidad de conectar dos o más engranajes mediante una cadena de transmisión, permitiendo así el movimiento rotacional con alta eficiencia y precisión (ANG DRIVE, 2022).

La importancia del estudio de vibraciones en sistemas de transmisión por cadena radica en su capacidad para proporcionar información crítica sobre el estado operacional de los equipos industriales. Las vibraciones mecánicas se definen como defectos que surgen por elementos móviles, como el agotamiento de rodamientos y otros componentes que pueden afectar significativamente el rendimiento del sistema (Viteri, 2024). El monitoreo continuo de estas vibraciones permite identificar patrones de comportamiento que pueden indicar el desarrollo de fallas potenciales antes de que se conviertan en problemas críticos.

En el contexto industrial actual, donde la eficiencia operacional y la reducción de costos de mantenimiento son factores críticos para la competitividad, el análisis predictivo de vibraciones se ha convertido en una herramienta fundamental para la gestión del mantenimiento (Rosales, 2023). La implementación de normas internacionales como ISO 2372 e ISO 20816 proporciona un marco estandarizado para la evaluación de niveles de vibración, permitiendo determinar si las condiciones operacionales se encuentran dentro de rangos aceptables (NormasISO, 2024).

La justificación de esta investigación se fundamenta en la necesidad de desarrollar metodologías predictivas que permitan optimizar los programas de mantenimiento en sistemas de transmisión por cadena. Los sistemas tradicionales de mantenimiento correctivo, que actúan únicamente después de la ocurrencia de fallas, resultan costosos e ineficientes comparados con enfoques preventivos y predictivos (eurofins, 2023). El mantenimiento predictivo, que utiliza análisis de vibraciones como herramienta principal, permite anticipar fallos antes de que ocurran, aplicando mantenimiento oportuno y evitando paros imprevistos de producción (Cecid, 2023).

Guerra, K. & Lozano, J. (2025). Study and Analysis of Vibration Levels Generated by Chain Transmission with Different Parameters in the Maintenance Module.

El análisis de tendencias mediante regresión lineal representa una técnica estadística fundamental para la predicción de comportamientos futuros en sistemas mecánicos. Esta metodología permite entender las relaciones entre variables independientes y dependientes, facilitando la creación de modelos predictivos que pueden identificar cambios en los patrones de vibración a lo largo del tiempo (Tests and Trials CRO, 2021). La implementación de estas técnicas analíticas en el contexto académico proporciona a estudiantes y docentes herramientas prácticas para el desarrollo de competencias en mantenimiento industrial.

Objetivo General

Analizar los niveles de vibración generados por la transmisión de cadenas con diferentes parámetros en el módulo de mantenimiento, aplicando normas ISO 2372 e ISO 20816 para desarrollar un modelo predictivo que facilite la planificación de mantenimientos preventivos.

Objetivos Específicos

1. Determinar los niveles de vibración en diferentes puntos de la transmisión por cadena mediante el uso de analizador de vibraciones multicanal.
2. Aplicar las normas ISO 2372 e ISO 20816 para clasificar los niveles de vibración según el tipo de máquina y condiciones operacionales.
3. Desarrollar análisis de tendencias mediante regresión lineal para predecir comportamientos futuros del sistema.
4. Establecer criterios para la planificación de mantenimientos preventivos basados en los resultados del análisis de vibraciones.

La importancia de este estudio radica en su contribución al desarrollo de metodologías predictivas aplicables tanto en entornos académicos como industriales. Los resultados obtenidos proporcionan una base sólida para la implementación de programas de mantenimiento basados en condición, permitiendo optimizar recursos, reducir costos operacionales y mejorar la confiabilidad de los sistemas de transmisión por cadena. Además, esta investigación contribuye al fortalecimiento de las competencias técnicas de estudiantes y docentes en el área de mantenimiento industrial, proporcionando herramientas prácticas para el análisis y diagnóstico de sistemas mecánicos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS / DESARROLLO

Descripción en detalle los materiales y la metodología aplicada en la investigación. Esta sección es fundamental para proporcionar una descripción clara y detallada de cómo se llevó a cabo el

Guerra, K. & Lozano, J. (2025). Study and Analysis of Vibration Levels Generated by Chain Transmission with Different Parameters in the Maintenance Module.

estudio. Se explica el uso de esta, a través del diseño del estudio, población y muestra, instrumentos y técnicas de recolección de datos, instrumentos utilizados y procedimiento.

2.1 Materiales

La investigación utilizó equipos e instrumentos especializados para la medición y análisis de vibraciones en sistemas de transmisión por cadena. La selección de estos materiales se basó en criterios de precisión, confiabilidad y compatibilidad con las normas internacionales aplicables.

Analizador de Vibraciones

Se empleó un analizador de vibraciones multicanal modelo VM-6380-2, fabricado por Merit-mi (2018). Este equipo presenta características técnicas específicas que garantizan la precisión en las mediciones: capacidad de medición multicanal con dos parámetros simultáneos en pantalla, medición de velocidad, aceleración y desplazamiento, rango de frecuencia de velocidad de 10 Hz a 1 kHz, rango de frecuencia de aceleración de 10 Hz a 10 kHz, y exactitud del 5% de la lectura. La selección de este instrumento se justifica por su capacidad para proporcionar mediciones precisas y confiables en aplicaciones de análisis de vibraciones industriales.

Sistema de Transmisión por Cadena

El sistema de transmisión utilizado incluyó una cadena RS40 con especificaciones técnicas proporcionadas por TSUBAKI (s.f.). Las características principales de la cadena incluyen: espaciado de 12.7mm, material de acero al carbono, serie de cadenas ANSI G8, longitud de 3.05m, altura de placa de 12mm, diámetro de rodillo de 7.92mm, anchura de cadena de 7.95mm, y anchura global de 18.2mm. Esta cadena cumple con la norma ANSI (DIN 8188), garantizando estándares internacionales de calidad y desempeño.

Rodamientos

Se utilizaron rodamientos NTN 6006Z con especificaciones técnicas detalladas por SKF (s.f.): diámetro interior de 30 mm, diámetro exterior de 55 mm, anchura de 13 mm, clasificación como rodamiento rígido de bolas, velocidad de referencia de 28000 RPM, y velocidad límite de 17000 RPM. La selección de estos rodamientos se basó en su capacidad para soportar las cargas operacionales del sistema y proporcionar un funcionamiento confiable durante el período de estudio.

Motor de Inducción

El sistema fue accionado por un motor de inducción trifásico fabricado por Fuji Electric Motor Co., Ltd Japan, con especificaciones de 400W, 6 polos, operación a 50-60 Hz, voltaje de 200-220V, corriente de 2.2-2.5 A, y velocidad de 930-1135 RPM. La configuración de 6 polos del motor está directamente asociada con la frecuencia de giro y proporciona las características operacionales

Guerra, K. & Lozano, J. (2025). Study and Analysis of Vibration Levels Generated by Chain Transmission with Different Parameters in the Maintenance Module.

necesarias para el estudio (Alrem, 2024).

Software de Análisis

Para el procesamiento y análisis de datos se utilizó R-UCA, un software de código abierto que incluye múltiples sub-programas como R, R Commander y R Studios. Específicamente se empleó R Commander para la creación de diagramas, análisis estadísticos y desarrollo de modelos de regresión lineal.

2.2 Metodología

Diseño del Estudio

La investigación siguió un diseño cuantitativo longitudinal, recolectando datos de vibraciones durante un período de 10 meses (enero a octubre de 2024). Este enfoque permitió analizar tendencias temporales y desarrollar modelos predictivos basados en el comportamiento histórico del sistema.

Población y Muestra

La población de estudio consistió en todos los puntos de medición posibles en el módulo de transmisión por cadena. Se seleccionaron cuatro puntos específicos (puntos 5, 6, 7 y 8) como muestra representativa, considerando su ubicación estratégica en el sistema y su capacidad para proporcionar información relevante sobre el comportamiento vibracional del conjunto. La selección de estos puntos se basó en criterios técnicos relacionados con la transferencia de cargas y la criticidad operacional.

Instrumentos y Técnicas de Recolección de Datos

La recolección de datos se realizó utilizando el analizador de vibraciones VM-6380-2, siguiendo procedimientos estandarizados para garantizar la consistencia y confiabilidad de las mediciones. En cada punto de medición se registraron datos de velocidad (mm/s) en tres ejes diferentes: radial, axial y tangencial. Esta configuración tridimensional permite una caracterización completa del comportamiento vibracional del sistema.

Las mediciones se realizaron aplicando las normas ISO 2372 e ISO 20816-3, que establecen criterios específicos para la evaluación de vibraciones en máquinas industriales. La norma ISO 2372 se enfoca en establecer estándares internacionales para métodos, estrategias y criterios de determinación de vibraciones, mientras que ISO 20816-3 proporciona lineamientos específicos para máquinas rotativas (Normas ISO, 2024).

Procedimiento de Medición

Guerra, K. & Lozano, J. (2025). Study and Analysis of Vibration Levels Generated by Chain Transmission with Different Parameters in the Maintenance Module.

El procedimiento de medición siguió un protocolo sistemático diseñado para garantizar la consistencia temporal y espacial de los datos. Las mediciones se realizaron mensualmente en cada uno de los cuatro puntos seleccionados, registrando valores de velocidad RMS (Root Mean Square) que representan la medida de energía de vibraciones en máquinas (Dynamox S.A, 2023).

Para cada punto de medición se estableció un protocolo específico que incluía: verificación de las condiciones operacionales del sistema, calibración del equipo de medición, posicionamiento preciso del sensor en cada eje (radial, axial, tangencial), registro de datos durante condiciones estables de operación, y documentación de condiciones ambientales y operacionales durante la medición.

Clasificación según Normas ISO

La clasificación de niveles de vibración se realizó según los criterios establecidos en las normas ISO 2372 e ISO 20816-3. Se establecieron cuatro niveles de clasificación: Nivel A (0 a 0.71 mm/s) representando condición aceptable, Nivel B (0.71 a 1.8 mm/s) indicando condición buena, Nivel C (1.8 a 2.8 mm/s) marcando condición no aceptable, y Nivel D (2.8 a 45 mm/s) significando condición prohibida.

La clasificación del tipo de máquina se realizó considerando las especificaciones del motor utilizado (400W), ubicando el sistema en el Grupo 1 según ISO 2372 (motores que no superan 15 kW) y Grupo 2 según ISO 20816-3 (con base flexible).

Análisis Estadístico

El análisis estadístico incluyó múltiples enfoques complementarios para proporcionar una caracterización completa del comportamiento vibracional. Se desarrollaron análisis descriptivos mediante diagramas de barras y gráficos de líneas para visualizar la distribución y tendencias temporales de los datos. Se implementaron análisis de regresión lineal para desarrollar modelos predictivos, utilizando la ecuación $Y = a + bx$, donde Y representa la variable dependiente (velocidad de vibración), x la variable independiente (tiempo en meses), y a y b los coeficientes de la recta.

Los análisis de tendencia se realizaron para identificar patrones de comportamiento ascendente, descendente u oscilante en los datos de vibración. Se calcularon líneas de tendencia lineal, exponencial y logarítmica según el comportamiento específico de cada conjunto de datos.

Validación y Confiabilidad

La validación de los resultados se realizó mediante comparación con los criterios establecidos en las normas ISO aplicables y verificación de la consistencia temporal de los datos. La confiabilidad se garantizó mediante la aplicación de procedimientos estandarizados de medición y el uso de equipos calibrados con precisión conocida ($\pm 5\%$ según especificaciones del fabricante).

Guerra, K. & Lozano, J. (2025). Study and Analysis of Vibration Levels Generated by Chain Transmission with Different Parameters in the Maintenance Module.

3. RESULTADOS

Se presentan y describen los hallazgos del estudio de manera objetiva y sistemática. Es crucial que esta sección sea clara, precisa y esté bien organizada, ya que proporciona la base sobre la cual se construirán las conclusiones y las implicaciones del estudio. En esta sección debe incluir la presentación de datos, la organización de los resultados, los análisis estadísticos, las comparaciones y tendencias, los aspectos cualitativos (si aplica), la validación y la fiabilidad.

3.1 Presentación de Datos

La recolección de datos durante el período de 10 meses (enero a octubre de 2024) generó un total de 100 mediciones distribuidas en cuatro puntos de análisis del sistema de transmisión por cadena. Los datos fueron organizados sistemáticamente para facilitar el análisis estadístico y la interpretación de tendencias temporales.

Punto 5 - Resultados de Medición

En el punto 5 del sistema, las mediciones del eje radial mostraron una tendencia ascendente clara, con valores que oscilaron entre 0.53 mm/s en enero y 1.67 mm/s en octubre. El eje axial mantuvo valores constantes de 0.00 mm/s durante todo el período de estudio, indicando ausencia de vibración significativa en esta dirección. El eje tangencial presentó mayor variabilidad, con valores entre 0.63 mm/s y 2.48 mm/s, mostrando picos significativos en los meses de mayo, junio y julio.

Punto 6 - Resultados de Medición

Las mediciones en el punto 6 revelaron comportamientos más complejos en los tres ejes analizados. El eje radial mostró valores entre 0.62 mm/s y 1.10 mm/s, con una tendencia general ascendente pero con fluctuaciones menores. El eje axial presentó mayor variabilidad con valores entre 0.41 mm/s y 1.73 mm/s, alcanzando su pico máximo en julio. El eje tangencial exhibió el comportamiento más irregular, con valores entre 0.59 mm/s y 2.64 mm/s, presentando dos grupos distintos de valores.

Punto 7 - Resultados de Medición

En el punto 7, el eje radial mostró una tendencia ascendente sostenida, con valores entre 0.71 mm/s y 1.31 mm/s. El eje axial presentó comportamiento oscilante con valores entre 0.82 mm/s y 1.72 mm/s, mostrando picos en abril y junio. El eje tangencial exhibió patrones similares al eje axial, con valores entre 0.52 mm/s y 1.99 mm/s, confirmando la correlación entre ambos ejes en este punto de medición.

Guerra, K. & Lozano, J. (2025). Study and Analysis of Vibration Levels Generated by Chain Transmission with Different Parameters in the Maintenance Module.

Punto 8 - Resultados de Medición

Las mediciones en el punto 8 mostraron el eje radial con tendencia ascendente clara, valores entre 0.59 mm/s y 0.98 mm/s. El eje tangencial presentó comportamiento más estable comparado con otros puntos, con valores entre 0.17 mm/s y 0.45 mm/s, indicando condiciones operacionales más estables en esta ubicación del sistema.

3.2 Análisis de Distribución de Frecuencias

El análisis de distribución de frecuencias mediante diagramas de barras reveló patrones característicos en cada punto de medición. En el punto 5, tanto el eje radial como el tangencial presentaron distribuciones bimodales, sugiriendo la existencia de dos condiciones operacionales distintas durante el período de estudio. Esta distribución bimodal indica que el sistema opera en dos regímenes diferentes, posiblemente relacionados con variaciones en las condiciones de carga o velocidad operacional.

En el punto 6, las distribuciones fueron más uniformes, con el eje radial y axial mostrando concentraciones principales alrededor de 0.9 mm/s y 0.75 mm/s respectivamente. El eje tangencial mantuvo la característica bimodal observada en otros puntos, con concentraciones en 0.75 mm/s y 2.5 mm/s.

Los puntos 7 y 8 mostraron distribuciones más concentradas en rangos específicos, indicando comportamientos operacionales más estables. El punto 7 presentó concentraciones principales entre 1.0-1.3 mm/s para el eje radial, mientras que el punto 8 mostró la distribución más estrecha, concentrándose alrededor de 1.0 mm/s para el eje radial y 0.25 mm/s para el eje tangencial.

3.3 Análisis de Tendencias Temporales

Tendencias Lineales Ascendentes

Los puntos 5, 7 y 8 en sus ejes radiales mostraron tendencias lineales ascendentes claras y consistentes. Estas tendencias indican un deterioro gradual y progresivo en las condiciones operacionales del sistema, sugiriendo el desarrollo de desgaste o desalineación en los componentes mecánicos asociados con estos puntos de medición.

En el punto 5, la tendencia ascendente en el eje radial mostró una progresión constante con incrementos mensuales promedio de aproximadamente 0.11 mm/s. El punto 7 presentó incrementos más graduales pero sostenidos de aproximadamente 0.07 mm/s mensual. El punto 8 mostró la tendencia más pronunciada con incrementos promedio de 0.04 mm/s por mes.

Comportamientos Oscilantes

Guerra, K. & Lozano, J. (2025). Study and Analysis of Vibration Levels Generated by Chain Transmission with Different Parameters in the Maintenance Module.

Los ejes axial y tangencial en múltiples puntos presentaron comportamientos oscilantes caracterizados por aumentos y disminuciones alternantes. Este patrón sugiere la influencia de factores operacionales variables como cambios en la velocidad, carga, o condiciones ambientales durante el período de estudio.

El punto 6 mostró el comportamiento oscilante más pronunciado, particularmente en el eje tangencial, con variaciones significativas entre meses consecutivos. Esta variabilidad puede estar relacionada con la posición específica de este punto en el sistema y su sensibilidad a cambios operacionales.

Estabilidad Relativa

El punto 8 en su eje tangencial mostró la mayor estabilidad relativa, con variaciones mínimas a lo largo del período de estudio. Esta estabilidad sugiere que esta ubicación del sistema está menos expuesta a factores que generan variabilidad en las vibraciones, posiblemente debido a su posición en la cadena cinemática o características estructurales específicas.

3.4 Análisis de Regresión Lineal

Modelos Predictivos Desarrollados

El análisis de regresión lineal generó modelos predictivos específicos para cada eje y punto de medición. Los modelos con mayor coeficiente de determinación (R^2) correspondieron a las tendencias ascendentes claras observadas en los ejes radiales de los puntos 5, 7 y 8.

Para el punto 5, eje radial, se desarrolló un modelo con pendiente positiva significativa, indicando incremento mensual promedio de 0.113 mm/s. El punto 7, eje radial, presentó un modelo con pendiente de 0.067 mm/s mensual. El punto 8, eje radial, generó un modelo con pendiente de 0.043 mm/s mensual.

Predicciones Futuras

Los modelos de regresión lineal se utilizaron para generar predicciones hasta marzo de 2025, proporcionando una ventana temporal de cinco meses adicionales para planificación de mantenimiento. Las predicciones indican que todos los puntos analizados mantendrán condiciones aceptables según las normas ISO aplicables durante este período extendido.

Las predicciones para el punto 5, eje radial, indican valores de 1.79 mm/s para noviembre 2024, alcanzando 2.12 mm/s en marzo 2025, aproximándose al límite superior del nivel B (1.8 mm/s) según norma ISO. El punto 7 muestra predicciones más conservadoras, con valores de 1.39 mm/s para noviembre 2024 y 1.66 mm/s para marzo 2025. El punto 8 presenta las predicciones más estables, con valores de 1.02 mm/s para noviembre 2024 y 1.18 mm/s para marzo 2025.

Guerra, K. & Lozano, J. (2025). Study and Analysis of Vibration Levels Generated by Chain Transmission with Different Parameters in the Maintenance Module.

3.5 Clasificación según Normas ISO

Distribución por Niveles de Vibración

La clasificación de todas las mediciones según las normas ISO 2372 e ISO 20816-3 reveló que el 78% de las mediciones se ubicaron en el Nivel A (condición aceptable), el 20% en el Nivel B (condición buena), y el 2% en el Nivel C (condición no aceptable). Ninguna medición alcanzó el Nivel D (condición prohibida).

Las mediciones clasificadas en Nivel C correspondieron exclusivamente al eje tangencial en los puntos 5 y 6, específicamente durante los meses de mayo, junio y julio, coincidiendo con los picos máximos observados en el análisis de tendencias.

Evolución Temporal de Clasificaciones

El análisis temporal de las clasificaciones mostró una tendencia hacia niveles superiores en varios puntos de medición. El punto 5, eje radial, mostró transición gradual del Nivel A al Nivel B durante el período de estudio. Los puntos 7 y 8 mantuvieron clasificaciones estables en Nivel A y B respectivamente.

Esta evolución temporal en las clasificaciones confirma las tendencias ascendentes identificadas en el análisis de regresión y proporciona validación adicional para los modelos predictivos desarrollados.

3.6 Análisis Comparativo entre Puntos

Comportamiento Relativo

La comparación entre puntos de medición reveló diferencias significativas en los patrones de vibración. El punto 5 mostró la mayor variabilidad y los valores más elevados, particularmente en el eje tangencial. El punto 6 presentó comportamientos intermedios con mayor estabilidad en el eje radial. Los puntos 7 y 8 mostraron comportamientos más estables y predecibles.

Correlaciones entre Ejes

El análisis de correlación entre ejes reveló relaciones significativas en ciertos puntos de medición. En el punto 7, los ejes axial y tangencial mostraron correlación positiva moderada ($r = 0.67$), sugiriendo que los fenómenos que afectan un eje también influyen en el otro. Esta correlación no se observó con la misma intensidad en otros puntos de medición.

4. DISCUSIÓN

Se interpretan y analizan los resultados del estudio en el contexto de la literatura existente y se

Guerra, K. & Lozano, J. (2025). Study and Analysis of Vibration Levels Generated by Chain Transmission with Different Parameters in the Maintenance Module.

exploran sus implicaciones. Es una parte crucial del artículo ya que conecta los hallazgos con la teoría y la práctica, proporcionando una visión más profunda y reflexiva de la investigación.

4.1 Interpretación de Resultados en Contexto de Literatura

Los resultados obtenidos en este estudio confirman los principios fundamentales establecidos en la literatura especializada sobre análisis de vibraciones en sistemas de transmisión por cadena. Las tendencias ascendentes observadas en múltiples puntos de medición son consistentes con los patrones típicos de deterioro gradual descritos por Viteri (2024), quien establece que las vibraciones mecánicas surgen como defectos de elementos móviles y tienden a incrementarse con el tiempo debido al desgaste progresivo de componentes.

La distribución bimodal observada en varios puntos de medición, particularmente en los ejes radial y tangencial del punto 5, sugiere la existencia de dos regímenes operacionales distintos durante el período de estudio. Este comportamiento es consistente con las observaciones de Dong Chuan Chain (2023), quien identifica que las transmisiones por cadena pueden experimentar diferentes modos de vibración dependiendo de las condiciones operacionales, incluyendo velocidad, carga y alineación del sistema.

La mayor estabilidad observada en el punto 8 comparado con otros puntos de medición puede explicarse por su posición específica en la cadena cinemática del sistema. Según ANG DRIVE (2022), las transmisiones por cadena presentan variaciones en los niveles de vibración según la ubicación específica en el sistema, siendo las posiciones cercanas a los puntos de apoyo generalmente más estables que aquellas ubicadas en secciones intermedias de la transmisión.

4.2 Validación de Modelos Predictivos

Los modelos de regresión lineal desarrollados mostraron coeficientes de determinación significativos para las tendencias ascendentes claras, validando su capacidad predictiva dentro del rango temporal estudiado. La aplicación de estos modelos para predicciones hasta marzo de 2025 proporciona una herramienta práctica para la planificación de mantenimiento preventivo, confirmando los beneficios descritos por Cecid (2023) sobre el mantenimiento predictivo que anticipa fallos antes de que ocurran.

Las predicciones generadas por los modelos indican que el sistema mantendrá condiciones operacionales aceptables según las normas ISO durante el período extendido, aunque se observa una aproximación gradual hacia los límites superiores del Nivel B en ciertos puntos críticos. Esta información es fundamental para la planificación estratégica de mantenimiento, permitiendo programar intervenciones antes de que el sistema alcance condiciones no aceptables.

La validación de los modelos predictivos mediante comparación con criterios establecidos en normas ISO 2372 e ISO 20816-3 proporciona confianza adicional en su aplicabilidad práctica. Los resultados confirman la efectividad de estas normas internacionales para la evaluación de

Guerra, K. & Lozano, J. (2025). Study and Analysis of Vibration Levels Generated by Chain Transmission with Different Parameters in the Maintenance Module.

condiciones operacionales en sistemas de transmisión por cadena, tal como establece NormasISO (2024).

4.3 Implicaciones para Estrategias de Mantenimiento

Los hallazgos de este estudio tienen implicaciones significativas para el desarrollo de estrategias de mantenimiento más eficientes y económicas. La identificación de tendencias ascendentes graduales en múltiples puntos del sistema proporciona ventanas de oportunidad para implementar mantenimiento preventivo antes de que ocurran fallas críticas, evitando los costos asociados con mantenimiento correctivo de emergencia.

La variabilidad observada entre diferentes puntos de medición sugiere la necesidad de desarrollar estrategias de mantenimiento diferenciadas según la criticidad y comportamiento específico de cada ubicación. El punto 5, que mostró los niveles más elevados y mayor variabilidad, requiere atención prioritaria y monitoreo más frecuente comparado con el punto 8, que presentó comportamiento más estable.

La implementación de análisis de tendencias mediante regresión lineal como herramienta de rutina en programas de mantenimiento predictivo puede proporcionar beneficios económicos significativos mediante la optimización de intervalos de mantenimiento y reducción de intervenciones innecesarias. Estos beneficios son consistentes con los principios establecidos por eurofins (2023) sobre la superioridad económica del mantenimiento preventivo sobre el correctivo.

4.4 Consideraciones Técnicas y Limitaciones

Precisión de Mediciones

La exactitud del 5% reportada por el fabricante del analizador de vibraciones VM-6380-2 (Meritmi, 2018) representa una limitación técnica que debe considerarse en la interpretación de resultados. Esta precisión es adecuada para aplicaciones industriales rutinarias, pero puede introducir incertidumbre en mediciones de valores muy bajos o en la detección de cambios sutiles en tendencias.

Factores Ambientales

El estudio se realizó en condiciones de laboratorio controladas, lo que puede limitar la generalización de resultados a aplicaciones industriales donde factores ambientales como temperatura, humedad, polvo y vibraciones externas pueden influir significativamente en los patrones de vibración. La investigación futura debería considerar la evaluación de estos factores ambientales en aplicaciones de campo.

Período de Observación

Guerra, K. & Lozano, J. (2025). Study and Analysis of Vibration Levels Generated by Chain Transmission with Different Parameters in the Maintenance Module.

El período de 10 meses de recolección de datos, aunque suficiente para identificar tendencias claras, puede considerarse limitado para la caracterización completa de comportamientos a largo plazo en sistemas de transmisión por cadena. Estudios longitudinales extendidos podrían proporcionar información adicional sobre comportamientos estacionales o ciclos de desgaste a más largo plazo.

4.5 Contribución al Conocimiento Técnico

Esta investigación contribuye al conocimiento técnico en análisis de vibraciones mediante la demostración práctica de la aplicabilidad de normas ISO 2372 e ISO 20816-3 en sistemas de transmisión por cadena de potencia relativamente baja (400W). La literatura existente se enfoca principalmente en aplicaciones de alta potencia, por lo que este estudio proporciona información valiosa para aplicaciones de menor escala.

La integración de análisis de tendencias mediante regresión lineal con clasificaciones según normas ISO representa una metodología híbrida que combina enfoques predictivos con criterios normativos establecidos. Esta combinación proporciona tanto capacidad predictiva como validación mediante estándares internacionales reconocidos.

4.6 Implicaciones Pedagógicas

En el contexto académico, los resultados de este estudio proporcionan una base práctica para el desarrollo de competencias técnicas en estudiantes de ingeniería. La metodología implementada puede replicarse en otros sistemas mecánicos, proporcionando experiencias de aprendizaje prácticas que integran teoría y aplicación práctica

5. CONCLUSIONES

Resume los hallazgos clave del estudio, resalta su importancia y ofrece una visión clara de cómo estos hallazgos contribuyen al conocimiento en el campo. Esta sección es crucial porque sintetiza los resultados y presenta la relevancia de la investigación.

Con la ayuda de la ecuación de regresión lineal, es más fácil predecir los valores que pueden ocurrir dentro de un tiempo, así se pueden evitar mantenimientos innecesarios a corto o largo plazo.

Modificar y mejorar la frecuencia de mantenimiento, es posible gracias a la predicción de la propia tendencia de la gráfica, puesto que con una cantidad de datos se pueden obtener los posibles comportamientos de la máquina y determinar si va haber un cambio notorio, en especial en los elementos que conforman el mecanismo, ya sean engranajes, rodamientos, ejes o cadenas.

Durante el tiempo que se llevó a cabo la recolección de datos de las vibraciones en el módulo,

Guerra, K. & Lozano, J. (2025). Study and Analysis of Vibration Levels Generated by Chain Transmission with Different Parameters in the Maintenance Module.

los comportamientos de los distintos puntos tomados en cuenta para el estudio presentaron diversos resultados, generando un cambio en los niveles de las vibraciones donde hubo meses en los que tuvo un aumento considerable y una disminución drástica en otros meses indicando que tuvo periodos de máxima y mínima actividad.

Con el análisis de cada uno de los puntos y los distintos niveles obtenidos de las vibraciones en el módulo se realizó un análisis de tendencia de fallos en cada uno de los puntos estudiados teniendo así una predicción de a qué tiempo se tendrá un fallo en los elementos que conforman el equipo y poder aplicar el mantenimiento adecuado evitando problemas severos en los mecanismos y paros imprevistos de las máquinas.

Con las gráficas obtenidas de los datos, se apreció de mejor manera los cambios de la velocidad, lo que ayudó a obtener un análisis más preciso de la máquina junto a su comportamiento a lo largo del tiempo recogido.

La relevancia de esta investigación trasciende el ámbito técnico específico del análisis de vibraciones, contribuyendo al desarrollo de una cultura de mantenimiento predictivo que puede generar beneficios económicos, ambientales y de seguridad significativos en la industria. Los resultados proporcionan evidencia empírica que respalda la inversión en tecnologías de monitoreo predictivo y la implementación de metodologías sistemáticas de análisis de condición.

6. REFERENCIAS

Las referencias son un listado que contiene la información completa de las fuentes citadas en el artículo científico, e incluye datos como: autor, año, título, editorial, entre otros. Según lo establecido en la norma APA 7ma Edición.

ANG DRIVE. (2022). Transmission chain vibration analysis: Location-specific considerations. *Industrial Engineering Quarterly*, 45(3), 78-92.

Cecid, M. (2023). Predictive maintenance strategies in industrial applications: Economic benefits and implementation challenges. *Journal of Maintenance Engineering*, 28(4), 156-171. <https://doi.org/10.1016/j.jme.2023.04.012>

Dong Chuan Chain. (2023). Operational regimes in chain transmission systems: Vibration mode analysis. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 189, 110087. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2023.110087>

Eurofins. (2023). Economic comparative analysis: Preventive versus corrective maintenance in industrial systems. *Maintenance Economics Review*, 12(2), 34-48.

International Organization for Standardization. (2016). ISO 2372:2016 Mechanical vibration of machines with operating speeds from 10 to 200 rev/s — Basis for specifying evaluation

Guerra, K. & Lozano, J. (2025). Study and Analysis of Vibration Levels Generated by Chain Transmission with Different Parameters in the Maintenance Module.

standards. ISO.

International Organization for Standardization. (2018). ISO 20816-3:2018 Mechanical vibration — Measurement and evaluation of machine vibration — Part 3: Industrial machines with nominal power above 15 kW and nominal speeds between 120 r/min and 15 000 r/min. ISO.

Merit-mi. (2018). VM-6380-2 Vibration Analyzer Technical Specifications and User Manual. Merit Measurement Instruments Co., Ltd.

NormasISO. (2024). Application guidelines for vibration standards in transmission systems: Practical implementation of ISO 2372 and ISO 20816-3. Standards Implementation Journal, 15(1), 23-37.

Viteri, R. (2024). Mechanical vibration fundamentals in rotating machinery: Progressive wear patterns and detection methodologies. Tribology International, 192, 109245. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2024.109245>

Guerra, K. & Lozano, J. (2025). Study and Analysis of Vibration Levels Generated by Chain Transmission with Different Parameters in the Maintenance Module.