

Vibraciones Globales y su Impacto económico en la Gestión de Mantenimiento para Equipos
Críticos de una compañía Avícola en Santander.

Oscar Eduardo Osma González

Trabajo de Grado para Optar al Título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director

David Javier Fuentes Palomino

Ingeniero Mecánico

Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Bucaramanga

2024

Dedicatoria

A Dios, principio y fin de todo logro, agradezco por iluminar mi camino y ser mi fortaleza. A mis padres, cuyo incondicional apoyo ha sido el pilar de mi formación. A mis amigos, compañeros de risas y desafíos, a quienes les debo gran parte de mis éxitos académicos. A mi entrañable amigo del alma, aunque ya no esté entre nosotros, estoy seguro de que desde el cielo sonrío orgulloso de este logro. Su memoria perdurara por muchos años en nuestros corazones como fuente de inspiración para muchos.

¡Gracias a todos por ser parte esencial de este camino hacia la especialización en gerencia de mantenimiento!

Agradecimientos

Al Ing. David Javier Fuentes Palomino, cuya influencia ha sido fundamental en mi crecimiento académico y profesional. Su destacado ejemplo y su constante enfoque hacia la mejora continua en los aspectos del diario vivir, han sido una fuente inagotable de motivación para mí y para todos los que hemos tenido el privilegio de aprender a su lado. Agradezco especialmente su paciencia y generosidad al compartir sus conocimientos, los cuales han enriquecido significativamente el contenido de esta monografía. Gracias por ser un pilar importante en mi desarrollo como ingeniero y ser humano.

Al Ing. Alberto David Pertuz Comas, cuyo juicio perspicaz y valiosos aportes han sido cruciales para transformar esta monografía en un documento que no solo enriquece mi conocimiento como especialista, sino que también contribuirá positivamente a futuras gestiones en este campo.

Asimismo, deseo expresar mi sincero agradecimiento a la Ing. Diana Marcela Jaramillo Varela, cuya perspectiva desde otro campo de la ingeniería ha aportado un punto crítico valioso. Su colaboración ha sido fundamental para comprender y enriquecer los contenidos de esta monografía.

Tabla de contenido

Introducción	14
1. Objetivos	16
1.1 Objetivo General	16
1.2 Objetivos Específicos	16
2. Contexto Operativo del Sector Avícola en Santander	17
3. Análisis de Vibraciones para la Industria Avícola	20
3.1 Mantenimiento Predictivo	21
3.2 La Vibración	21
3.3 Análisis de Vibraciones	22
3.4 Análisis de Vibraciones Globales	23
3.5 Análisis de Vibraciones Espectrales.	25
3.6 Tiempo Medio Entre Fallas y Tiempo Medio para Reparar.	26
4. Metodología	28
4.1 Selección y segmentación de equipos para el análisis de vibraciones.	28
4.1.1 Selección de parámetros Normal ISO 10816.	28
4.1.2 Selección de equipos para análisis de vibraciones globales.	32
4.1.3 Análisis de Viabilidad de medición de equipos en planta.	33
4.1.4 Puntos a medir en los equipos seleccionados.	34
4.2 Selección y Adquisición de Equipo para Medición de Vibraciones Globales.	36
4.2.1 Análisis del Equipo para Medición de Vibraciones Globales.	37
4.3 Diseño de Estrategia para Adquisición de Datos	38

<i>4.3.1 Formato para Ruta de Vibraciones Globales.</i>	38
4.4 Diseño de Estrategia para Manejo de Datos.	45
<i>4.4.1 Método de digitalización de datos.</i>	45
<i>4.4.2 Método de almacenamiento y tratamiento de datos.</i>	49
<i>4.4.3 Método de entrega de informes.</i>	51
4.5 Implementación de estrategia para inspección por análisis de vibraciones globales	52
4.6 Cuantificación económica de gestiones resultantes por análisis de vibraciones globales.	53
5. Conclusiones	57
6. Recomendaciones	59
Referencias Bibliográficas.	60

Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Número de equipos por planta y caracterización según su criticidad.</i>	32
Tabla 2. <i>Número de equipos criticidad A, seleccionados para ruta de vibraciones globales.</i>	33
Tabla 3. <i>Cantidad de puntos para ruta de vibraciones globales.</i>	35

Lista de Figuras

Figura 1. <i>Diagrama del ciclo integral del proceso avícola</i>	18
Figura 2. <i>Suma de vibraciones simples en el dominio del tiempo.</i>	24
Figura 3. <i>Ejemplo de espectro de vibración en un sistema mecánico.</i>	26
Figura 4. <i>Logo ISO.</i>	29
Figura 5. <i>Tabla de severidad ISO10816-3.</i>	31
Figura 6. <i>Ejemplo de nomenclatura y definición de puntos para análisis de vibraciones.</i>	35
Figura 7. <i>VibChecker VC200.</i>	37
Figura 8. <i>Análisis Tabla de Severidad ISO10816-3.</i>	39
Figura 9. <i>Formato #1.</i>	40
Figura 10. <i>Formato #2.</i>	41
Figura 11. <i>Formato #3.</i>	41
Figura 12. <i>Ejemplo de Formato Completo para Toma de Datos en Ruta.</i>	43
Figura 13. <i>Ejemplo de Análisis Gráfico de Toma de Datos.</i>	44
Figura 14. <i>Ejemplo Portada Encuesta.</i>	46
Figura 15. <i>Ejemplo pantalla de selección de equipo.</i>	47
Figura 16. <i>Ejemplo pantalla de Inclusión de datos.</i>	47
Figura 17. <i>Ejemplo pantalla de cuestionario de inspección visual.</i>	48
Figura 18. <i>Ejemplo pantalla con casilla de texto libre.</i>	48
Figura 19. <i>Grafica de vibraciones Globales para análisis de mediciones en cuatro puntos.</i>	50
Figura 20. <i>Grafica de vibraciones Globales para análisis de mediciones en ocho puntos.</i>	50
Figura 21. <i>Tablero de visualización de Gestiones.</i>	51

Figura 22. <i>Gestiones de capacitación al personal técnico.</i>	53
Figura 23. <i>Graficas del comportamiento de MTBF en las diferentes plantas</i>	55
Figura 24. <i>Graficas del comportamiento de MTTR en las diferentes plantas.</i>	55

Glosario

Análisis de Vibraciones Globales: Método utilizado para evaluar la condición de maquinaria rotativa mediante el estudio de las vibraciones producidas durante su funcionamiento.

Capacitación: Proceso mediante el cual se proporciona conocimiento, habilidades y competencias a individuos para desempeñar tareas específicas de manera efectiva.

Costo-Beneficio: Evaluación que compara los costos de implementar una acción o proyecto con los beneficios que se esperan obtener, con el objetivo de determinar su viabilidad.

Dashboard de Visualización: Herramienta que muestra de manera visual y en tiempo real datos e indicadores clave de rendimiento (KPIs), facilitando la toma de decisiones.

Eficiencia: Grado en que se logran los objetivos con la menor cantidad de recursos utilizados.

Fiabilidad: Propiedad de un sistema o equipo de mantener su funcionamiento bajo condiciones específicas durante un período de tiempo determinado.

Gestión de Activos: Proceso que involucra la administración estratégica de los activos de una organización a lo largo de su ciclo de vida, con el fin de optimizar su rendimiento y valor.

Gestión de Datos: Práctica que involucra la organización, almacenamiento y análisis de datos de manera eficiente para obtener información útil y tomar decisiones informadas.

Herramientas Informáticas: Programas o aplicaciones diseñadas para realizar tareas específicas en una computadora u otro dispositivo electrónico.

ISO 10816: Norma internacional que establece los criterios y procedimientos para la evaluación de vibraciones en maquinaria rotativa.

Macro de Excel: Secuencia de comandos o instrucciones predefinidas en Excel que automatizan tareas repetitivas o complejas.

Mantenimiento Predictivo: Estrategia de mantenimiento que utiliza datos y análisis para predecir el momento óptimo para realizar tareas de mantenimiento antes de que ocurran fallas.

Mantenimiento Preventivo: Tareas planificadas realizadas de manera regular para mantener equipos y sistemas en óptimas condiciones y evitar posibles fallas.

MTBF (Mean Time Between Failures): Tiempo promedio entre fallos de un sistema, equipo o componente durante su funcionamiento normal.

MTTR (Mean Time to Repair): Tiempo promedio necesario para reparar un sistema, equipo o componente después de una falla.

Power BI: Herramienta de análisis de datos de Microsoft que permite visualizar y compartir información de manera interactiva.

Tecnología de la Información: Conjunto de herramientas, sistemas y aplicaciones utilizadas para gestionar y procesar información de manera efectiva.

Vibraciones Espectrales: Análisis de las vibraciones de un sistema descompuestas en sus componentes de frecuencia para identificar posibles problemas o anomalías.

Resumen

Título: Vibraciones Globales y su Impacto económico en la Gestión de Mantenimiento para Equipos Críticos de una compañía Avícola en Santander.*

Autor: Oscar Eduardo Osma González.**

Palabras Clave: Vibraciones, mantenimiento, MTTF, MTTR, mantenimiento predictivo

Descripción:

El autor explora la transformación de las prácticas de gestión del mantenimiento hacia enfoques preventivos en la industria, resaltando el papel crucial del análisis de vibraciones para detectar y corregir fallas incipientes en equipos rotativos. Se reconoce que la implementación de esta metodología puede presentar desafíos, pero se destaca su importancia para aumentar la disponibilidad de equipos y optimizar los tiempos de mantenimiento. Se sugiere iniciar con un programa de vibraciones a nivel global como una introducción efectiva al mantenimiento predictivo, antes de avanzar hacia prácticas más avanzadas. En resumen, la monografía ofrece una visión detallada de cómo el análisis de vibraciones ha revolucionado la gestión del mantenimiento industrial, proporcionando una herramienta valiosa para mejorar la eficiencia operativa y prevenir fallos.

* Trabajo de Grado

**

Abstract

Title: Global Vibrations and their Economic Impact on the Maintenance Management for Critical Equipment of a Poultry Company in Santander.*

Author(s): Oscar Eduardo Osma Gonzalez.**

Key Words: Vibrations, maintenance, MTTF, MTTR, predictive maintenance

Description:

The author explores the transformation of maintenance management practices towards preventive approaches in the industry, highlighting the crucial role of vibration analysis in detecting and correcting incipient failures in rotating equipment. It is acknowledged that implementing this methodology may pose challenges, but its importance in increasing equipment availability and optimizing maintenance times is emphasized. Starting with a global vibration program is suggested as an effective introduction to predictive maintenance before progressing to more advanced practices. In summary, the monograph offers a detailed insight into how vibration analysis has revolutionized industrial maintenance management, providing a valuable tool for enhancing operational efficiency and preventing failures.

*

**

Introducción

La evolución en las prácticas de gestión del mantenimiento refleja la creciente importancia de la evaluación de costos en la actual industria. Este cambio estratégico, que va desde enfoques mayormente correctivos hacia una atención más focalizada en diversas áreas del mantenimiento preventivo, busca mitigar los efectos perjudiciales ocasionados por fallos inesperados en los equipos. En este contexto, las metodologías de análisis por condición, particularmente el análisis de vibraciones en sus niveles frecuencial y global, han revolucionado la gestión del mantenimiento hacia un enfoque proactivo. Estos enfoques desempeñan un papel fundamental al abordar posibles problemas en equipos rotativos, permitiendo la detección y corrección de fallas incipientes antes de que evolucionen hacia estados críticos. Así, el análisis de vibraciones emerge como una herramienta clave, proporcionando una visión detallada y temprana de la salud de los equipos rotativos y contribuyendo a la optimización de estrategias preventivas en el mantenimiento industrial.

Entrando en materia, el análisis frecuencial (o espectral), es la técnica más comúnmente empleada para el diagnóstico de fallas por medio del análisis de vibraciones. Se pueden identificar fallas típicas tales como desbalance, desalineamiento, soldaduras mecánicas y defectos en rodamientos. La idea fundamental del análisis frecuencial es encontrar la relación existente entre la frecuencia de las componentes discretas presentes en el espectro y la frecuencia de las fuerzas dinámicas que generan las vibraciones. (Estupiñan Y Saavedra, 2010).

Como se describe anteriormente, la implementación del análisis de vibraciones a nivel espectral, a pesar de su alta precisión en el diagnóstico, se enfrenta a desafíos significativos. Esto incluye la complejidad y el costo asociado con la adquisición de equipos especializados y la

capacitación del personal, lo cual ha sido una barrera para la creación de programas internos de análisis de vibraciones. Como resultado, muchas organizaciones prefieren externalizar esta actividad a proveedores especializados, lo que conlleva a un gasto continuo y una práctica de bajas frecuencias de medición, debido a los altos costos asociados con estos servicios.

Esta dinámica plantea desafíos y oportunidades únicas para diversas industrias, incluyendo la industria avícola en Santander. En este contexto, una importante compañía del sector, se encuentra en la búsqueda de soluciones que le permitan aumentar la disponibilidad de sus equipos críticos y optimizar los tiempos para llevar a cabo acciones de mantenimiento. Por lo tanto, la implementación de técnicas especializadas bajo metodologías que se adapten a las limitaciones de presupuesto y recursos, pueden brindar respuestas concretas a las necesidades específicas de la empresa, y así poder marcar la diferencia en la eficiencia operativa y la reducción de costos.

En la búsqueda de nuevas metodologías, el análisis de vibraciones a nivel global, se muestra como un procedimiento de introducción en el análisis de vibraciones, disminuyendo notablemente la barrera generada por la inversión inicial de las vibraciones espectrales, y contando con todos los parámetros de implementación bajo la norma ISO10816.

Por lo anterior, la estrategia prudente para comenzar en la gestión de análisis de vibraciones es implementar un programa de vibraciones a nivel global. Teniendo claro que, aunque esta metodología puede no ser tan avanzada como el análisis de vibraciones espectrales, proporciona una introducción efectiva al mundo del mantenimiento predictivo. Reduciendo los costos asociados con la adquisición de tecnologías más avanzadas y la capacitación del personal. Además, inicia las bases para una evolución gradual hacia prácticas más sofisticadas a medida que la organización gane experiencia y experimente los beneficios tangibles de la gestión predictiva.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Definir un programa de monitoreo de vibraciones basado en la norma ISO 10816, utilizando tecnologías de vibración global, con el fin de mejorar la disponibilidad de los equipos críticos y establecer un enfoque proactivo de mantenimiento, que impacte favorablemente la vida útil de los equipos y reduzca los costos asociados a reparaciones y reemplazos inesperados.

1.2 Objetivos Específicos

- Identificar y enumerar un listado de equipos de la industria avícola, basado en un análisis de criticidad y los requisitos de la norma ISO 10816, con el propósito de establecer un programa de monitoreo de vibraciones globales que garantice la seguridad y eficiencia en la gestión de mantenimiento de dicha industria.

- Diseñar y establecer una metodología integral para la captura de datos de vibraciones globales bajo la norma ISO 10816 de tal forma que se asegure la calidad de la información recopilada.

- Gestionar la información de los datos de vibración global mediante una herramienta informática que permita el almacenamiento, visualización y análisis de los datos con el propósito de llevar la trazabilidad de las vibraciones.

- Evaluar de manera cuantitativa el impacto en la disponibilidad de los equipos críticos de la compañía mediante la implementación del monitoreo de vibraciones globales.

2. Contexto Operativo del Sector Avícola en Santander

La cadena avícola está conformada por una gran diversidad de eslabones, que van desde la parte primaria con la producción de huevo y el engorde de pollo en las granjas, hasta el sistema de distribución y venta que atiende los requerimientos de los hogares y de la industria agroalimentaria. Además de los actores evidentes al interior de esta cadena, que son los avicultores, en ella participan los importadores y la industria de alimentos balanceados e insumos, los proveedores de insumos veterinarios, de materiales para el empaque, de equipos y del transporte necesario para trasladar tanto las materias primas como los productos finales (FENAVI, 2020).

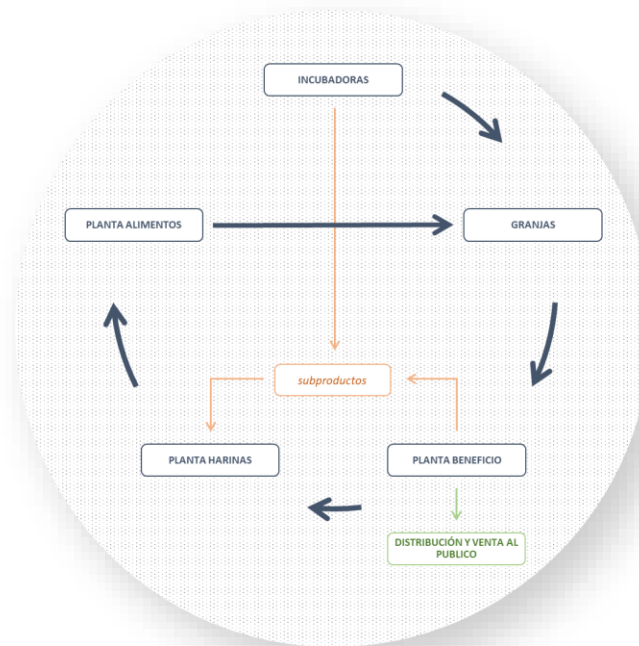
Entrando en detalle, la industria avícola en Santander se encuentra estructurada en distintos sectores que abarcan todo el ciclo de producción. Este ciclo inicia en las incubadoras, donde los pollitos nacen y están listos para ser trasladados a las granjas de levante y engorde. Después de completar su fase de crecimiento, las aves son transportadas a plantas de beneficio. En estas instalaciones, se llevan a cabo una serie de procesos que incluyen desangre, escaldado, desplumado, evisceración, lavado y selección, marinado, choques de frío, tratamiento de productos especiales como embutidos y adobados para llegar finalmente, al empaque, el almacenamiento y el despacho.

Siguiendo el flujo meticuloso del proceso avícola (ver figura 1), los subproductos cárnicos generados en diversas etapas de los procesos de las plantas de beneficio, son cuidadosamente seleccionados y dirigidos hacia la planta de harinas. Esta instalación desempeña un papel esencial en la gestión integral de recursos, empleando materias primas como sangre, plumas y cascaras de huevo para la producción de harina de pluma. Este proceso implica varias etapas, que incluyen hidrólisis, cocción, secado, molienda y, finalmente, empaque.

Por otra parte, los subproductos cárnicos, como las vísceras, pasan por un proceso que involucra cocción, percolado, separación de aceite mediante prensado, molienda y, de manera análoga a la harina de pluma, culmina en el empaclado. Estos productos finales se destinan posteriormente a las plantas de alimentos.

Figura 1.

Diagrama del ciclo integral del proceso avícola



En la planta de alimentos, las harinas obtenidas anteriormente se fusionan con granos y grasas, dando origen al producto final denominado Pelet. El cual se convierte en el alimento fundamental en las distintas fases de desarrollo de las aves. La formulación de esta mezcla está estrechamente vinculada a la etapa específica en la que se encuentra cada ave destinada a

consumirlo. En este último tramo del proceso, se llevan a cabo subprocesos cruciales como el secado, la molienda, la dosificación, el mezclado, el peletizado y, finalmente, el empaque.

Este conjunto de fases representa la culminación de un ciclo productivo integral que se extiende desde las incubadoras hasta la creación de productos finales utilizados en el crecimiento y alimentación de las aves. Cada paso, meticulosamente diseñado, contribuye a garantizar la calidad y eficiencia del proceso avícola, permitiendo un aprovechamiento óptimo de los recursos y proporcionando productos alimenticios adaptados a las necesidades específicas de las aves en cada fase de su desarrollo.

3. Análisis de Vibraciones para la Industria Avícola

Un tema fundamental, antes de ingresar en el contexto del análisis de vibraciones, es entender conceptos claves como el mantenimiento; el cual según (Garrido, 2010) es el conjunto de técnicas destinadas a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento.

De igual forma si hablamos de mantenimiento preventivo es la ejecución de un sistema de inspecciones periódicas programadas racionalmente sobre el activo de la planta y sus equipos. Con el fin de detectar condiciones o estados inadecuados de esos elementos, que pueden ocasionar circunstancialmente paros en la producción o deterioro grave de máquinas, equipos o instalaciones, y realizar en forma permanente el cuidado de mantenimiento de la planta para evitar tales condiciones, mediante la ejecución de ajustes o reparaciones, mientras las fallas potenciales están aún en estado inicial de desarrollo (Mora, 2009).

Para llevar a cabo eficazmente el mantenimiento preventivo, se utilizan diversas herramientas y enfoques. Algunas de estas herramientas incluyen el análisis modal de fallas y efectos (FMEA), el mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), así como técnicas de mantenimiento predictivo, entre otros. Estas herramientas ayudan a identificar las actividades específicas que deben realizarse y a optimizan los recursos utilizados en el mantenimiento preventivo.

3.1 Mantenimiento Predictivo

De acuerdo con lo mencionado, se puede describir al mantenimiento predictivo como una herramienta o una técnica ligada al mantenimiento preventivo. Según (White, 2010), la técnica está basada en el hecho que la mayoría de las partes de la máquina darán un tipo de aviso antes de que fallen. Para percibir los síntomas con que la máquina nos está advirtiendo requiere varias pruebas no destructivas, tal como análisis de aceite, análisis de desgaste de partículas, análisis de vibraciones, medición de temperaturas, entre otras.

La implementación del mantenimiento predictivo involucra sistemas de monitoreo para recopilar datos o parámetros para las pruebas mencionadas, después de recopilar la información, esta debe ser analizada por medio de técnicas matemáticas, con el objetivo de identificar cambios anormales o patrones que indiquen problemas potenciales en el equipo inspeccionado.

La inspección y la evaluación de los parámetros se pueden realizar en forma periódica, o en forma continua, dependiendo de diversos factores como son: el tipo de planta, los tipos de fallas por diagnosticar y la inversión que se quiera realizar (Mora, 2009).

Y finalmente cuando se detecta un cambio significativo en las condiciones de un equipo que sugiere una posible falla, se planifican intervenciones proactivas como inspecciones más rigurosas o especializadas, ajustes o reparaciones, antes de que ocurra una parada no planificada.

3.2 La Vibración

La vibración es un fenómeno universal que abarca una amplia gama de disciplinas y aplicaciones. Su estudio y comprensión son esenciales en campos tan diversos como la física, la

ingeniería, la música, la biología, la ciencia de los materiales y las ciencias humanas, y su aplicación varía según el contexto, desde el punto de la ingeniería (Rao, 2012) la define como cualquier movimiento que se repite después de un intervalo de tiempo se llama vibración u oscilación. El vaivén de un péndulo y el movimiento de una cuerda pulsada son ejemplos comunes de vibración. La teoría de la vibración tiene que ver con el estudio de los movimientos oscilatorios de los cuerpos y las fuerzas asociadas con ellos.

En la ingeniería mecánica, la vibración se considera un aspecto crítico en el diseño y la operación de máquinas y estructuras. Puede ser tanto deseable, como en el caso de componentes vibratorios controlados, como indeseable, como en el caso de vibraciones excesivas que pueden llevar a fallas en equipos. De ahí su importancia en ser analizada con el propósito de evaluar y prevenir situaciones de fallas mecánicas.

En términos del análisis de vibraciones mecánicas estas pueden ser realizadas tanto a nivel global como a nivel espectral, y la elección entre ambos enfoques depende de los objetivos de diagnóstico y monitoreo. El análisis global ofrece una vista general y es útil para la detección temprana de problemas, mientras que el análisis espectral proporciona detalles precisos y se utiliza para un diagnóstico más específico y detallado.

3.3 Análisis de Vibraciones

Es considerada una técnica del mantenimiento predictivo que se enfoca en evaluar el estado de salud de las máquinas analizando el comportamiento de sus vibraciones, según (Olarte y Cañon, 2010) describe que todas las máquinas presentan ciertos niveles de vibración, aunque se

encuentren operando correctamente. Sin embargo, cuando se presenta alguna anomalía, estos niveles normales de vibración se ven alterados indicando la necesidad de una revisión del equipo. El análisis de vibraciones mecánicas se lleva a cabo de varias formas para evaluar la salud y el rendimiento de equipos y maquinarias permitiendo detectar problemas potenciales en etapas tempranas, lo que facilita la planificación de acciones de mantenimiento preventivo o correctivo antes de que ocurran fallas graves. Dentro de formas más comunes de realizar análisis de vibraciones, se destacan el análisis de vibraciones global y el análisis espectral.

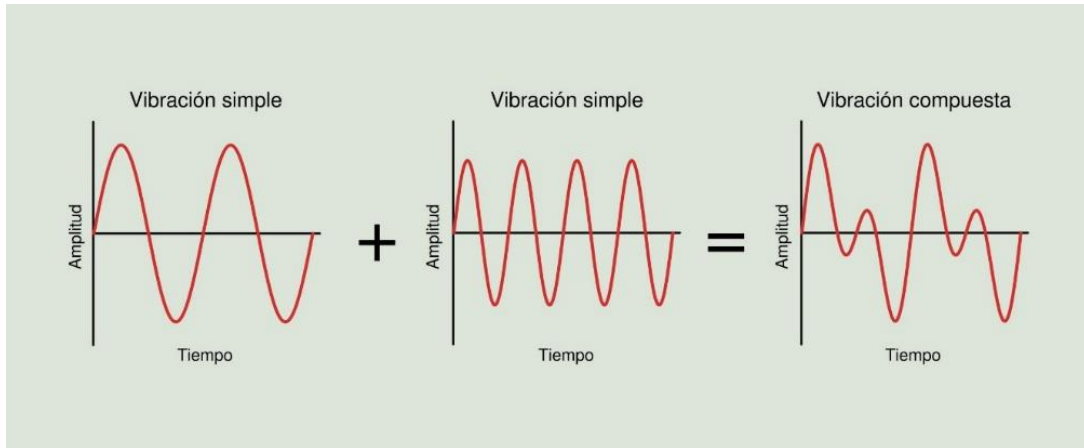
3.4 Análisis de Vibraciones Globales

El análisis de vibraciones globales, también conocido como análisis de banda ancha o análisis en el dominio del tiempo, es una técnica utilizada en el campo del mantenimiento predictivo y la evaluación de la salud de maquinaria y equipos industriales. Se concentra en la evaluación de las vibraciones en el dominio del tiempo.

El análisis global se enfoca en registrar y analizar las oscilaciones de la maquinaria tal como se presentan en el tiempo, ya sea de forma continua o periódica. Esto significa que se obtiene una señal de vibración compuesta (ver figura 2) que incluye todas las frecuencias presentes en el sistema, al evaluar características temporales de la señal, como la amplitud, la forma de onda, la velocidad y la aceleración. Estas características pueden proporcionar información sobre la salud general de la maquinaria y la presencia de problemas como desequilibrios, holguras, desalineaciones y otros defectos mecánicos.

Figura 2.

Suma de vibraciones simples en el dominio del tiempo.



Nota. <https://power-mi.com/es/content/vibraci%C3%B3n-en-maquinaria-industrial>

Según (Gajardo, 2022) las vibraciones globales corresponden a la suma de todas las vibraciones que capta el sensor, provenientes de distintas fuentes de excitación, todas estas vibraciones se denominan componentes.

En general las mediciones de vibraciones globales se realizan en forma de velocidad (mm/seg) debido a que la experiencia ha demostrado que las mediciones de velocidad son la mejor indicación para evaluar la severidad de las vibraciones en el rango normal de frecuencias de giro de las máquinas rotativas usuales (de 10 a 1000 Hz). El valor global de vibraciones obtenido, mecánica de la misma. En ausencia de valores comparado con los valores recomendados por el fabricante de la máquina, da una idea de la condición recomendados por el fabricante, existen tablas y normas que pueden utilizarse al efecto (Kulichevsky, Sacchi y Ghiselli, 2000).

A menudo, el análisis de vibraciones globales se utiliza en conjunto con el análisis de vibraciones espectrales. Mientras que el análisis espectral proporciona información detallada sobre

las frecuencias presentes, el análisis de vibraciones globales brinda una vista general del comportamiento de la vibración en el tiempo.

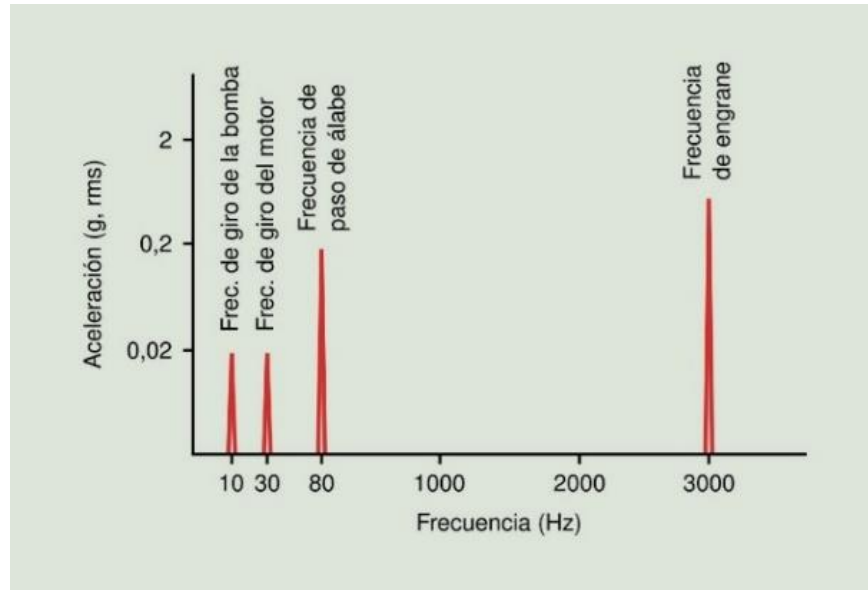
3.5 Análisis de Vibraciones Espectrales.

Es uno de los métodos de diagnóstico más utilizados en el campo de la ingeniería y el mantenimiento predictivo para evaluar la salud y el funcionamiento de maquinaria y equipos rotativos, este análisis corresponde a la descomposición de la vibración global en los componentes que la conforman, la manera de presentar estos resultados es mediante un gráfico en el cual se indica la amplitud de cada componente vibratorio vs su frecuencia, llamado espectro vibratorio (Gajardo, 2022).

Ya es conocido que las máquinas por su funcionamiento generan vibraciones mecánicas, las cuales con el transcurrir el tiempo aumentan su amplitud debido a diversas situaciones mecánicas. A diferencia de las vibraciones globales donde se analiza únicamente la suma de todas las vibraciones que capta el sensor, en el análisis espectral se descompone las vibraciones en sus componentes de frecuencia, mediante una técnica matemática llamada transformada de Fourier, la cual convierte la señal total de vibración en un espectro de frecuencias (ver figura 3). De esta forma los analistas de vibraciones identifican patrones característicos de vibración que son indicativos de problemas en la maquinaria. Por ejemplo, el aumento de un pico en una frecuencia específica puede sugerir un desequilibrio en un rotor, mientras que otro pico en una frecuencia diferente podría indicar una desalineación, entre otros.

Figura 3.

Ejemplo de espectro de vibración en un sistema mecánico.



Nota. <https://power-mi.com/es/content/estudio-de-las-vibraciones>

3.6 Tiempo Medio Entre Fallas y Tiempo Medio para Reparar.

Por sus siglas en inglés, los indicadores MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas) y MTTR (Tiempo Medio de Reparación) son herramientas esenciales en la gestión de mantenimiento industrial. Estos parámetros proporcionan una visión clara del rendimiento de los equipos en términos de su capacidad para operar de manera continua y su tiempo de inactividad cuando se produce una falla. El MTBF refleja el intervalo promedio entre fallas de un equipo, lo que sugiere su estabilidad operativa. Por otro lado, el MTTR indica el tiempo promedio que se tarda en reparar un equipo después de una falla, lo que revela la eficacia de las acciones de mantenimiento correctivo.

En el contexto empresarial, estos indicadores son utilizados para evaluar la eficiencia de las estrategias de mantenimiento y tomar decisiones informadas para mejorar la disponibilidad y el rendimiento de los activos. Un MTBF prolongado sugiere una menor frecuencia de fallas, lo que puede traducirse en una mayor productividad y menores costos asociados con la interrupción de la producción. Por otro lado, un MTTR reducido indica una respuesta rápida y efectiva ante las fallas, lo que minimiza el tiempo de inactividad y los impactos negativos en la operación. En resumen, el análisis de MTBF y MTTR permite a las empresas optimizar sus operaciones, reducir los costos de mantenimiento y mejorar su competitividad en el mercado.

4. Metodología

En capítulos anteriores, se ha enfatizado la relevancia de implementar estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo en la industria avícola de Santander, con el fin de mejorar la disponibilidad y la integridad de los equipos utilizados en el proceso. En este contexto, se ha resaltado el análisis de vibraciones globales como un paso inicial hacia el enfoque proactivo que caracteriza a las gestiones de mantenimiento de las industrias más competitivas a nivel mundial.

4.1 Selección y segmentación de equipos para el análisis de vibraciones.

Para iniciar el proceso, es crucial realizar un análisis detallado de los parámetros establecidos en la norma ISO 10816. Este paso inicial permite identificar las especificaciones aplicables de la norma. Luego, se evalúa el inventario de equipos de la industria avícola en estudio, categorizándolos según la cantidad y el análisis de criticidad previamente implementado en la empresa. Así, se obtiene un listado selecto de equipos para el análisis específico de vibraciones globales. Esta selección y categorización son fundamentales para garantizar una aplicación efectiva y enfocada de las técnicas de análisis de vibraciones en la industria avícola.

4.1.1 Selección de parámetros Normal ISO 10816.

La ISO10816 es una serie de normas internacionales desarrolladas por la Organización Internacional de Normalización (ISO) (Ver Figura 4) del año 1995, es una actualización de la norma ISO2372. (Antezana, 2013).

Figura 4.

Logo ISO.



Nota. Fuente: <https://www.iso.org/iso-name-and-logo.html>

Esta norma establece pautas y procedimientos para la medición y evaluación de vibraciones mecánicas en maquinaria industrial. Esta norma se utiliza ampliamente en el campo del mantenimiento predictivo y la evaluación de la salud de los equipos para garantizar su funcionamiento seguro y confiable. La serie ISO10816 consta de varias partes, cada una de las cuales se enfoca en un aspecto específico del análisis de vibraciones. A continuación, se describen las partes más relevantes:

- ISO10816-1:1995 (Parte 1 - Generalidades): Esta parte proporciona información general sobre la medición de vibraciones y define los términos y conceptos clave utilizados en la serie ISO 10816 y establece las bases para la evaluación de vibraciones.

- ISO10816-2:2009 (Parte 2 - Evaluación de vibraciones en turbinas de vapor y generadores con potencia nominal mayor a 50MW con velocidades de operación de 25 Hz, 30 Hz, 50 Hz y 60Hz).

- ISO10816-3:2009 (Parte 3 - Evaluación de vibraciones en máquinas rotativas con potencia nominal mayor a 15 kW (20 Hp) y menor o igual a 50 MW con velocidades de operación entre 10 Hz y 200 Hz).

- ISO10816-4:1998 (Parte 4 - Evaluación de vibraciones en máquinas rotativas con potencia nominal mayor a 50 MW y una velocidad de operación mayor a 10 Hz).

- ISO10816-5:2000 (Parte 5 - Máquinas rotativas con potencia nominal menor o igual a 15 kW e índice de velocidad efectiva mayor a 10 Hz y menor o igual a 1000 Hz medición en sitio): Esta parte se centra en máquinas de menor potencia nominal, pero con velocidades de operación más altas. Proporciona directrices para la medición de vibraciones en el lugar donde opera la máquina.

- ISO10816-6:1995 (Parte 6 - Evaluación de vibraciones en máquinas rotativas con potencia nominal mayor a 50 MW y una velocidad de operación mayor a 10 Hz y menor o igual a 60 Hz).

Es importante destacar que la elección de la parte específica de la norma ISO10816 a aplicar depende de la naturaleza de la maquinaria, su potencia nominal y su velocidad de operación, en el caso de la industria avícola, los equipos críticos a analizar se encuentran en la parte 3 de la norma ISO10816.

En esta parte se encuentran la mayoría de los equipos industriales, estos se clasifican en diferentes grupos y tipos de instalación para poder determinar las zonas de funcionamiento según su nivel de vibraciones (ver figura 5).

- Grupo 1. Máquinas grandes con potencia nominal entre 300KW y 50MW; máquinas eléctricas con altura de eje $H > 315\text{mm}$

- Grupo 2. Máquinas medianas con potencia nominal desde 15KW y hasta 300KW; máquinas eléctricas con altura de eje $160\text{mm} < H < 315\text{mm}$.

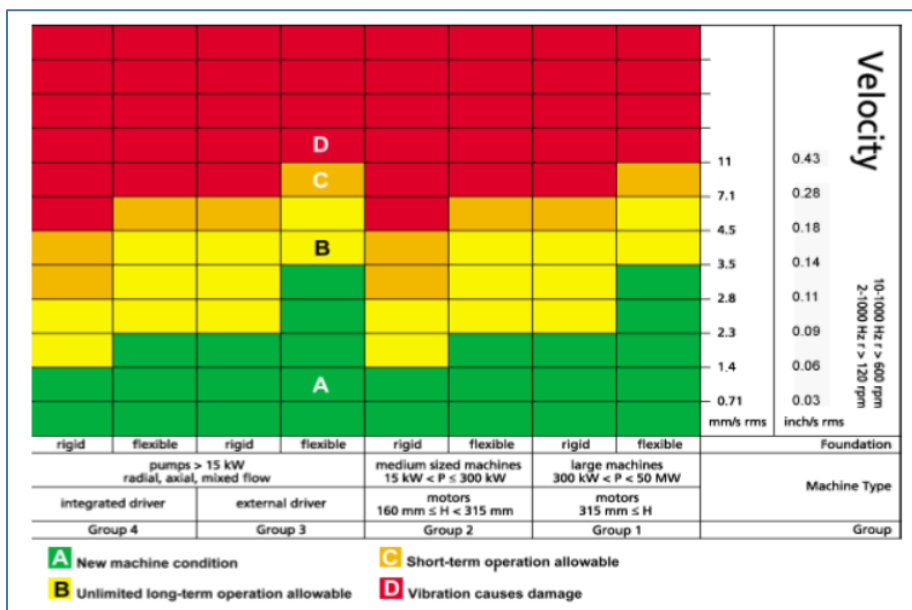
- Grupo 3. Bombas con impulsor de múltiples álabes y con motor separado. (Flujo centrífugo, axial o mixto) con potencia superior a 15KW.

- Grupo 4. Bombas con impulsor de múltiples álabes y con motor integrado. (Flujo centrífugo, axial o mixto) con potencia superior a 15KW.

Nota: Los términos de apoyo (rígido o flexible). Apoyo rígido se refiere a concreto. Todo lo demás es apoyo flexible.

Figura 5.

Tabla de severidad ISO10816-3.



Nota. Fuente: <https://www.scribd.com/document/438108352/Tabla-de-Severidad-Iso-10816#>

Con la anterior descripción de la norma, se infiere que en la industria avícola se puede implementar la parte 1 en la cual se describen todas las generalidades, pautas, descripciones y metodologías para implementar la norma, y la parte 3 con los grupos 2,3 y 4 los cuales se enfocan en equipos entre 15 a 300 KW tal cual como los usados en la industria avícola.

4.1.2 Selección de equipos para análisis de vibraciones globales.

Una vez seleccionadas las especificaciones de la norma a utilizar, se inicia el proceso de revisión del inventario de equipos utilizados en producción en los diferentes procesos y su análisis previo de criticidad, en caso de no contar con este tipo de implementación es importante acudir a literatura y especialistas que orienten esta gestión. En el caso a analizar efectivamente se contaba con un análisis de criticidad el cual usaron para la implementación del módulo PM-SAP. Partiendo de esta premisa se realiza la caracterización de equipos según sus criticidades (ver tabla 1).

Tabla 1.

Número de equipos por planta y caracterización según su criticidad.

Planta	Numero de equipos	Equipos Criticidad A	Equipos Criticidad B	Equipos Criticidad C
Beneficio	2548	248	760	1540
Harinas	432	80	219	133
Alimentos	1074	153	378	543
Total	4054	481	1357	2216

Nota. Esta tabla muestra los equipos en cada una de las plantas y su distribución según el análisis de criticidad previo realizado en la compañía.

Una vez realizado el inventario es necesario saber cuáles de los equipos de Criticidad A y B son de funcionamiento mecánico, ya que en este listado encontramos equipos de seguridad, equipos eléctricos y equipos de otras naturalezas que son de criticidad A pero no tienen nada que ver con el tema planteado, de ahí junto con los parámetros de potencia, velocidad y tamaño establecidos por la norma seleccionamos los equipos que podrían formar parte de la implementación de vibraciones globales en la compañía (ver tabla 2).

Tabla 2.

Número de equipos criticidad A, seleccionados para ruta de vibraciones globales.

Planta	Total Equipos A	Equipos A Seleccionados
Beneficio	248	50
Harinas	80	29
Alimentos	153	32
Total	481	111

Nota. Esta tabla muestra los equipos de criticidad A seleccionados, normalmente pasa esto ya que algunos equipos de criticidad A, por su naturaleza no aplican para este tipo de análisis establecido en este documento. Ejemplo: equipos eléctricos.

4.1.3 Análisis de Viabilidad de medición de equipos en planta.

Una vez seleccionadas las especificaciones de la norma a utilizar, y seleccionados los equipos para el análisis de vibraciones, inicia uno de las fases mas importantes, la cual consiste en validar en planta la viabilidad de la ejecución de la ruta, analizando los siguientes parámetros:

- Accesibilidad: Análisis enfocado en el acceso por parte del técnico a los equipos para realizar la medición.

- Seguridad: Análisis enfocado en los riesgos que el técnico pueda tener al ejecutar la medición.

Es importante recalcar que, si alguno de los dos parámetros establecidos no se cumple, es necesario hacer adecuaciones que la garanticen, antes de proceder con la ejecución de rutas de medición de vibraciones. Y así pasar al tercer paso que consiste en validar los puntos para medir teniendo en cuenta los parámetros que establece la norma ISO10816.

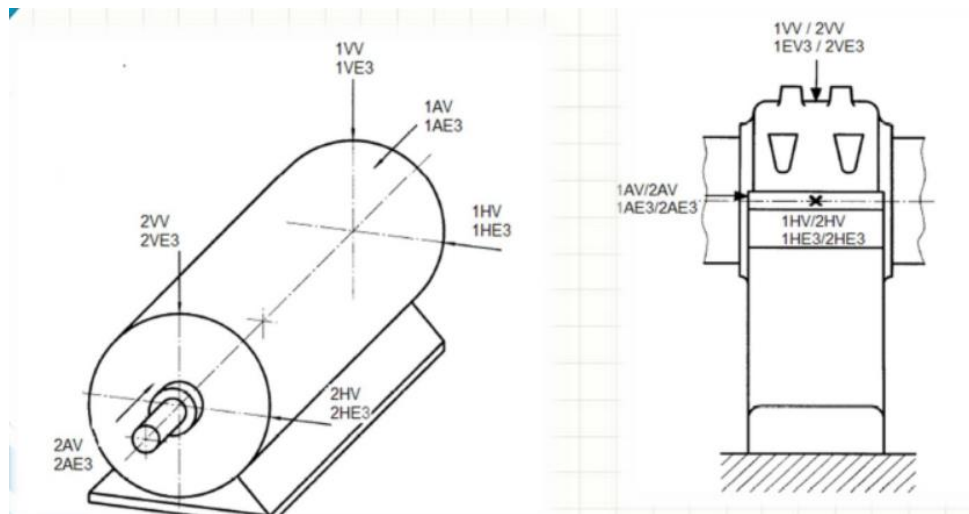
4.1.4 Puntos a medir en los equipos seleccionados.

En esta fase La ISO10816-1 establece que lo más conveniente es que las mediciones se realicen sobre los cojinetes, sobre el alojamiento que soporta al cojinete o sobre otras partes estructurales que respondan significativamente a las fuerzas dinámicas y caractericen la vibración global de la máquina. (NC-ISO 10816-1: 2005). Dicho de otra forma, en los puntos más cercanos a los soportes de los ejes del equipo a analizar.

Aparte de la posición, la norma establece la forma correcta de realizar la nomenclatura en los equipos, teniendo en cuenta que siempre se inicia en el lado libre del motor y se va desplazando de soporte en soporte hasta completar todos los soportes del equipo a medir (ver figura 6).

Figura 6.

Ejemplo de nomenclatura y definición de puntos para análisis de vibraciones.



Nota. Fuente: ISO 10816-1. Evaluación de las vibraciones en máquinas por mediciones sobre partes no giratorias.

Con esta información se procede con la caracterización de los puntos a medir en cada uno de los equipos seleccionados, para finalmente contar con el listado de equipos y la cantidad de puntos a medir en cada uno de ellos.

Tabla 3.

Cantidad de puntos para ruta de vibraciones globales.

Planta	Equipos A Seleccionados	Puntos a medir.
Beneficio	50	438
Harinas	29	202
Alimentos	32	283
Total	111	923

Nota. Esta tabla muestra la cantidad de puntos que se van a medir en cada una de las plantas, es importante tener en cuenta que el punto se designa por la zona del equipo y la dirección en la que se puede medir, ejemplo: el lado de

acople de un motor o zona 2, puede medirse en tres direcciones (horizontal, vertical y axial) lo cual implica que solo en esa zona hay 3 puntos de medición.

4.2 Selección y Adquisición de Equipo para Medición de Vibraciones Globales.

En esta fase se debe seleccionar el equipo o herramienta para realizar la medición de vibraciones en cada una de las rutas, es importante tener en cuenta que cumpla con las siguientes condiciones:

- Manejo de unidades según la norma ISO1816 en este caso mm/s RMS, aunque la mayoría de estos equipos cuenta con la norma en su software
- Fácil operación, ya que esta herramienta va a ser manipulada por un grupo de técnicos en cada una de las plantas.
- Resistencia del equipo, ya que la mayoría de los procesos presentan condiciones climáticas drásticas, ya sea calor, frío, humedad, polvo, entre otras.
- Costo del equipo, el cual debe estar dentro de los valores o el presupuesto establecido por la compañía.

Con estas características se selecciona del mercado el instrumento de medición acorde al presupuesto aprobado para la implementación de análisis en vibraciones globales, los parámetros de la norma ISO10816-3, y la durabilidad del instrumento.

4.2.1 Análisis del Equipo para Medición de Vibraciones Globales.

En esta fase se da después de analizar las diferentes propuestas comerciales que se presentan para este tipo de mediciones, en el análisis realizado por la compañía en cuestión, la selección estuvo inclinada hacia la marca SPM

El instrumento, físicamente compacto y robusto con una clasificación IP65, está diseñado para operar en condiciones ambientales adversas típicas de entornos industriales. Esta característica garantiza su fiabilidad y durabilidad a lo largo del tiempo, lo que permite su aplicación en una variedad de equipos, como bombas, cajas de engranajes y ventiladores. Esta versatilidad contribuye significativamente a la prevención de fallos y al mantenimiento proactivo de la maquinaria.

Figura 7.

VibChecker VC200.



Nota Fuente: <https://www.spminstrument.com/products-and-services/portable-instruments/vibchecker/>

4.3 Diseño de Estrategia para Adquisición de Datos

Durante esta fase, que se lleva a cabo simultáneamente con la selección del equipo para realizar las mediciones, se aborda la elaboración de la metodología para la toma de datos durante la ruta, la cual debe permitir un análisis comparativo inicial por parte del técnico responsable de la ruta. Aparte de incluir los datos básicos del equipo a analizar, y la identificación de los puntos de medición.

Al ser una implementación inicial una de las mejores opciones es la implementación de formatos impresos que puedan utilizarse en múltiples rutas o jornadas de medición, así se ahorra papel, se puede hacer un comparativo de todas las variables medidas vs la anterior o las anteriores mediciones y a su vez, permite ser un punto de partida hacia métodos de digitalización de datos o plantillas electrónicas durante la ruta.

4.3.1 Formato para Ruta de Vibraciones Globales.

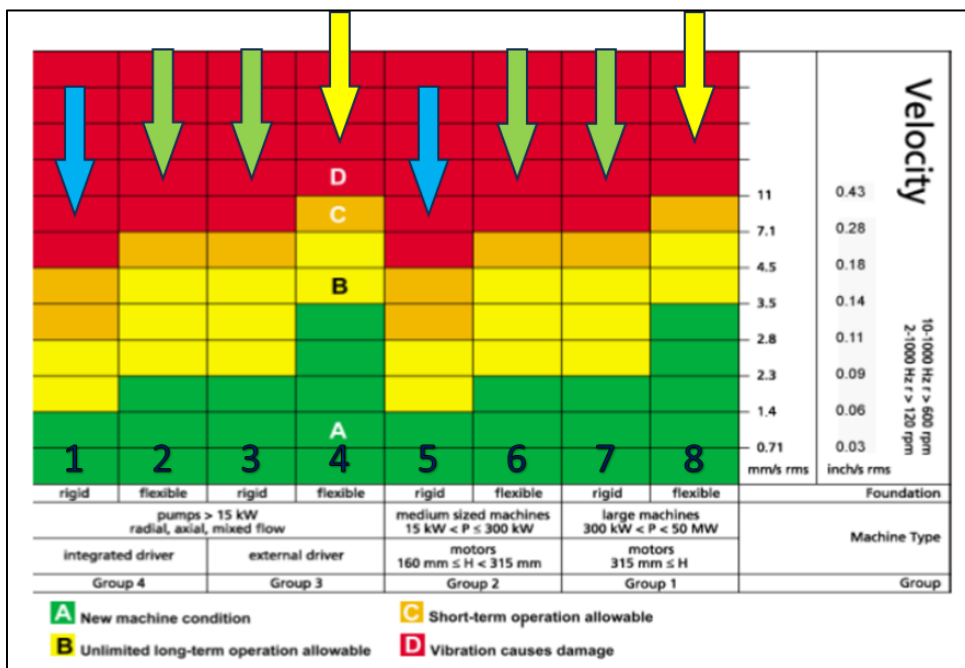
En la creación del formato de ruta, es fundamental considerar varios parámetros, como los establecidos en la norma, los datos específicos del equipo, los puntos de medición designados, la fecha en que se realiza la medición y la capacidad de realizar comparaciones con mediciones anteriores. Estos elementos proporcionan la base para iniciar el diseño de los formatos necesarios para la ruta de medición.

Inicialmente, al analizar el cuadro de severidad ISO10816-3 (ver figura 8), se identifican cuatro grupos, cada uno dividido en dos secciones según el tipo de soporte (ver numeración en la parte inferior de la figura 8), lo que nos da un total de 8 referencias para trabajar. Además, en la

misma figura se observa que las variaciones de severidad son comunes en algunas referencias, independientemente del grupo o soporte que tengan. Con esta información, se da inicio al proceso de creación de tres formatos: uno para cada conjunto de cuatro referencias (ver flechas verdes en la figura 8) y dos formatos adicionales, cada uno diseñado para abordar dos referencias (ver flechas amarillas y azules en la figura 8).

Figura 8.

Análisis Tabla de Severidad ISO10816-3.



Nota: tener en cuenta que esta figura está directamente relacionada con la figura 5 en este documento, añadiendo modificaciones graficas para entendimiento del lector. Fuente: <https://www.scribd.com/document/438108352/Tabla-de-Severidad-Iso-10816#>

De la anterior idea surgen los tres modelos de formato, el formato #1, aplica para equipos en soporte rígido, únicamente de los grupos 1 y 3, y para equipos en soporte flexible únicamente de los grupos 2 y 4 (ver figura 9).

Figura 9.

Formato #1.

TIPO DE BASE O SOPORTE EQUIPO	R	GRUPO ISO 10816-3 [mm/seg RMS]	G1	G3
	F		G2	G4
	7,2 ~ 11	H	V	A
	4,6 ~ 7,1			
	3,6 ~ 4,5			
	2,9 ~ 3,5			
	2,4 ~ 2,8			
	1,5 ~ 2,3			
	0,8 ~ 1,4			
	0 ~ 0,7			

Nota: estructura de formato #1 aplicado según soporte y grupo ISO10816-3 para toma de datos en ruta. Fuente. Autor.

El formato #2, aplica para equipos en soporte rígido, únicamente de los grupos 2 y 4 (ver figura 10).

Figura 10.

Formato #2.

TIPO DE BASE O SOPORTE EQUIPO	R	GRUPO ISO 10816-3 [mm/seg RMS]	G2	G4
7,2 ~ 11	H	V	A	
4,6 ~ 7,1				
3,6 ~ 4,5				
2,9 ~ 3,5				
2,4 ~ 2,8				
1,5 ~ 2,3				
0,8 ~ 1,4				
0 ~ 0,7				

Nota: estructura de formato #2 aplicado según soporte y grupo ISO10816-3 para toma de datos en ruta. Fuente. Autor.

Y finalmente el formato #3, aplica para equipos en soporte flexible, únicamente de los grupos 1 y 3 (ver figura 11).

Figura 11.

Formato #3.

TIPO DE BASE O SOPORTE EQUIPO	F	GRUPO ISO 10816-3 [mm/seg RMS]	G1	G3
>= 11	H	V	H	
7,2 ~ 10,9				
4,6 ~ 7,1				
3,6 ~ 4,5				
2,9 ~ 3,5				
2,4 ~ 2,8				
1,5 ~ 2,3				
0,8 ~ 1,4				

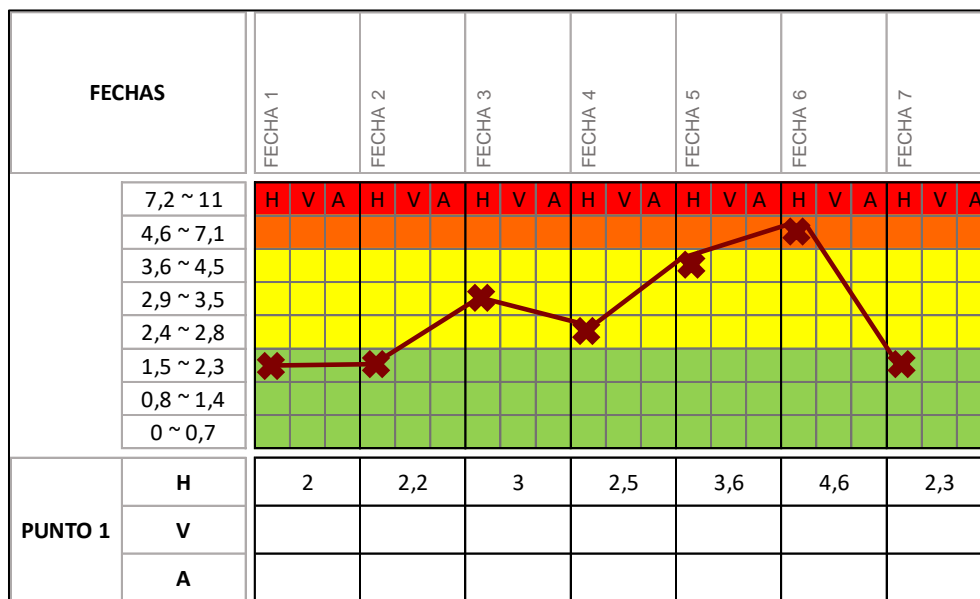
Nota: estructura de formato #3 aplicado según soporte y grupo ISO10816-3 para toma de datos en ruta. Fuente. Autor.

Una vez que se han creado los tres modelos de formato, se procede a establecer el formato completo, considerando los requisitos mencionados anteriormente. Estos incluyen los datos básicos del equipo (ver figura 12, flecha roja), así como los datos de la ruta, como la fecha y el número de orden, (ver figura 12, flechas azules). Además, de los puntos de medición y las direcciones correspondientes, como se indica con las flechas de color amarillo claro (ver figura 12).

Es importante destacar que el formato completo también debe permitir realizar comparaciones con mediciones anteriores. Esto implica no solo considerar el valor proporcionado por el equipo de medición, sino también llevar un seguimiento gráfico que ubique la medición dentro del rango de severidad correspondiente, mediante la colocación de un punto en el gráfico de severidad (ver figura 13).

Figura 13.

Ejemplo de Análisis Grafico de Toma de Datos.



Nota: En la figura se observa como aparte de poner el valor medido en la casilla correspondiente al punto y a la dirección, también se puede graficar el comportamiento entre rutas de la variable medida. Fuente. Autor.

De esta forma finalmente queda totalmente conformada la metodología y la estrategia para la adquisición de datos en campo.

4.4 Diseño de Estrategia para Manejo de Datos.

Comienza uno de los procesos más críticos una vez que se ha establecido la estrategia para la adquisición de datos: el diseño y la creación de la base de datos. El objetivo principal de esta base de datos es recibir, almacenar y procesar la información recopilada durante el proceso de medición. Posteriormente, esta información se analizará en forma de gráficos para identificar patrones y tendencias significativas. Finalmente, basándose en estos análisis, se formularán recomendaciones específicas destinadas a mejorar las condiciones y el rendimiento de los equipos.

4.4.1 Método de digitalización de datos.

Para llevar a cabo esta tarea, es esencial emplear herramientas informáticas que faciliten la conversión de los datos físicos registrados en las hojas de ruta a un formato digital. Estas herramientas desempeñan un papel crucial al permitir el almacenamiento eficiente y la gestión adecuada de la información recopilada durante el proceso de medición.

Durante esta etapa de gestión, se tomó la decisión de aprovechar las herramientas tipo encuesta disponibles en el paquete soluciones informáticas, las cuales ya estaban en posesión de la compañía y eran utilizadas en otros departamentos. Estas herramientas se destacan por su capacidad para incluir múltiples variables en las preguntas, lo que permite recopilar datos detallados y exhaustivos. Además, están diseñadas con una interfaz intuitiva y de fácil uso, lo que facilita su adopción por parte del personal encargado de realizar las encuestas.

El formato de las encuestas se estructuró de la siguiente manera:

- Portada: Una portada alegórica a la planta donde se realizará la medición (ver figura 14).
- Selección del equipo: Inicialmente, se realiza la selección del equipo al que se incluirán los datos (ver figura 15).
- Inclusión de datos: Se procede a la inclusión de los datos en cada uno de los puntos medidos (ver figura 16).
- Cuestionario de inspección visual: Se incluye un cuestionario de inspección visual con el objetivo de generar un reporte proactivo de situaciones básicas que pueden presentarse en el equipo (ver figura 17).
- Casilla de texto libre: Se agrega una casilla de texto libre para que el técnico pueda describir recomendaciones, observaciones o anomalías que registre durante la medición (ver figura 18).

Figura 14.

Ejemplo Portada Encuesta.

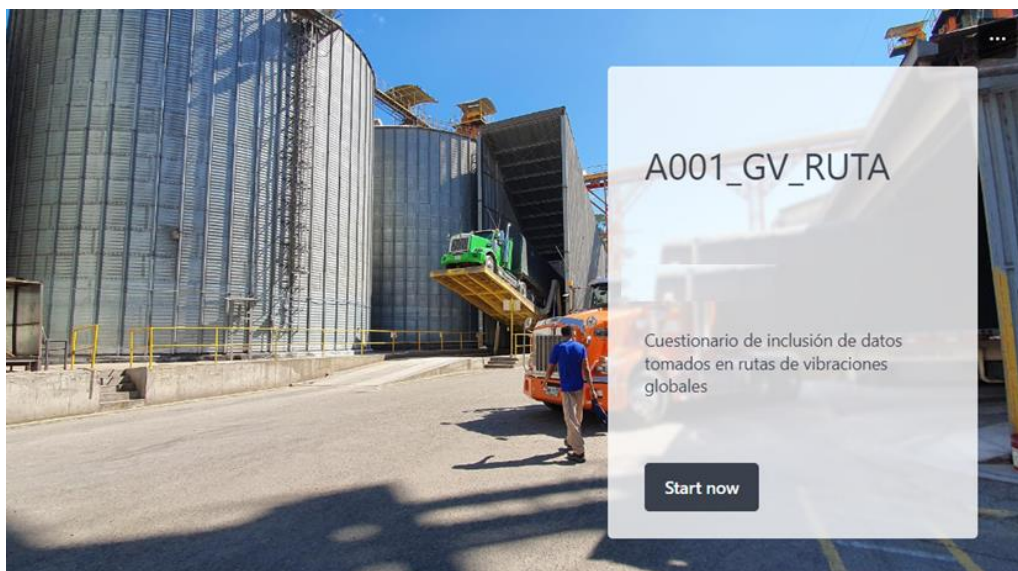
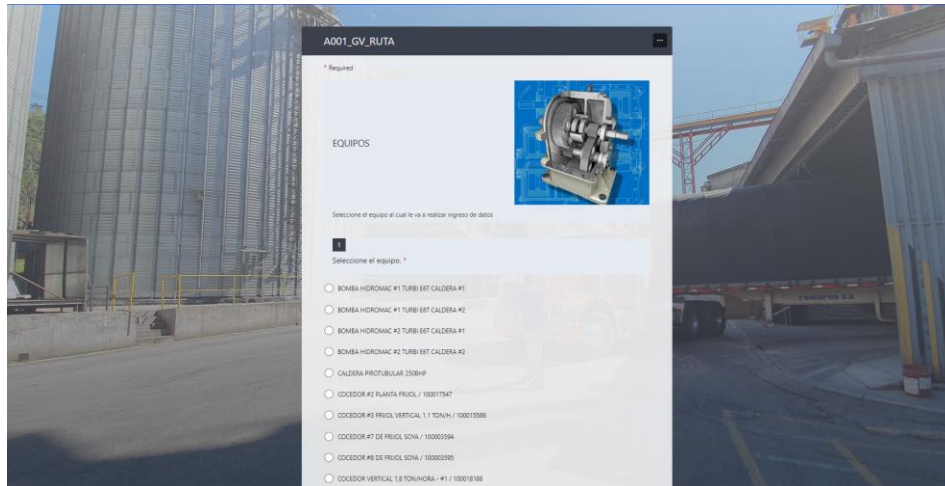


Figura 15.

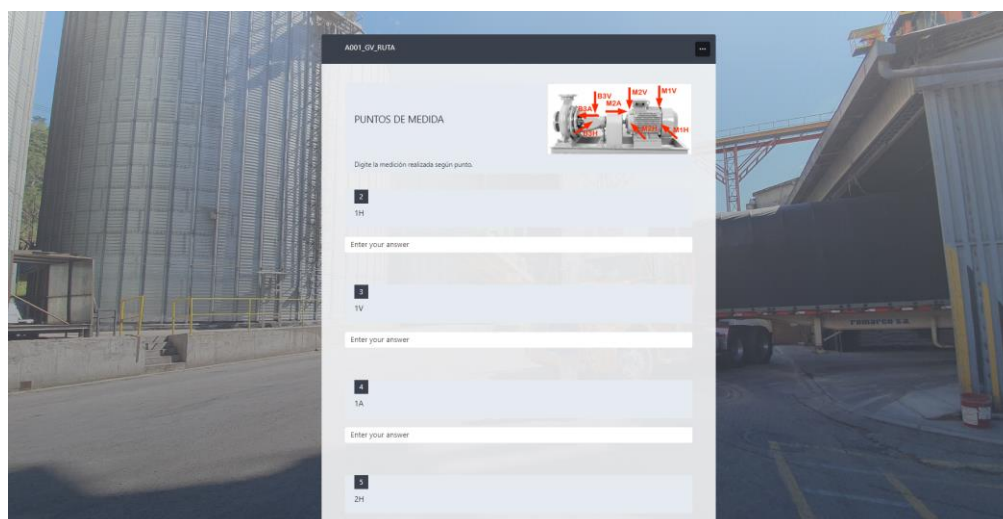
Ejemplo pantalla de selección de equipo.



Nota: En esta sección se selecciona el equipo al para subir los datos al sistema Fuente: Autor.

Figura 16.

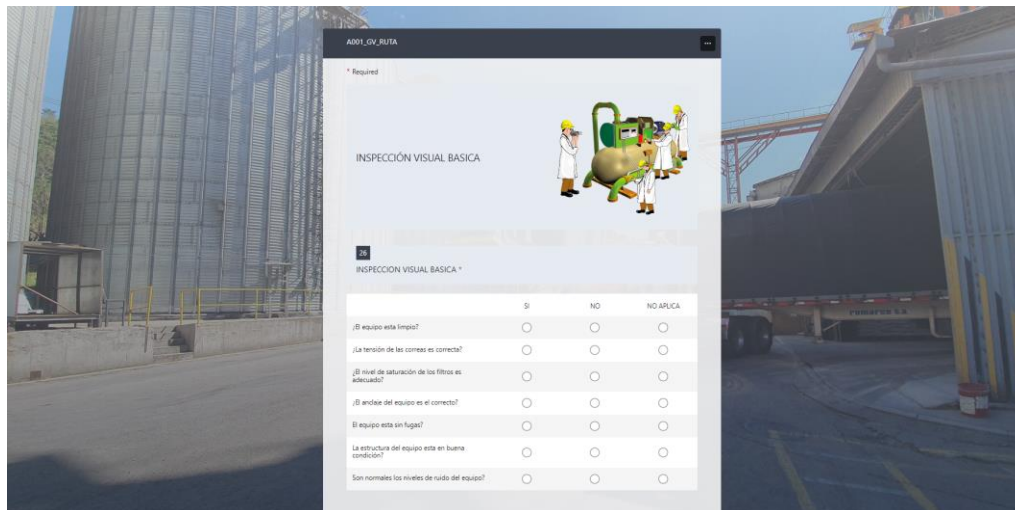
Ejemplo pantalla de Inclusión de datos.



Nota: En esta sección se incluyen los datos en el punto correspondiente. Fuente: Autor.

Figura 17.

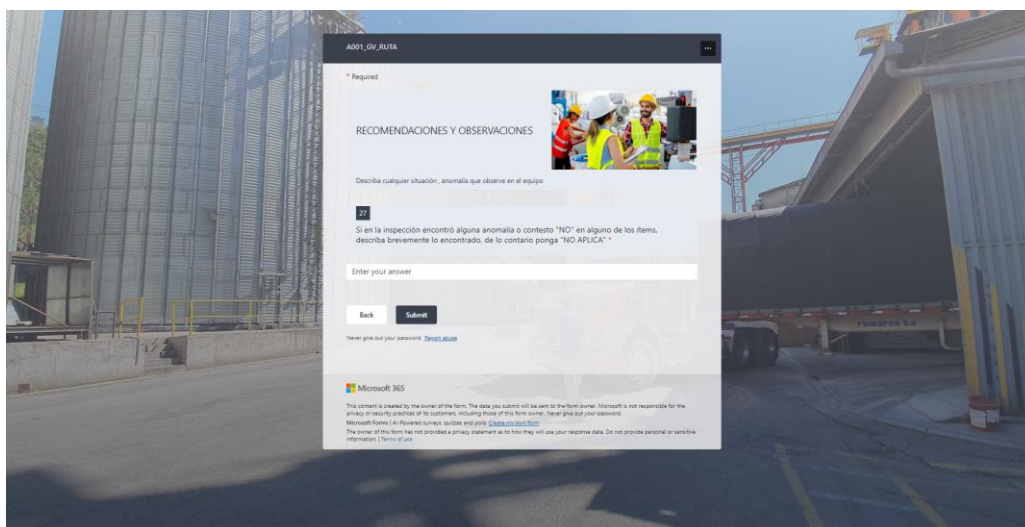
Ejemplo pantalla de cuestionario de inspección visual.



Nota: Esta sección de configuración obligatoria, con el propósito que el técnico detalle condiciones físicas del equipo aparte de la medición de vibraciones. Fuente: Autor.

Figura 18.

Ejemplo pantalla con casilla de texto libre.



Nota: Esta sección se configura obligatoria al igual que la anterior, en caso de no haber ninguna anomalía simplemente se escribe “no aplica”. Fuente: Autor.

Así concluye el proceso de digitalización de la información. Para el almacenamiento, el paquete adquirido por la compañía incluye dos productos que se encargan de vincular la información recopilada a través de las encuestas. Estos productos transfieren los datos a una nube de información, donde se almacenan en una hoja de cálculo en línea. Para finalmente ser consultada y descargada a través de la red interna de la compañía.

4.4.2 Método de almacenamiento y tratamiento de datos.

Con los datos almacenados en línea, el siguiente paso es organizar la información de manera que se puedan realizar análisis gráficos, comparaciones y otras tareas relevantes para ofrecer recomendaciones sobre el estado del equipo. En este punto, se consideró la creación de una macro en un formato Excel. Esta macro contendrá el listado completo de equipos a analizar, junto con toda la información utilizada para diseñar el formato de ruta previamente establecido.

Al ingresar los datos descargados de la nube, la macro generará gráficas (ver figuras 19 y 20) que mostrarán las variaciones de las vibraciones globales en cada fecha de entrada registrada. Este proceso se aplicará a cada uno de los equipos con registro. De esta manera, se facilitará la visualización y el análisis de los datos recopilados, lo que permitirá identificar tendencias, patrones y posibles problemas en el funcionamiento de los equipos, de igual modo también permite la comparación de equipos similares.

El tablero de visualización dependerá de la cantidad de puntos a analizar, para este caso se organizaron dos versiones, una para el análisis de equipos con cuatro puntos (ver figura 19) y otra para el análisis de equipos con ocho puntos (ver figura 20).

Figura 19.

Grafica de vibraciones Globales para análisis de mediciones en cuatro puntos.

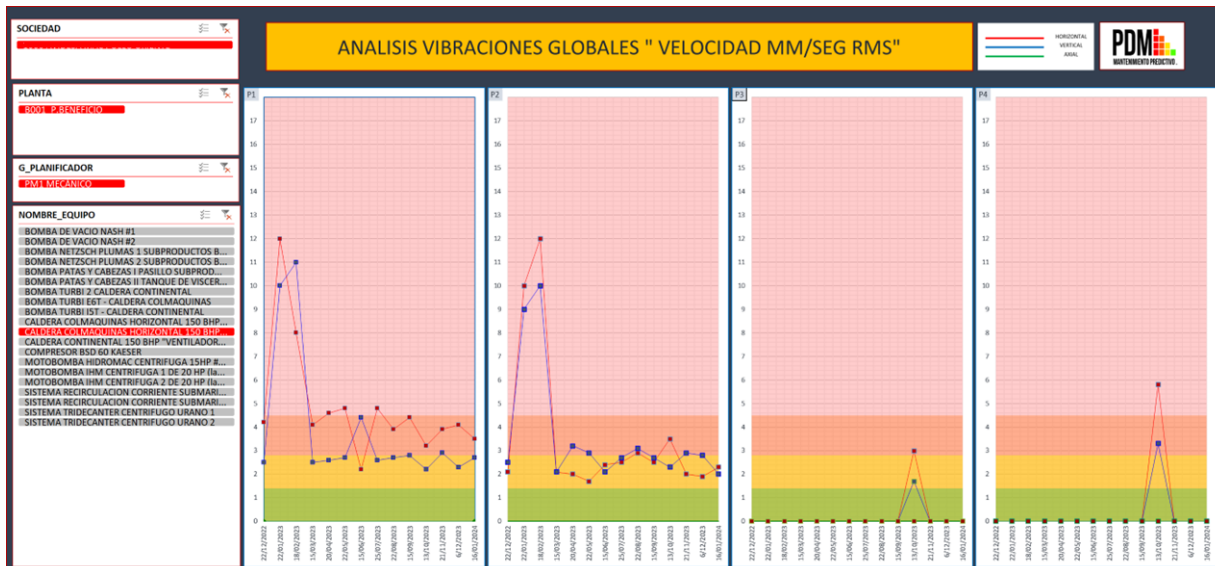
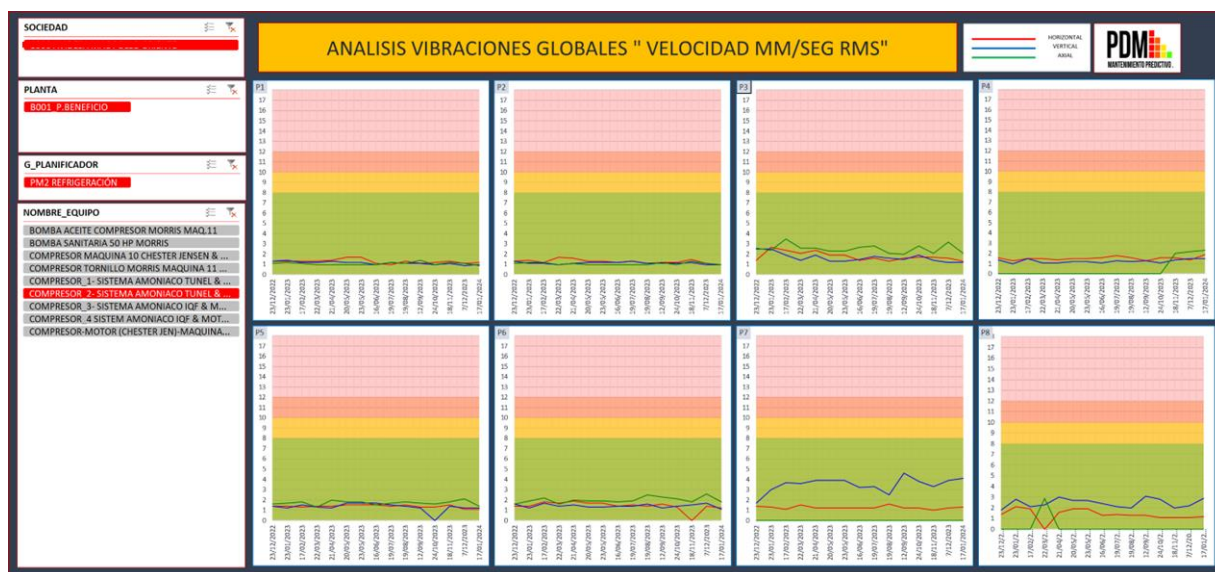


Figura 20.

Grafica de vibraciones Globales para análisis de mediciones en ocho puntos.



Este tablero de visualizaciones que se alimenta de una tabla en hoja de cálculo, donde se ingresan manualmente las recomendaciones y se asigna una severidad a la condición de cada equipo, en el momento en que el encargado de los análisis este realizando la revisión correspondiente, asegurando así una presentación más clara y concisa de la información.

4.5 Implementación de estrategia para inspección por análisis de vibraciones globales

Con la conclusión de etapas que abarcan desde la recopilación de información hasta la implementación de herramientas específicas, se consolida de manera robusta la estrategia para la inspección de vibraciones globales. Este proceso se erige como el punto de partida crucial para la implementación efectiva del programa de mantenimiento.

En este punto, se inicia la fase más significativa del proyecto: la implementación y puesta en marcha. Para garantizar el éxito de esta etapa, se llevaron a cabo diversas acciones clave. En primer lugar, se impartió capacitación al personal técnico responsable de realizar las mediciones en cada equipo y de ingresar los datos en la nube. Esta capacitación se centró en el manejo adecuado del equipo de medición en campo y en el proceso de carga de datos para asegurar la integridad de la información recopilada en oficina (Ver figura 22).

Figura 22.

Gestiones de capacitación al personal técnico.



Además, se proporcionó formación a los supervisores y al personal encargado de las gestiones de mantenimiento. Esta capacitación se enfocó en el desarrollo y la programación de planes de mantenimiento específicamente diseñados para abordar las vibraciones globales. Se brindaron herramientas y conocimientos necesarios para comprender y gestionar los datos obtenidos de las mediciones de vibraciones.

Finalmente, se estableció un proceso de retroalimentación en campo y se realizaron ajustes finales después de ejecutar las primeras rutinas de inspección. Esto permitió identificar posibles áreas de mejora y optimizar el proceso de inspección de vibraciones globales de manera continua.

4.6 Cuantificación económica de gestiones resultantes por análisis de vibraciones globales.

Inicialmente, la entrega de informes detallados de las rutinas ejecutadas a las jefaturas de mantenimiento interesadas resultó ser un paso fundamental. Estos informes incluyeron

recomendaciones basadas en comparativos entre equipos similares, así como comparaciones con las severidades establecidas por la norma ISO10816 y las inspecciones visuales realizadas para determinar los diagnósticos. Esta práctica fue clave para el mejoramiento de las condiciones de los equipos y para la toma de decisiones informadas en cuanto a las acciones de mantenimiento a realizar.

Con el tiempo, el desarrollo periódico de estas gestiones generó cambios significativos en los tiempos entre fallos de los equipos en las diferentes plantas (ver figura 23) y en los tiempos para realizar reparaciones (ver figura 24). Además, las mediciones realizadas se convirtieron en una referencia confiable para la ejecución de pequeñas intervenciones correctivas, como la tensión de correas, la alineación de poleas, el ajuste adecuado de las guardas de seguridad y la limpieza. Estas acciones preventivas contribuyeron a optimizar el rendimiento de los equipos y a minimizar la probabilidad de averías importantes, lo que tuvo un impacto positivo en la eficiencia y la productividad general de las operaciones.

Figura 23.

Graficas del comportamiento de MTBF en las diferentes plantas

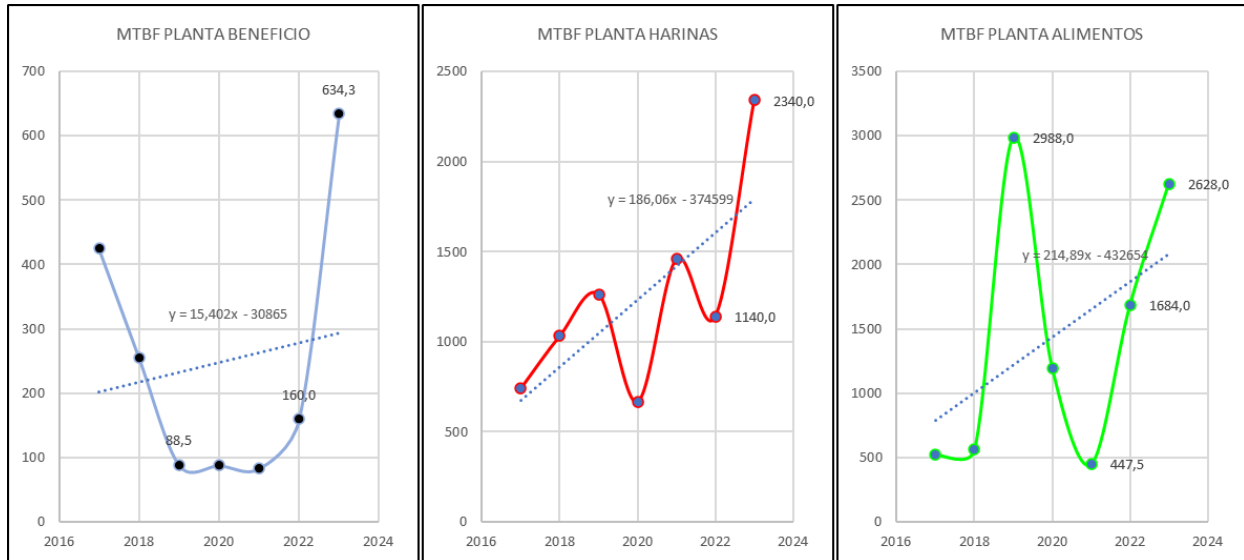
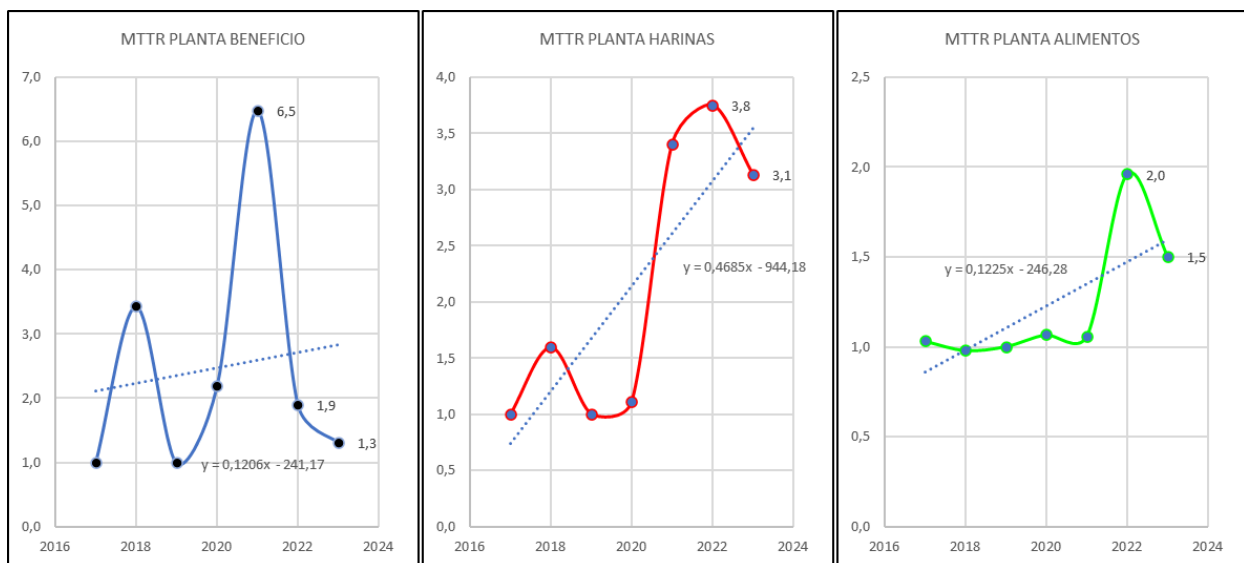


Figura 24.

Graficas del comportamiento de MTTR en las diferentes plantas.



Con estos indicadores y los datos de costos de producción, de cada una de las plantas se pueden establecer cuantificaciones económicas que avalan los ahorros generados por la implementación de análisis de vibraciones globales en la industria avícola.

5. Conclusiones

Basándose en la descripción de las gráficas según los datos en SAP, se pueden extraer conclusiones sólidas. Respecto a las gráficas de MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas) y MTTR (Tiempo Medio de Reparación), donde se consideran únicamente los equipos relacionados directamente con el análisis de vibraciones globales y se realiza un comparativo respecto al año anterior a la gestión del documento.

En la Planta de Beneficio, se observa un aumento significativo del 296% en el tiempo medio entre fallas, pasando de 160 horas (equivalente a 7 días) a 634 horas (equivalente a 26 días). Este incremento indica una mejora considerable en la fiabilidad de los equipos analizados. Respecto al MTTR, se registra una reducción del 31% en el tiempo de reparación de los equipos analizados con respecto al año 2022. Esta disminución sugiere una mayor eficiencia en el proceso de mantenimiento y una pronta respuesta ante posibles fallos.

En la Planta de Harinas, se registra un cambio positivo con un aumento del 105% en el tiempo medio entre fallas, pasando de 1140 horas (equivalente a 47 días) a 2340 horas (equivalente a 97 días), lo que indica una mayor estabilidad en la operación de los equipos. En términos del MTTR, se registra una reducción del 17% en el tiempo de reparación, lo que sugiere una mejora en la capacidad de respuesta ante incidencias, contribuyendo a minimizar el tiempo de inactividad de los equipos.

En la Planta de Alimentos, en términos del MTBF se observa un aumento del 56% en el tiempo medio entre fallas respecto al año 2022. Aunque el incremento es menor en comparación con las otras plantas, sigue representando una mejora significativa en la confiabilidad de los equipos. Por otro lado, se registra una reducción del 23% en el tiempo de reparación en

comparación con el año 2022. Esta disminución indica una mayor eficacia en la gestión de mantenimiento para solucionar problemas de manera rápida y eficiente.

Estos resultados demuestran que la implementación del análisis de vibraciones globales ha sido efectiva para prolongar los tiempos entre fallas en las tres plantas, lo cual se refleja claramente en las gráficas analizadas. Además, ha permitido reducir los tiempos de reparación de los equipos en proporciones distintas pero alentadoras en todas las plantas.

6. Recomendaciones

Para mejorar la eficiencia en la gestión de mantenimiento, se recomienda implementar un método digitalizado para la recopilación de datos y la generación de gráficos. Se sugiere obtener la aprobación de la compañía para utilizar herramientas como Power BI en el futuro. Además, se propone sustituir las hojas de ruta por medios digitales, como Tablet, que permitan al técnico cargar los datos obtenidos en campo de forma instantánea. Esto agilizará el proceso de análisis y entrega de informes, mejorando la eficacia y la rapidez en la toma de decisiones respecto al mantenimiento de los equipos.

Referencias Bibliográficas.

- Antezana, C. J. (2013) *ANÁLISIS DE VIBRACIÓN EN MAQUINARIA ROTATIVA*. Unam.mx:8080. Recuperado el 8 de septiembre de 2023, de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/5927/Informe.pdf?sequence=1>
- Borras, P. C. (2019). *Presentación mantenimiento preventivo*. UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.
- cmclatam-wmanager. (2020, febrero 19). *Análisis de vibraciones explicado*. CMC Latinoamerica; Congreso de Mantenimiento y Confiabilidad. <https://cmc-latam.com/2020/02/19/analisis-de-vibraciones-explicado/>
- Castro Valdivia, J. L. (2020). Aplicación de herramientas de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para homologar procesos del laboratorio de materiales de la EPIMMEM.
- Cedeño Loor, G. M., & Andrade Moreira, S. R. (2021). Efecto de adición de lipidol® en alimento para pollos de engorde Cobb 500 y su comportamiento sobre sus parámetros productivos (Bachelor's thesis, Calceta: ESPAM MFL).
- Díaz, I., & Robles, G. (s/f). *Mantenimientoplanificado.com*. Recuperado el 8 de septiembre de 2023, de https://mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO_archivos/Norma%20ISO%2010816%20severidad%20vibracion.pdf
- Estupiñan, E. A., & Saavedra, P. N. (2010). Análisis de vibraciones aplicado a las máquinas rotatorias de baja velocidad. *El mantenimiento mundial*, 1-6.

- Fernandez, P. A. (2017, enero 1). Estudio de las vibraciones. Power-MI. <https://power-mi.com/es/content/estudio-de-las-vibraciones>.
- Gajardo Cáceres, C. (2022). Análisis de vibraciones mecánicas a fallas incipientes en rodamientos utilizando la técnica de la envolvente y factor cresta (Doctoral dissertation, Universidad de Talca. Facultad de Ingeniería).
- Garrido, S. G. (2010). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. Ediciones Diaz de santos.
- ISO name and logo*. (2019). ISO. <https://www.iso.org/iso-name-and-logo.html>
- Kulichevsky, R., Sacchi, M., & Martín Ghiselli, A. (2000). Medición y Análisis de vibraciones: una herramienta para la predicción y evaluación de fallas en maquinarias. *Estudio y Ensayo de Componentes Estructurales UA ENDE–Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina*.
- Medidor de Vibraciones SPM Vib Checker VC 200 (VC-100 DESCONTINUADO)*. (s/f). Macrobaleros.com. Recuperado el 8 de septiembre de 2023, de <https://www.macrobaleros.com/medidor-de-vibraciones-vibchecker-vc-100>
- Mora, L. A. (2009). *Mantenimiento-planeación, ejecución y control*. Alfaomega Grupo Editor.
- Norma ISO 10816 análisis de vibraciones*. (s/f). Scribd. Recuperado el 8 de septiembre de 2023, de <https://www.scribd.com/document/476224618/Norma-ISO-10816-analisis-de-vibraciones>
- Olarte, W., Botero, M., & Cañón, B. (2010). Técnicas de mantenimiento predictivo utilizadas en la industria. *Scientia et technica*, 2(45), 223-226.
- Rao, S. S., García, D. S., Figueroa, R. R., & Muñoz, G. D. V. D. (2012). *Vibraciones mecánicas*. Pearson Educación.

Semana. (2019, mayo 26). *Incubadora Santander, el negocio de los huevos vuela alto*. revista

Semana. <https://www.semana.com/100-empresas/articulo/incubadora-santander-la-empresa-mas-fuerte-del-sector-avicola/616762/>

Tabla de severidad Iso 10816. (s/f). Scribd. Recuperado el 8 de septiembre de 2023, de

<https://www.scribd.com/document/438108352/Tabla-de-Severidad-Iso-10816>

Transequipos, S. A. (2020, noviembre 18). *Mantenimiento centrado en confiabilidad, monitoreo*

de condición. Transequipos S.A. <https://transequipos.com/mantenimiento-centrado-en-confiabilidad-monitoreo-de-condicion/>

Unirioja.es. Recuperado el 8 de septiembre de 2023, de

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6866060>

White, G. (2010). Introducción al análisis de vibraciones. *USA, Azima DLI*, 22-29.

NC-ISO 10816-1: 2005). Recuperada el 19 de febrero de 2024 de

<https://ftp.isdi.co.cu/Biblioteca/BIBLIOTECA%20UNIVERSITARIA%20DEL%20ISDI/COLECCION%20DIGITAL%20DE%20NORMAS%20CUBANAS/2005/NC%20ISO%2010816-1%20a2005%2026p%20rwp.pdf>

CARACTERIZACIÓN ECONÓMICA DEL SECTOR AVICOLA EN EL DEPARTAMENTO

DE SANTANDER recuperada el 19 de febrero de 2024 de

<https://fenavi.org/publicaciones-programa-economico/caracterizacion-economica-del-sector-avicola-en-santander/>