



UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE DE CONCEPCIÓN – REY BALDUINO DE BÉLGICA

MUESTREO, COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE VIBRACIONES A LÍNEA
PRODUCTIVA DIALUM LAMINATED GLASS SPA.

Trabajo de Titulación para optar al título
de ING. MANTENIMIENTO
INDUSTRIAL CON LICENCIATURA.

Alumno:

Javier Ignacio Romero Quezada

Profesor guía:

Marcelo Quiroz Neira.

2024

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a todas las personas que me acompañaron en este proceso: a mis padres, Carmen Quezada y Manuel Romero; mi hermano, Manuel Romero; a Javiera Hidalgo; a mis abuelos y toda mi familia en general, quienes siempre me apoyaron en todas mis decisiones. Por otra parte, me gustaría agradecer a los profesores que también fueron importantes en la formación de la persona que soy hoy en día, tanto de educación básica, media y universitaria.

Agradezco también a la empresa DIALUM por brindarme la oportunidad de desarrollar este proyecto de título utilizando sus equipos e instalaciones.

DEDICATORIA

Dedico este segundo título universitario a todas las personas que confiaron en mí desde un principio, quienes me acompañaron en este proceso que comenzó siendo un sueño y terminó por hacerse realidad.

Ellos conocen el sacrificio y la entrega que implicó la obtención de este título. Es probable que muchas veces los haya aburrido al repetir lo cansado y costoso que fue trabajar y estudiar de noche, pero, gracias al esfuerzo y al gran apoyo de cada uno, a su manera y forma de ser, me dio el ánimo necesario para cumplir. y finalizar este proceso.

RESUMEN

Dialum Laminate Glass es una planta dedicada a la elaboración de vidrio laminado. En la actualidad, la estrategia de mantenimiento en la planta consiste en trabajar mediante acciones preventivas, realizando inspecciones a los componentes para detectar posibles anomalías. Sin embargo, las tareas planificadas preventivamente no se están cumpliendo en su totalidad debido a dos razones principales: el escaso tiempo disponible para la intervención en los equipos y la cantidad limitada de personal capacitado para llevar a cabo este tipo de trabajos.

Para aumentar la eficiencia productiva en la planta de Dialum Laminate Glass, es crucial implementar un tipo de mantenimiento adecuado para cada uno de los equipos en las líneas de producción. Actualmente, la planta utiliza un enfoque de mantenimiento preventivo, que consiste en realizar inspecciones y mantenimiento programado de manera regular. Sin embargo, se ha identificado la necesidad de mejorar esta estrategia, especialmente para los equipos rotativos en la línea de laminado.

Por ello, se propone cambiar de un sistema de mantenimiento preventivo a uno predictivo. El mantenimiento predictivo se basa en el monitoreo continuo del estado de los equipos, en este caso, a través del análisis de vibraciones. Esta técnica permite detectar cambios en el comportamiento vibratorio de los equipos, lo que puede indicar problemas potenciales, como desequilibrios, desajustes o desgaste inminente de componentes.

Al adoptar este enfoque, las intervenciones se realizarían únicamente cuando se identificaran signos claros de fallas inminentes, en lugar de basarse en un calendario fijo de mantenimiento. Esto no solo optimiza el uso del tiempo y los recursos, sino que también minimiza las interrupciones innecesarias en la producción.

Además, al poder prever y actuar sobre problemas antes de que se conviertan en fallas graves, se libera tiempo y recursos para permitir que el personal realice tareas preventivas en otros equipos de manera más efectiva. Como resultado, esto aumentaría el cumplimiento de la planificación de mantenimiento establecida, mejorando la disponibilidad y el rendimiento general de la planta.

GLOSARIO

- RPM: Revoluciones por minuto
- DVH: Doble vidrio hermético
- HZ: Hertz
- mm: milímetro
- KW: Kilo Watts
- PVB: Polivinil butiral
- UMA: Unidad manejadora de aire
- RMS: Root Mean Square Amplitude
- DDS: Digital diagnostics system
- FFT: transformación rápida de Fourier
- FASIT: Fault Source Identification Tool
- PLC: Controlador lógico programable
- UV: Ultravioleta
- DLG: Dialum Laminated Glass
- 1X: Frecuencia base de vibración en un sistema en particular.
- 2X: doble de frecuencia base de vibración de un sistema.
- 3X: triple de frecuencia base de vibración de un sistema.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	3
DEDICATORIA.....	4
RESUMEN.....	5
GLOSARIO.....	6
ÍNDICE.....	7
ÍNDICE DE TABLAS.....	9
ÍNDICE DE FIGURAS.....	10
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	12
INTRODUCCIÓN.....	13
OBJETIVOS.....	14
CAPITULO 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.1 ¿QUÉ ES DIALUM?.....	16
1.2 DIAGRAMA DE PROCESO.....	16
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	19
CAPITULO 2 MARCO TEÓRICO/ DESCRIPCIONES GENERALES.....	20
2.1 MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.....	21
2.2 OBJETIVO DEL MANTENIMIENTO.....	21
2.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....	22
2.4 ANÁLISIS DE VIBRACIÓN.....	22
2.5 TIPOS DE VIBRACIONES.....	23
2.6 HERRAMIENTAS COMPLEMENTARIAS.....	23
2.6.1 ISO 2372.....	24
2.6.2 ISO 10816-3.....	25
2.6.3 LIMITES PERMISIBLES ADASH.....	26
2.7 FALLAS COMUNES PARA EQUIPOS ROTATORIOS.....	27
2.7.1 DESBALANCEO:.....	28
2.7.2 DESALINEAMIENTO.....	29
2.7.3 SOLTURA MECÁNICA.....	30
2.7.4 VIBRACIONES EN BOMBAS Y VENTILADORES.....	31
2.8 DE LA EMPRESA.....	32

2.8.1	DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO.	32
2.8.2	ORGANIZACIÓN.	33
2.8.3	PROCESO PRODUCTIVO.	34
CAPITULO 3 DISEÑO DE LA SOLUCIÓN.		40
3.1	PUNTOS ACTUALES DE MEDICIÓN.	41
3.2	TOMA DE DATOS.	43
3.3	ANÁLISIS DE VIBRACIONES.	46
3.3.1	MOTOR TRANSPORTE.	47
3.3.2	MOTOR VENTILADOR CALANDRA.	49
3.3.3	MOTOR CEPILLO LAVADORA LAMINADO.	51
3.4	MEJORA A RUTA DE MEDICIÓN.	53
3.5	OBSERVACIONES AL REALIZAR MUESTREO DE DATOS.	53
3.5.1	PUNTO EXACTO DE MEDICIÓN:	54
3.5.2	PUNTOS FALTANTES.	54
3.6	MEJORA A LAS OBSERVACIONES.	55
3.6.1	AGREGAR ESPECIFICACIÓN.	55
3.6.2	MODIFICACIÓN PUNTOS DE MEDICIÓN.	56
CAPITULO 4 ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO.		58
4.1	COSTOS ASOCIADOS A IMPLEMENTACIÓN Y EJECUCION.	59
4.2	COSTOS ASOCIADOS A DETENCIÓN DE LÍNEA DE PRODUCCIÓN.	61
CONCLUSIONES.		63
RECOMENDACIONES.		64
BIBLIOGRAFIA/LINKOGRAFIA.		65
ANEXOS.		66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 equipos en ruta de monitoreo	42
Tabla 3.2 data de medición motor transporte M04	47
Tabla 3.3 data de medición motor ventilador V01.....	47
Tabla 3.4 data de medición motor cepillo MC05	49
Tabla 4.1 Costos asociados a plan de mantenimiento	56
Tabla 4.2 Costo asociado a Hora hombre anual	59
Tabla 4.3 perdidas de detención DIALUM	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Imagen 1.1 diagrama de proceso	16
Imagen 2.1 Tabla severidad ISO 2372	24
Imagen 2.2 Tabla de severidad ISO10826-3	25
Imagen 2.3 Límites de velocidad RMS	26
Imagen 2.4 Límites de aceleración RMS	27
Imagen 2.5 Estros de frecuencias en vibraciones (desbalanceo).....	28
Imagen 2.6 Espectros de frecuencias en vibraciones (desalineamiento)	29
Imagen 2.7 Espectros de frecuencias en vibraciones (soltura mecánica)	30
Imagen 2.8 Espectros de frecuencias en vibraciones (bombas y ventiladores	31
Imagen 2.9 Organigrama DIALUM CCP	33
Imagen 2.10 Mesa de corte	34
Imagen 2.11 Lijadora	35
Imagen 2.12 Lavadora línea de laminado	35
Imagen 2.13 Sala limpia.....	36
Imagen 2.14 Calandra	37
Imagen 2.15 Autoclave	38
Imagen 2.16 lavadora de revisión.....	39
Imagen 3.1 Software ADASH	43
Imagen 3.2 muestreo de datos ventilador calandra.....	44
Imagen 3.3 muestreo de datos motor transporte C1	45
Imagen 3.4 Gráficos software ADASH.....	45
Imagen 3.5 FASIT software ADASH	48
Imagen 3.6 FASIT software ADASH	50
Imagen 3.7 FASIT software ADASH	52
Imagen 3.8 Ruta actual de medición.....	54
Imagen 3.9 Ruta modificada de medición.....	55
Imagen 3.10 puntos de medición motor transporte calandra	56
Imagen 3.11 motor transporte horno.....	55
Imagen 3.12 acople entre motor y rodillo prensa.....	55
Imagen 4.1 Cotización analizador de vibraciones	60
Imagen 4.2 Cotización curso de vibraciones nivel I	61
Imagen 5.1 últimas mediciones motor transporte M00	66
Imagen 5.2 últimas mediciones motor transporte M01	66
Imagen 5.3 últimas mediciones motor transporte M02	67
Imagen 5.4 últimas mediciones motor cepillo MC01	67

Imagen 5.5 últimas mediciones motor cepillo MC04	68
Imagen 5.6 últimas mediciones motor ventilador V01	68
Imagen 5.7 últimas mediciones motor ventilador V02	68
Imagen 5.8 ruta de medición nueva	65
Imagen 5.9 ruta de medición nueva	65

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.1 grafico de barra planeado vs finalizado	17
Gráfico 1.2 grafico de torta planeado vs finalizado	18
Gráfico 4.1 costos asociados a plan de mantenimiento	60

INTRODUCCIÓN

Las máquinas rotativas son pilares fundamentales en la industria y en la empresa DIALUM. Desde motores reductores para transporte, ventiladores, bombas, etc., trabajan de manera incansable para mantener las operaciones en funcionamiento. Sin embargo, desde su aparente calma, estas máquinas emiten un lenguaje oculto que no deja de ser importante: VIBRACIONES.

Las vibraciones son uno de los indicadores principales para poder identificar el estado de salud de una máquina, ya que pueden revelar desequilibrios, holguras, desalineaciones, fallas en rodamientos, desgaste en piezas internas y una serie de otros problemas potenciales. Ignorar estas señales podría causar fallas catastróficas, resultando en costosas reparaciones, tiempos de inactividad prolongados, etc.

Es por estas razones que entra en juego el análisis de vibraciones, una especialidad que traduce estas vibraciones en información útil y accionable. Al comprender el comportamiento vibratorio de una máquina, los ingenieros pueden diagnosticar problemas incipientes, planificar mantenimientos preventivos y prolongar la vida útil de los equipos.

OBJETIVOS

- OBJETIVO GENERAL

Diagnosticar anomalías mecánicas en la línea de procesos de la planta DIALUM Laminate Glass mediante la implementación de un sistema de monitoreo basado en rutas programadas y análisis avanzado de vibraciones, con el objetivo de optimizar la confiabilidad y prevenir fallos operativos críticos en los equipos.

- OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Optimizar el levantamiento de equipos rotativos en la línea de producción para garantizar una identificación precisa de los puntos críticos de monitoreo.
- Recolectar y analizar datos operativos de los equipos rotativos para diagnosticar condiciones anómalas y posibles fallas.
- Realizar un análisis comparativo entre los datos actuales y el historial anterior, identificando tendencias y cambios significativos.
- Proponer mejoras estratégicas en la ubicación y número de puntos de medición para incrementar la eficacia del monitoreo.
- Evaluar los costos asociados con la implementación y operación del análisis de vibraciones, justificando su rentabilidad como técnica predictiva.

CAPITULO 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.1 ¿QUÉ ES DIALUM?

DIALUM es una empresa dedicada a la elaboración de productos provenientes del cristal, tales como termo paneles, templados, laminados, antibala, corta fuego, laminado especial, shower, etc. DIALUM cuenta con tres plantas de proceso, de las cuales dos se encuentran en la ciudad de Concepción: Distribuidora y Comercial DIALUM (planta de termo paneles) y DIALUM Laminated Glass (planta de laminado, antibala, corta fuego).

DIALUM nace en la ciudad de Talcahuano en el año 1987, dedicada a la distribución de cristales y aluminio. En 1999, se instala en la ciudad de Santiago, con instalaciones que abarcan los principales procesos de transformación de cristales. En 2001, se transforma en la principal empresa productora de DVH, asociada a proyectos de edificios corporativos y de oficinas.

En la actualidad, DIALUM se encuentra en una posición de vanguardia que le permite satisfacer las necesidades de clientes nacionales e internacionales, habiendo sumado nuevos destinos como Argentina, Estados Unidos, Uruguay, Perú, Panamá, Venezuela, entre otros.

1.2 DIAGRAMA DE PROCESO.

A continuación, se presenta un diagrama de proceso que muestra la línea productiva presente en la planta LAMINATED GLASS. Cabe mencionar que el muestreo y análisis de vibraciones se realizará desde el pulido hasta la calandra.

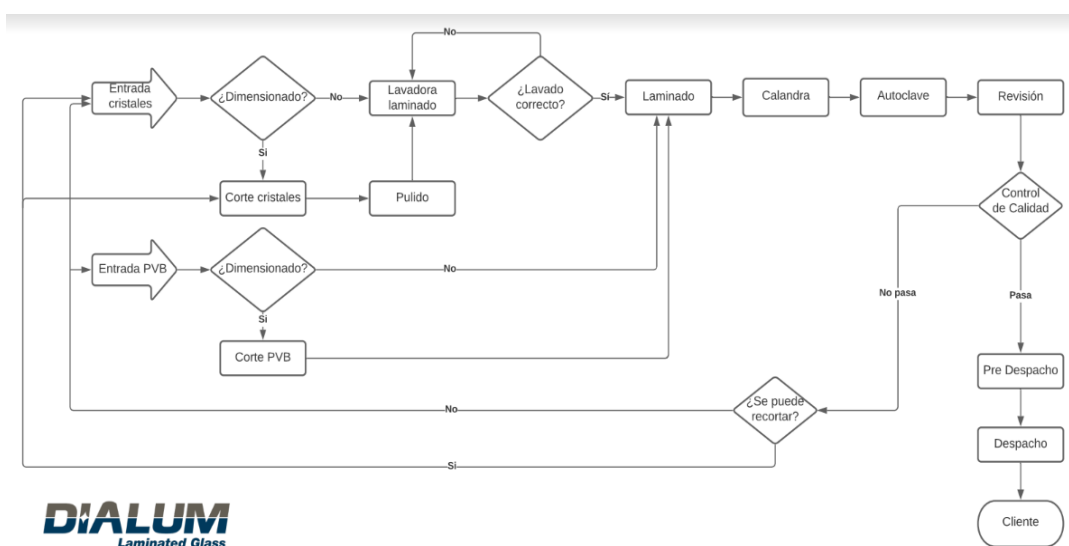


Imagen 1.1 diagrama de proceso
Fuente: DIALUM

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La fábrica DIALUM LAMINATED GLASS, ubicada en la ciudad de Concepción, es una de las principales plantas procesadoras de vidrio laminado. Teniendo en cuenta la competencia, tanto directa como indirecta, la empresa se ve en la obligación de aumentar los niveles de eficiencia productiva, tanto en sus equipos como en el proceso en general.

En la fábrica (DIALUM, CONCEPCION), no se cuenta con equipos homogéneos ni redundantes, por lo que el tiempo de intervención para realizar mantenimiento preventivo de manera invasiva a los equipos o componentes de la línea productiva es limitado debido a las exigencias de producción.

Dado que la planta opera bajo una alta carga productiva para satisfacer la demanda del mercado, los equipos están en uso constante, lo que reduce significativamente las oportunidades para llevar a cabo las tareas de mantenimiento programadas.

Este alto nivel de producción genera una presión constante para mantener los equipos operativos, lo que dificulta detener las máquinas para inspecciones o intervenciones preventivas. Como resultado, el mantenimiento debe realizarse en periodos muy acotados o en momentos en que el equipo no está en funcionamiento, lo cual es raro. Esto también implica que se puedan postergar ciertas tareas de mantenimiento, incrementando el riesgo de que los equipos puedan desarrollar fallas sin ser detectadas.

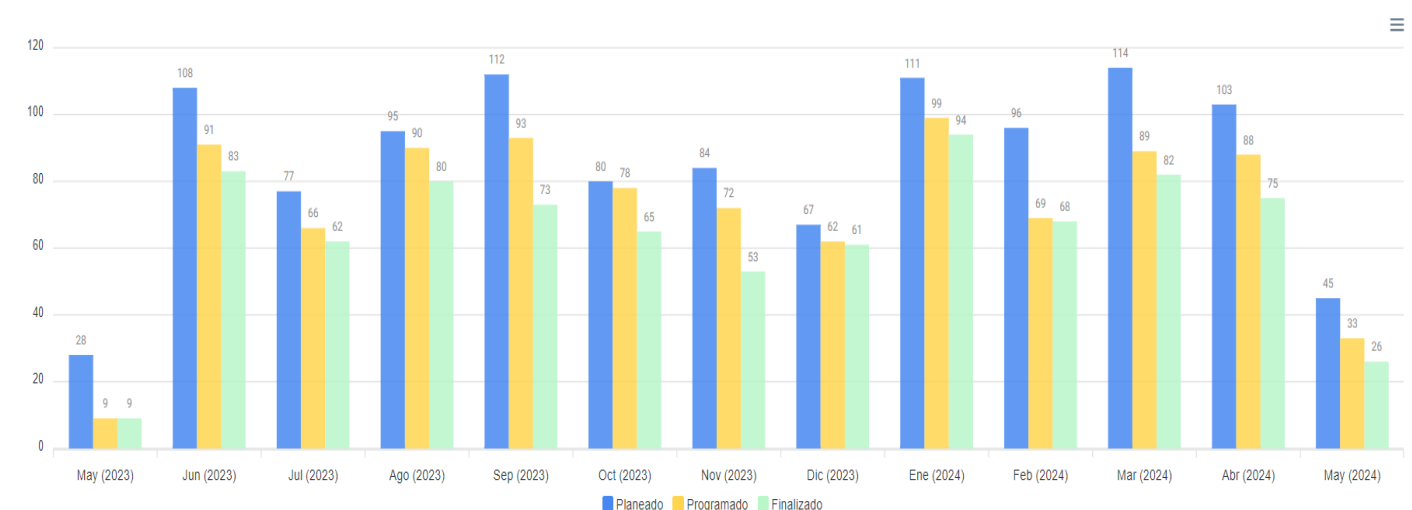


Gráfico 1.1 grafico de barra planeado vs finalizado

Fuente: Fractal DIALUM

Para cumplir con la eficiencia productiva, uno de los aspectos fundamentales es cumplir con la planificación de mantenimiento, de modo que no queden equipos sin inspecciones ni intervenciones debido a la falta de tiempo disponible para el mantenimiento.

Como se puede observar en la imagen adjunta, durante el último año no se ha logrado cumplir con la planificación de mantenimiento esperada. Esto se debe a la limitación de tiempo para realizar el mantenimiento preventivo de los equipos o componentes de la línea productiva, como se ha mencionado anteriormente. La alta carga de producción deja poco margen para realizar las intervenciones necesarias, lo que afecta negativamente la capacidad de la planta para mantener un control adecuado sobre el estado de los equipos.

Este incumplimiento en la planificación puede tener consecuencias significativas para la planta, ya que la falta de mantenimiento preventivo aumenta el riesgo de fallas inesperadas, las cuales pueden resultar en tiempos de inactividad prolongados y costosas reparaciones.

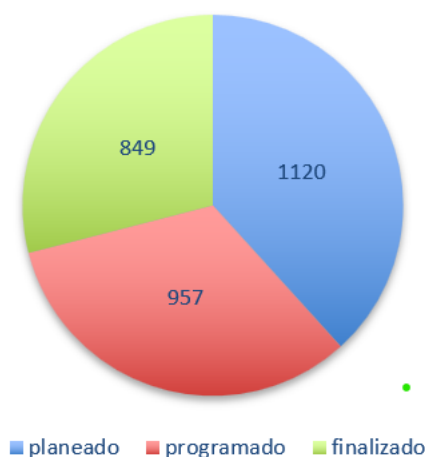


Gráfico 1.2 grafico de torta planeado vs finalizado

Fuente: Propia

En el gráfico de torta adjunto, se observa que 1,120 representa el número de tareas planificadas o esperadas según la planificación de mantenimiento. De estos, se programaron 957 y se finalizaron 849.

Actualmente, se realizan inspecciones en los equipos rotativos y, en muchas ocasiones, se encuentran en buen estado, sin síntomas ni evidencias de una posible falla. Esta es la razón principal por la que se desea implementar el muestreo y análisis de vibraciones en estos equipos, con el fin de intervenirlos solo en el momento oportuno, es decir, cuando se detecta una falla inminente.

Este enfoque permitiría aprovechar mejor el tiempo de detención preventiva y destinarlo a otras actividades de mantenimiento necesarias en la línea productiva. Al intervenir solo

cuando las condiciones del equipo lo requieran, se optimiza el uso de recursos, permitiendo cumplir con la planificación de otros equipos o componentes de la planta.

La idea principal es tomar mediciones y analizarlas con el objetivo de intervenir los equipos rotativos solo cuando realmente lo necesiten, es decir, cuando los patrones de medición indiquen una posible falla mecánica o avería inminente. De este modo, se busca llevar a cabo el mantenimiento de los equipos rotativos de la línea de laminado de un enfoque preventivo a uno predictivo, permitiendo intervenir únicamente cuando se aproxime una falla inesperada. Esto optimizará el tiempo de mantenimiento sin interferir en la planificación del resto de los componentes o equipos del proceso.

1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.

DIALUM, una de las principales empresas procesadoras de cristales en Chile, enfrenta el desafío de modernizar sus instalaciones para mejorar su productividad y hacer frente a la competencia creciente. Sin embargo, uno de los principales obstáculos es cumplir consistentemente con la planificación de mantenimiento preventivo, la cual es fundamental para asegurar la continuidad operativa y prevenir fallas imprevistas en los equipos.

A causa de las altas cargas de trabajo, el cumplimiento total de la planificación de mantenimiento resulta difícil. Esto puede llevar a que ciertos equipos no reciban las inspecciones necesarias, aumentando el riesgo de fallas que afectan la producción y generan tiempos de inactividad.

Para optimizar los tiempos de intervención y asegurar un mantenimiento más eficiente, se propone implementar un sistema de análisis de vibraciones en los equipos rotativos de la planta. Este sistema permitirá realizar el mantenimiento en el momento preciso, cuando los patrones de vibración sugieran una falla inminente, lo cual evitará intervenciones innecesarias. Además, al intervenir solo cuando sea realmente necesario, se podrá liberar tiempo para realizar otras inspecciones y así cumplir con la planificación de manera más efectiva.

Este cambio hacia un enfoque predictivo permitirá no solo reducir los costos y el tiempo de inactividad, sino también mejorar la confiabilidad de los equipos, lo que contribuirá a una mayor productividad y disponibilidad en toda la planta.

CAPITULO 2 MARCO TEÓRICO/ DESCRIPCIONES GENERALES.

2.1 MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

El mantenimiento es un proceso de gestión integral asociado a los activos de una empresa, con el fin de cumplir con diferentes estándares de calidad, productividad, seguridad, etc. Con el paso de los años, los empresarios han entendido la importancia de un buen rendimiento de cada uno de los equipos que participan en el sistema de producción, por lo que invierten parte de sus recursos para mejorar el área de mantenimiento.

Según la norma francesa AFNOR NF60.010, se define el mantenimiento como: *“el conjunto de acciones que permite mantener o reestablecer un bien a un estado especificado o a la capacidad de asegurar un servicio determinado”*.

El mantenimiento es un factor importante en el proceso productivo, ya que afecta la calidad del producto y puede ser utilizado como una estrategia para una competencia exitosa.

Dentro del mantenimiento industrial existen diferentes tipos: mantenimiento restaurativo, mantenimiento correctivo, mantenimiento proactivo, mantenimiento preventivo, mantenimiento predictivo, etc. El tipo estudiado y utilizado en esta memoria de título es el mantenimiento predictivo, en conjunto con estudios de análisis de vibraciones.

2.2 OBJETIVO DEL MANTENIMIENTO

Actualmente, uno de los principales objetivos del mantenimiento es mantener los equipos en condiciones óptimas, asegurando y garantizando la confiabilidad del equipo o de la línea productiva. Esto significa cumplir con las especificaciones de un producto en un tiempo determinado, evitando en gran medida los tiempos muertos debido a paradas no programadas o fallas imprevistas, y anticipándose a posibles fallas que puedan comprometer la producción. Para ello, se deben planificar, programar, ejecutar y controlar todas las tareas o actividades necesarias para garantizar el correcto funcionamiento de los equipos utilizados en los procesos de producción, ya sean equipos primarios o secundarios.

2.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO.

Como su nombre indica, el mantenimiento predictivo busca predecir fallas incipientes, planteando la posibilidad de detectar síntomas en los componentes antes de que ocurra una falla o una detención no programada del equipo.

Para lograrlo, es necesario mantener una observación constante de los componentes mediante herramientas tecnológicas, que permiten monitorear su estado. A partir de esta información y de la curva de estado del equipo, se puede predecir una gran cantidad de fallas potenciales con anticipación.

Algunas herramientas utilizadas en el mantenimiento predictivo son:

- Análisis de vibración
- Inspección por ultrasonido
- Análisis de aceite
- Termografía infrarroja
- Medición de espesores.

2.4 ANÁLISIS DE VIBRACIÓN.

El análisis de vibraciones es una herramienta utilizada para identificar, predecir y prevenir fallas en máquinas rotativas. Básicamente, el proceso consiste en medir los niveles y las frecuencias de vibración de la máquina industrial, con el fin de monitorear el estado de las máquinas y sus componentes.

Esta técnica, como su nombre indica, compara y analiza las vibraciones presentes en los equipos mientras están en funcionamiento. El sensor de vibraciones se coloca en una ubicación específica de la máquina (generalmente en el soporte de rodamiento), midiendo la señal e intensidad de la vibración, lo cual permite determinar la gravedad de los problemas y posibles fallas en la máquina o sus componentes. Los fallos más comunes en estos equipos suelen ser defectos en los rodamientos, desequilibrios, desalineaciones y holguras.

Los datos obtenidos se analizan para evaluar la "salud" de la máquina e identificar cualquier problema que pueda estar próximo a ocurrir en algún componente, tales como desalineación, desequilibrio o falta de lubricación.

En el proceso de análisis de vibración, se seleccionan los datos más relevantes para poder determinar de manera precisa el estado de la máquina.

2.5 TIPOS DE VIBRACIONES.

Existen dos tipos de vibraciones: de alta y baja frecuencia. Las vibraciones de baja frecuencia son las más comunes, pero suelen ser menos graves dentro de la gama de problemas mecánicos que pueden afectar a estos equipos rotativos.

Las vibraciones de baja frecuencia están relacionadas con desequilibrios, desalineaciones y holguras mecánicas. La unidad de medida utilizada para leer el parámetro de vibraciones es la velocidad, expresada en mm/s o pulgadas/s, siendo el rango de frecuencia más recurrente de 10 a 1000 Hz.

Por otro lado, las vibraciones de alta frecuencia están relacionadas con fallas en los rodamientos de la máquina. Estos valores de vibración se miden como aceleraciones, expresadas en un valor estimado como “g”. El rango de frecuencia generalmente va de 500 a 16000 Hz.

2.6 HERRAMIENTAS COMPLEMENTARIAS.

Antes de comenzar con el análisis de vibraciones, es fundamental seleccionar las mediciones más confiables para poder determinar con mayor exactitud cómo se está comportando la máquina.

El análisis de vibración ha evolucionado a lo largo del tiempo, y actualmente se cuenta con Múltiples tablas de severidad vibratoria, desarrolladas en colaboración por ingenieros de todo el mundo. Estas tablas están normalizadas bajo las normas ISO 2372 e ISO 10816-3.

2.6.1 ISO 2372

La norma ISO 2372, da los limites permisibles para aceptación de máquinas rotativas, que van desde los 600 a 12000 RPM cubriendo un rango de frecuencia de 10 Hz a 1000 Hz, lo cual es muy limitado, pudiendo dejar posibles fallos en rodamientos sin ser precedidos.

Tabla de Severidad, ISO 2372						
RANGO DE VIBRACIÓN			CLASES DE MÁQUINAS			
VELOCIDAD RMS (mm/s)	VELOCIDAD 0-P (mm/s)	VELOCIDAD 0-P (pul/s)	Máquinas Pequeñas	Máquinas Medianas	Máquinas Grandes	
					Soporte rígido	soporte flexible
			CLASE I	CLASE II	CLASE III	CLASE IV
0.28	0.396	0.016	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
0.45	0.636	0.025				
0.71	1.004	0.040				
1.12	1.584	0.062	ACEPTABLE	ACEPTABLE	ACEPTABLE	ACEPTABLE
1.80	2.546	0.100				
2.80	3.960	0.156	INSATISFACTORIO	INSATISFACTORIO	INSATISFACTORIO	INSATISFACTORIO
4.50	6.364	0.251				
7.10	10.041	0.395	INACEPTABLE	INACEPTABLE	INACEPTABLE	INACEPTABLE
11.20	15.839	0.624				
18.00	25.456	1.002				
28.00	39.598	1.559				
45.00	63.640	2.505				
71.00	100.409	3.953				

Imagen 2.1 Tabla severidad ISO 2372
 Fuente: ING. Contreras Acosta

2.6.2 ISO 10816-3

Esta norma reemplaza actualmente a las ISO 2372 e ISO 3945, las cuales han sido objeto de revisión técnica. La norma ISO 10816-3 establece las condiciones y procedimientos generales para realizar la medición y evaluación de vibraciones mediante mediciones en partes no rotativas de las máquinas. Esta norma considera aspectos como el tipo de máquina, potencia, altura del eje, apoyos, soportes rígidos o flexibles, entre otros, y permite una clasificación detallada según el tipo de máquina.

- 1- Grupo 1: Máquinas rotatorias grandes con potencia superior 300 kW. Máquinas eléctricas con altura de eje $H \geq 315$ mm.
- 2- Grupo 2: Máquinas rotatorias medianas con potencia entre 15 y 300 kW. Máquinas eléctricas con altura de eje $160 \leq H \leq 315$ mm.
- 3- Grupo 3: Bombas con impulsor de múltiples álabes y con motor separado (flujo centrífugo, axial o mixto) con potencia superior a 15 kW
- 4- Grupo 4: Bombas con impulsor de múltiples álabes y con motor integrado (flujo centrífugo, axial o mixto) con potencia superior a 15 kW

								v r.m.s. mm/s	v r.m.s. inch/s	Velocidad Vibración <small>10 - 1000 Hz n > 600 1/min (2 - 1000 Hz n > 120 1/min)</small>
								11	0.433	
								7.1	0.280	
								4.5	0.177	
								3.5	0.138	
								2.8	0.110	
								2.3	0.091	
								1.4	0.055	
								0.71	0.028	
rígida	flexible	rígida	flexible	rígida	flexible	rígida	flexible	Fundación		
Bombas > 15 kW radial, axial, diagonal				Máquinas medianas 15 kW < P ≤ 300 kW		Máquinas Grandes 300 kW < P < 50 MW		Tipo de Máquina		
Acople directo		Eje intermedio / Poleas.		Motores 160 mm ≤ H < 315 mm		Motores 315 mm ≤ H				
Grupo 4		Grupo 3		Grupo 2		Grupo 1		Grupo		

	Puesta en operación recientemente.
	Operación para largo plazo.
	Operación para corto plazo
	Vibración causando daños

Imagen 2.2 Tabla de severidad ISO10826-3

Fuente: dspanalytic

2.6.3 Limites permisibles ADASH

Los límites ADASH son valores umbral que se establecen en el software de análisis de vibraciones para identificar vibraciones anormales. Durante el monitoreo, se recopilan datos de vibración y se comparan con estos límites previamente definidos. Si los niveles de vibración superan dichos límites, el sistema de monitoreo generará una alarma, indicando que la máquina podría requerir un mantenimiento o una inspección más detallada.

Es importante destacar que estos límites varían según el tipo de máquina, su tamaño, velocidad y otras características específicas.

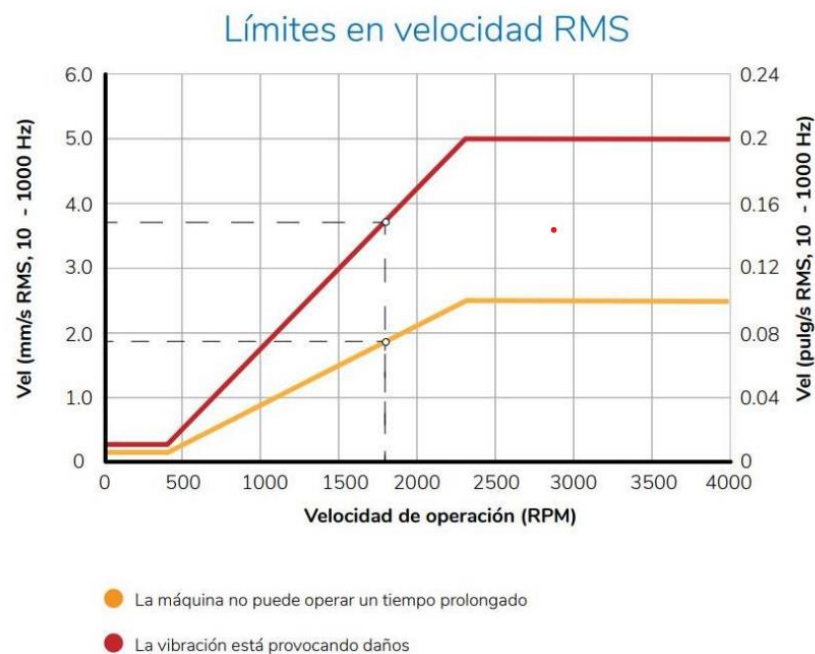


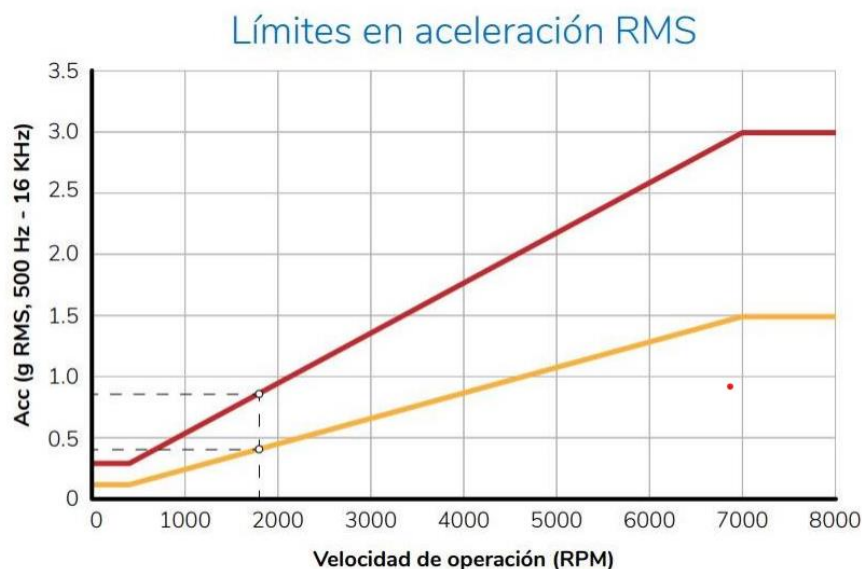
Figura 10: Límite de velocidad RMS

Fuente: ADASH

Imagen 2.3 Límites de velocidad RMS

Fuente: ADASH

La imagen anterior muestra la lectura de velocidad (mm/s) en el intervalo de 10 a 1000 Hz, lo que permite identificar problemas presentes en la máquina, como desalineación, desequilibrio, holgura mecánica, entre otros.



Ejemplo de uso: Para una máquina que opere a una velocidad de 1800 RPM, el límite amarillo en velocidad sería de 1.85 mm/s RMS y en aceleración de 0.4g RMS.

El límite rojo en Velocidad sería de 3.71 mm/s RMS y en Aceleración de 0.85g RMS .

Figura 11: Límites de aceleración RMS

Fuente: ADASH

Imagen 2.4 Límites de aceleración RMS

Fuente: ADASH

En la imagen se puede observar la lectura de aceleración (g) en los intervalos de frecuencia que van de 500 a 16,000 Hz, lo cual permite predecir la condición de los rodamientos y otros componentes externos al equipo.

2.7 FALLAS COMUNES PARA EQUIPOS ROTATORIOS.

Los equipos rotatorios, como motores, bombas, turbinas y rodamientos, están expuestos a diversas fallas que pueden afectar la producción y provocar costosos tiempos de inactividad. Entre las fallas más comunes se encuentran el desequilibrio, desalineamiento, fallas en cojinetes, mala lubricación, holguras mecánicas, entre otras.

A continuación, explicarán algunas de estas fallas y cómo detectarlas mediante patrones de vibración para su análisis.

2.7.1 DESBALANCEO:

El desequilibrio es una de las fallas más comunes en los equipos rotativos y puede tener grandes consecuencias en su rendimiento. Este problema se refiere a la distribución desigual de masa alrededor del eje de rotación de un rotor. Aunque es imposible eliminarlo por completo, es esencial mantenerlo dentro de márgenes aceptables para asegurar un mejor rendimiento y seguridad en las fabricas.

Cuando el desequilibrio está presente, es común observar un componente principal en el espectro vibratorio, denominado 1X, que indica una vibración que ocurre a la misma frecuencia de la velocidad de giro (RPM). Es importante recordar que, aunque el 1X sea la señal más destacada, no siempre significa que el problema sea exclusivamente un desbalanceo, ya que las vibraciones pueden deberse a múltiples causas y a una combinación de diferentes modos de falla.

En la imagen adjunta se pueden observar dos espectros de vibraciones, con frecuencias totalmente diferentes: el gráfico superior corresponde a un equipo nuevo, mientras que el gráfico inferior muestra un equipo con un notorio desequilibrio.

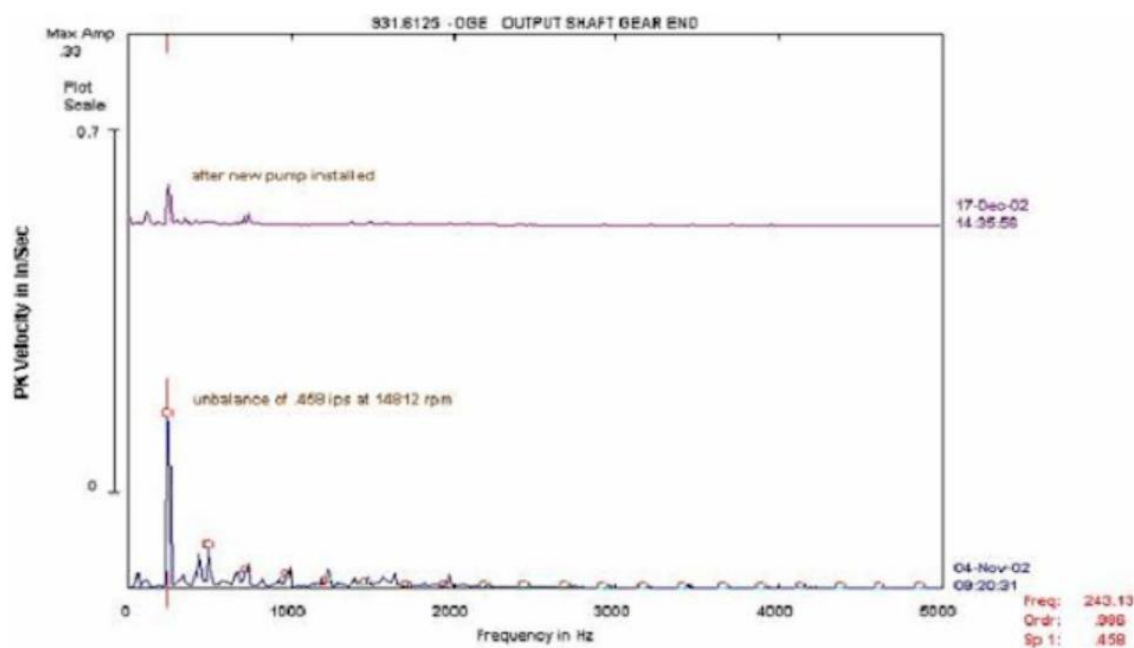


Imagen 2.5 Espectros de frecuencias en vibraciones (desbalanceo)

Fuente: <https://adqvibraciones.blogspot.com/>

2.7.2 DESALINEAMIENTO

El desalineamiento en equipos mecánicos ocurre, cuando dos ejes que debieran estar alineados o en la misma línea de centro, no lo están, existen dos tipos de desalineamiento:

- paralelo
- angular

Comúnmente, son ambos los desalineamientos que se encuentran en los equipos o sistemas de transmisión, como acoplamientos, poleas y engranajes. Esto se produce principalmente por dos razones, problemas de montaje y problemas operacionales, donde este último está asociado a flexibilidad estructural y/o desgaste en los componentes presentes.

Normalmente los espectros vibratorios del desalineamiento ocurren a la 1X, 2X y 3X, sin embargo, cuando existen desalineamientos graves, en lugar de ver armónicos hasta la 3X, podríamos apreciar armónicos tan altos, como 8X en el espectro vibratorio, esto lo podría llevar a confundir con soldaduras mecánicas, es por esta razón que es difícil diagnosticar problemas, solo observando espectros vibratorios, ya que podrían confundirse con otros modos de fallo.

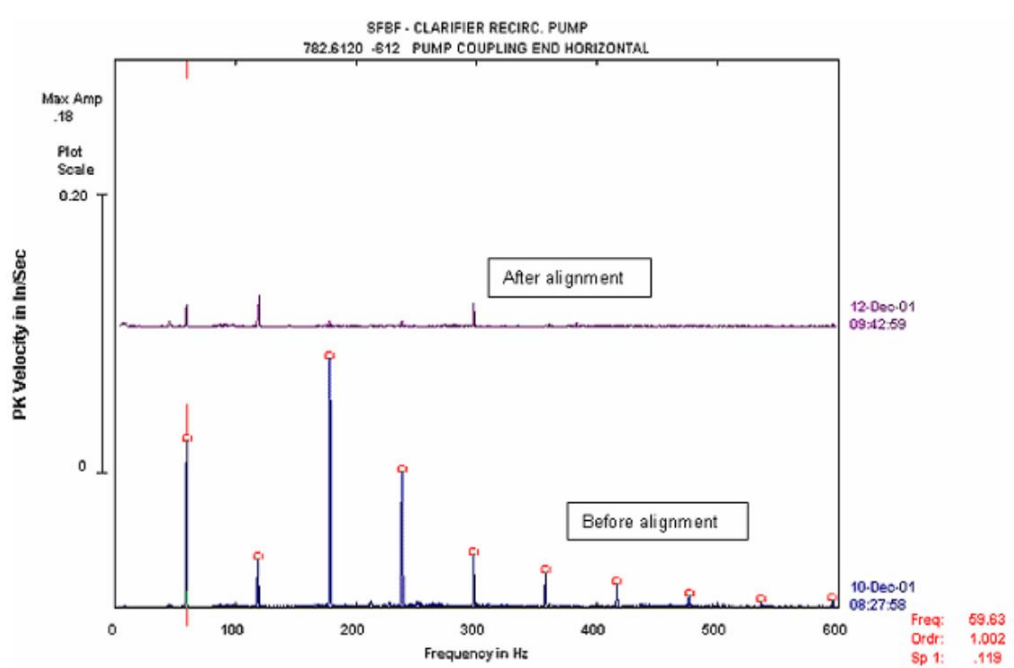


Imagen 2.6 Espectros de frecuencias en vibraciones (desalineamiento)

Fuente: <https://adqvibraciones.blogspot.com/>

En la imagen adjunta se puede observar en gráfico superior el espectro de vibraciones de un rotor después de ser alineado, y en gráfico inferior un espectro de vibraciones con un severo desalineamiento.

2.7.3 SOLTURA MECÁNICA

Cuando hablamos de soltura mecánica, nos referimos a que una o más uniones no están lo suficientemente fijas. Estas solturas se originan por una sujeción insuficiente de pernos, un juego excesivo radial en los descansos y un apriete insuficiente de la camisa del descanso. La vibración que se genera es variable, pero ocurre principalmente en dirección radial. Un descanso que no está en posición fija suele presentar una vibración mayor en la dirección vertical.

El espectro de vibración que se observa en casos de soltura mecánica presenta una gran cantidad de armónicos. Cuantos más armónicos haya, más significativa es la soltura. En ciertos casos, las vibraciones ocurren a frecuencias que son fracciones de las frecuencias normales esperadas del sistema. Esto sucede cuando hay componentes sueltos o con juego excesivo, como en el caso de rodamientos mal ajustados.

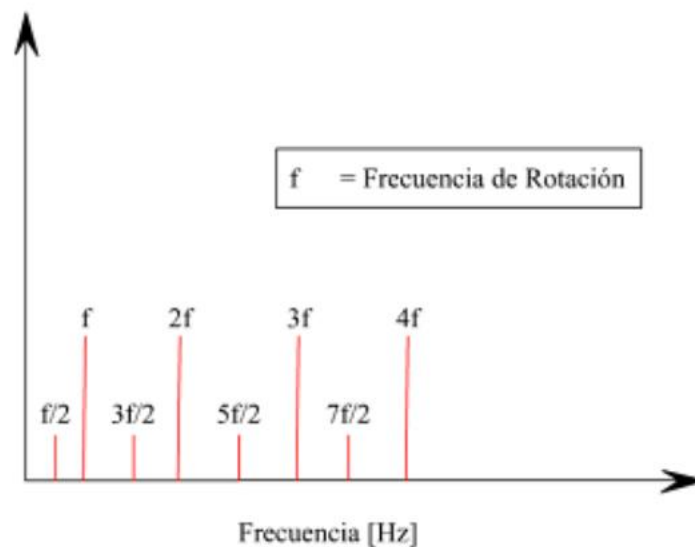


Imagen 2.7 Espectros de frecuencias en vibraciones (soltura mecánica)

Fuente: <https://adqvibraciones.blogspot.com/>

En la imagen adjunta se puede observar un espectro de frecuencia típico de una soltura mecánica, en el cual se distingue claramente los picos en fracciones de las frecuencias denominadas 1X, 2X, 3X, etc.

2.7.4 VIBRACIONES EN BOMBAS Y VENTILADORES

Estas vibraciones se caracterizan por presentar picos en una frecuencia denominada “frecuencia de paso de álabe”, la cual corresponde a la frecuencia de rotación multiplicada por el número de álaves. Cuando el rotor se encuentra equilibrado, las vibraciones son pequeñas; sin embargo, en caso contrario, los álaves del rotor no coinciden con los difusores de la carcasa, lo que provocaría un aumento considerable en las vibraciones.

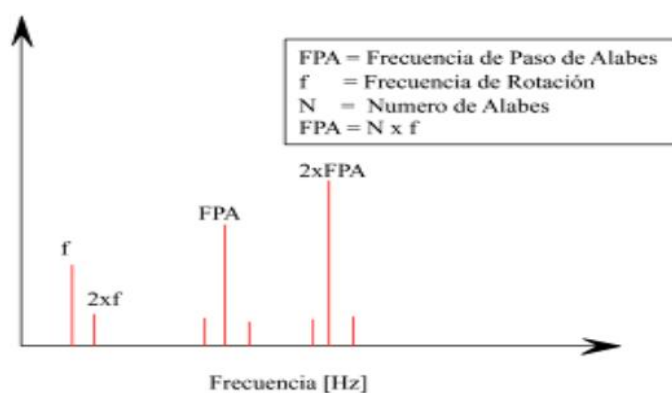


Imagen 2.8 Espectros de frecuencias en vibraciones (bombas y ventiladores)

Fuente: <https://adqvibraciones.blogspot.com/>

Cuando se estudia y analiza el espectro de vibraciones de un equipo rotatorio, es posible observar problemas como juego en los descansos, rotores con barras rotas, fallas eléctricas, cavitación en bombas, vibraciones en correas, rozamientos, entre otros. Por lo general, estos problemas suelen aparecer en conjunto; Por esta razón, se recomienda realizar pruebas de vibración en diferentes puntos de la máquina para determinar con mayor precisión el tipo de falla.

2.8 DE LA EMPRESA

DIALUM es una planta dedicada a la elaboración de productos derivados del cristal, tales como termopaneles, vidrios templados, laminados, antibalas, cortafuego, laminados especiales, cristales para duchas (showers), entre otros. DIALUM cuenta con tres plantas de procesamiento, dos de las cuales se encuentran en la ciudad de Concepción: Distribuidora y Comercial DIALUM (planta de termopaneles) y DIALUM Laminate Glass (planta de laminado, antibala y corta fuego).

DIALUM se fundó en la ciudad de Talcahuano en el año 1987, dedicándose inicialmente a la distribución de cristales y aluminio. En 1999, la empresa se expandió a Santiago, donde instaló plantas que albergan los principales procesos de transformación de cristales. En el año 2001, se consolidó como la principal empresa productora de DVH (Doble Vidriado Hermético), asociada a proyectos de edificios corporativos y oficinas.

En la actualidad, DIALUM ocupa una posición de vanguardia, lo que le permite satisfacer las necesidades de clientes tanto nacionales como internacionales, con nuevos destinos de exportación, como Argentina, Estados Unidos, Uruguay, Perú, Panamá, y Venezuela, entre otros

2.8.1 DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO.

La empresa DIALUM cuenta con un departamento de mantenimiento interno, cuya función principal es asegurar el buen funcionamiento y la disponibilidad de los equipos necesarios para sus operaciones. Además, en situaciones que requieren conocimientos específicos o intervenciones de mayor complejidad, DIALUM subcontrata servicios especializados, colaborando estrechamente con proveedores y técnicos externos. En estos casos, la empresa recibe apoyo técnico de los fabricantes de los equipos principales, como LISEC, FOREL y GLASTON, quienes brindan asesoramiento y soporte en la resolución de problemas críticos o en el mantenimiento especializado.

En el pasado, DIALUM concentró sus operaciones de mantenimiento en su planta principal en Santiago, desde donde se gestionaban las necesidades de todas sus instalaciones. No obstante, con el crecimiento de sus operaciones en la región de Concepción, la empresa ha visto la necesidad de crear un equipo de mantenimiento fijo en sus plantas de esta ciudad. Actualmente, el equipo en Concepción está en fase de crecimiento y cuenta con dos técnicos especializados en mantenimiento de planta, quienes

se encargan de la supervisión y el mantenimiento preventivo y correctivo diario. Con el objetivo de asegurar una mayor autonomía y capacidad de respuesta ante fallas, se espera seguir fortaleciendo este equipo local en el futuro.

2.8.2 ORGANIZACIÓN.

La organización del equipo de mantención en las plantas de DIALUM Concepción cuenta con un turno que opera en el horario de 08:00 a 17:30 hrs. con 30 minutos de pausa para colación. A continuación, se presenta un organigrama que explica la estructura del departamento.

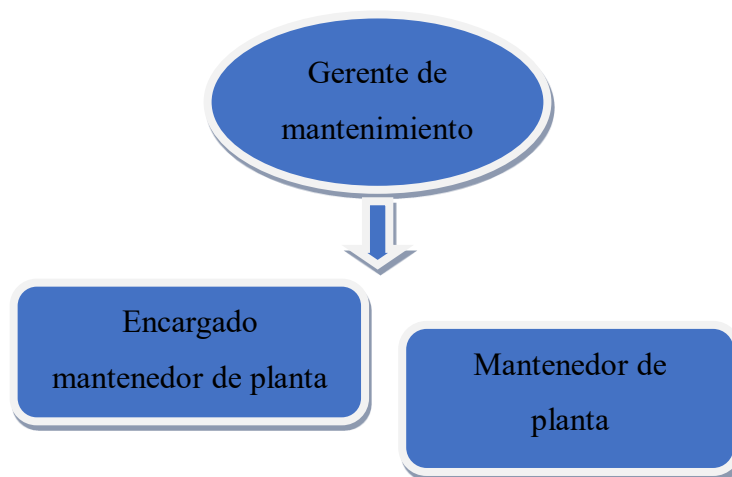


Imagen 2.9 Organigrama DIALUM CCP

Fuente: Propia

2.8.3 PROCESO PRODUCTIVO.

DIALUM Laminate Glass cuenta con una línea productiva estructurada en diversas estaciones de trabajo, cada una desempeñando un rol fundamental en el proceso de fabricación de sus productos de cristal laminado. A continuación, se explicará brevemente cada una de estas estaciones para ofrecer una visión general de cómo se desarrolla el proceso productivo desde la materia prima hasta el producto terminado. Cada estación cumple funciones específicas que contribuyen al flujo continuo y eficiente de la producción, permitiendo mantener los altos estándares de calidad que caracterizan a los productos de DIALUM.

1- MESA DE CORTE:

El primer equipo en la línea de proceso está encargado de dimensionar las planchas de cristal según las medidas solicitadas por el cliente. Este equipo realiza cortes tanto en cristal monolítico como en cristal laminado (cristal ya procesado), con el objetivo de maximizar el aprovechamiento de la materia prima y reducir las pérdidas en el proceso. El área cuenta con un operador de equipo y dos ayudantes de proceso, quienes son responsables de tronzar y organizar el cristal de manera eficiente para mantener el flujo de producción.



Imagen 2.10 Mesa de corte

Fuente: Propia

2- PULIDORA:

Este equipo se encarga de lijar las aristas del cristal ya dimensionado para que el producto sea más seguro al manipularlo, ayudando a prevenir accidentes tanto para los trabajadores de la empresa como para los clientes. Además, el pulido de los bordes contribuye a mejorar la calidad final del producto. En esta área de trabajo, cuenta con un operador de equipo y dos ayudantes de proceso, quienes colaboran en la manipulación y pulido de cada pieza de cristal.



Imagen 2.11 Lijadora

Fuente: Propia

3- LAVADORA DE LAMINADO:

La función principal de esta lavadora es eliminar partículas contaminantes, tanto líquidas como sólidas, del cristal, dejándolo limpio y seco para el armado de laminado. Cuenta con 3 aspersores y 3 cepillos en la parte superior e inferior, además de sopladores para garantizar un lavado y secado de calidad. El agua utilizada en el proceso es desmineralizada, tratada mediante ósmosis inversa en la misma planta.



Imagen 2.12 Lavadora línea de laminado

Fuente: Propia

4- CORTE PVB Y ARMADO:

Esta área del proceso productivo se denomina sala limpia, donde se realiza el corte y dimensionado de PVB, así como el armado o ensamblaje del laminado. La sala limpia debe mantenerse con una humedad relativa entre el 20% y 30%, y una temperatura entre 15°C y 20°C, para asegurar la calidad del laminado. Estas condiciones ambientales se controlan mediante el equipo de climatización UMA.

El área cuenta con 4 operadores encargados del ensamblaje del laminado y 2 operadores responsables de cortar o abastecer de PVB, según el producto que se esté procesando.



Imagen 2.13 Sala limpia

Fuente: Propia

5- CALANDRA:

El equipo de calandra está compuesto por tres partes: la prensa fría, el horno y la prensa caliente. El objetivo de la prensa fría es eliminar el aire presente entre los cristales y el PVB, generando una adherencia sin aplicar temperatura. En el horno, el laminado se calienta a una temperatura entre 180°C y 190°C, alcanzada mediante resistencias eléctricas en el interior del equipo. En la prensa caliente, se reduce la temperatura del laminado a aproximadamente 65°C para proceder con el prensado y sellado de los bordes del cristal, evitando la entrada de aire al laminado. Ambas prensas cuentan con cilindros neumáticos que aplican presión, asegurando una adherencia uniforme y una calidad óptima en el producto. Cabe destacar que, dependiendo del tipo de producto que se esté procesando, el ajuste de presión en la calandra se realiza cuidadosamente para garantizar la calidad sin poner en riesgo la integridad del cristal.



Imagen 2.14 Calandra

Fuente: Propia

6- AUTOCLAVE:

El autoclave es el último horno dentro del proceso productivo y desempeña un papel crucial en la adherencia final entre los cristales y el PVB. Su función principal es aplicar un ciclo térmico y de presión controlada, donde se lleva el interior del equipo a una presión de 10,4 bar, mientras que la temperatura se ajusta según la receta específica solicitada por el operador para cada tipo de laminado. Durante este ciclo, el autoclave no solo regula la temperatura, sino que también utiliza bombas de agua para enfriar el interior del laminado, ajustando la temperatura de acuerdo con las especificaciones de la receta y asegurando que se mantiene un proceso controlado y preciso.

Todo el proceso dentro del autoclave está bajo estrictos controles automáticos que gestionan tanto la presión como la temperatura de manera constante y precisa. Estos controladores garantizan que las condiciones operativas se mantienen dentro de los parámetros óptimos establecidos para cada producto, asegurando una adherencia uniforme y total entre los cristales y el PVB. El resultado final es un producto de alta calidad, con la máxima seguridad estructural y sin defectos, lo que es fundamental para satisfacer los requisitos del cliente y cumplir con los estándares de calidad en la industria del vidrio laminado.



Imagen 2.15 Autoclave

Fuente: Propia

7- LAVADORA DE REVISIÓN:

La lavadora de revisión es la última estación del proceso productivo y tiene un papel crucial en la verificación final de la calidad del producto. En esta fase, se graba el logo de la empresa compradora o el logo de DIALUM mediante un sistema de grabado láser. Posteriormente, el vidrio ingresa a la lavadora de revisión, donde se somete a un proceso de limpieza exhaustivo. Al salir de la lavadora, el producto se inspecciona cuidadosamente para asegurar que cumple con las especificaciones de calidad requeridas.

Durante esta inspección, se revisan posibles imperfecciones como rayas, mal laminado, quiebres o cualquier defecto que pueda comprometer la integridad o apariencia del producto. Si el vidrio cumple con los estándares de calidad establecidos, el producto se procede a empaquetar para su posterior envío, ya sea para su distribución nacional o para ser exportado, según corresponda. Este paso final es esencial para garantizar que el producto que llega al cliente sea de la más alta calidad, sin ningún tipo de defecto que pueda afectar su desempeño o satisfacción del cliente.



Imagen 2.16 lavadora de revisión

Fuente: Propia

CAPITULO 3 DISEÑO DE LA SOLUCIÓN.

3.1 PUNTOS ACTUALES DE MEDICIÓN.

A continuación, se detallarán los equipos específicos en los cuales se realizarán las mediciones de vibraciones en cada área de trabajo dentro de la línea productiva. Es importante señalar que la ruta de medición fue previamente establecida, lo que significa que se ha planificado y organizado de antemano cuáles serán los equipos a monitorear. Esta planificación se basó en la identificación de los puntos críticos dentro del proceso de producción, donde se espera que las mediciones de vibraciones puedan proporcionar información relevante para la detección de fallas o posibles problemas mecánicos.

La medición de vibraciones se llevará a cabo en estos equipos clave para asegurar un monitoreo constante de su desempeño y prevenir paradas no programadas. Las mediciones permitirán detectar posibles anomalías en el funcionamiento de los equipos, como desequilibrios, desalineaciones o fallas en los rodamientos, lo que contribuye a mantener la eficiencia operativa y la continuidad del proceso productivo.

	Equipo	TAG	RPM
Pulido	Motor pulido	MPL 01	2860
	Motor pulido	MPL 02	2860
TLT	Motor brazo	MB 01	1450
	Motor brazo	MB 02	1450
	Motor brazo	MB 03	1450
	Motor transporte	M 00	1450
Transporte	Motor transporte C1	M 01	1750
	Motor transporte C2	M 02	1750
	Motor transporte C3	M 03	1750
	Motor transporte C4	M 04	1750
	Motor transporte C5	M 05	1750
	Motor transporte C6	M 06	1750
Lavadora laminado	Motor cepillo 1	MC 01	2630

	Motor cepillo 2	MC 02	2630
	Motor cepillo 3	MC 03	2630
	Motor cepillo 4	MC 04	2630
	Motor cepillo 5	MC 05	2630
	Motor cepillo 6	MC 06	2630
	Motor apertura	ML 02	1410
	Bomba 1	B 01	1500
	Bomba 2	B 02	1500
	Bomba3	B 03	1500
TAN	Motor PVB 1	MP 01	2630
	Motor PVB 2	MP 02	2630
	Motor PVB 3	MP 03	2630
	Motor PVB 4	MP 04	2630
Calandra	Motor transporte Cold press	MTC 01	1155
	Motor apertura Cold press	MAC 01	1680
	Motor transporte Hot press	MTC 02	1155
	Motor apertura Hot press	MAC 02	1680
	Ventilador	V 01	1720
	Ventilador	V 02	1720
	Ventilador	V 03	1720
	Ventilador	V 04	1720
TOT	Motor Transporte	M 07	1450
	Motor brazos	MB 04	1450
	Motor brazos	MB 05	1450
	Motor brazos	MB 06	1450

Tabla 3.1 equipos en ruta de monitoreo
Fuente: Propia

En este listado se encuentran la mayoría de los equipos rotativos presentes en la planta LAMINATED GLASS. Como se puede observar en la imagen adjunta (Imagen 3.1), no se les realizó una medición completa (horizontal, vertical, axial) a todos los equipos. Esto se debe a diversas razones, como difícil acceso, no ser puntos de medición confiables, limitaciones relacionadas con la producción, entre otros factores. Los puntos subrayados

en la imagen adjunta corresponden a algunos de los equipos en los cuales no se realizó medición.

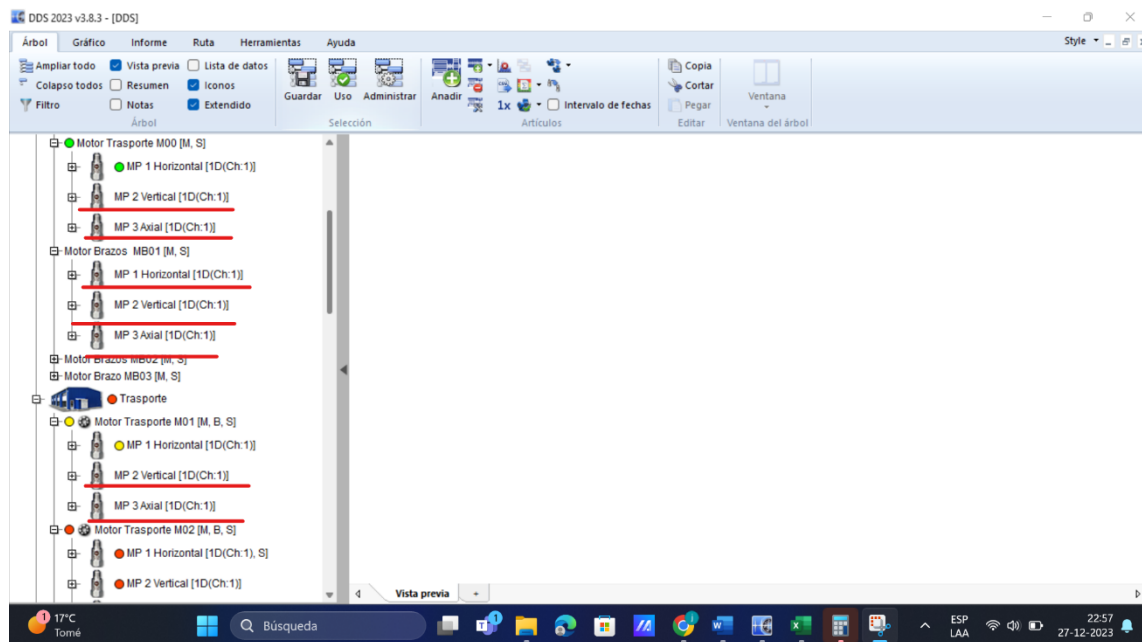


Imagen 3.1 Software ADASH
Fuente: Propia

También se puede observar que no se detallan los puntos exactos donde se realiza el muestreo, como, por ejemplo, si es en el lado del ventilador, lado cola, rodamiento, entre otros. Esto es importante para tener un registro más preciso de las mediciones y asegurar que se cubran todas las áreas críticas de los equipos.

3.2 TOMA DE DATOS.

Al realizar mediciones en diferentes sectores y equipos de la planta, se observa la complejidad de esta tarea. Esto se debe a que no todos los equipos presentes en la ruta son de material magnético, lo que impacta la medición, ya que el sensor utilizado tiene un imán para su adherencia en el punto de medición, lo que facilita la obtención de resultados válidos. Otro factor para considerar es la disposición o ubicación de los equipos o puntos a medir, ya que en algunos casos solo se puede realizar una medición debido a la complejidad o la imposibilidad de llegar a otros puntos.

Es importante mencionar que el equipo utilizado para medir las vibraciones pertenece a la Universidad Técnica Federico Santa María, sede Concepción, y se obtuvo en una ocasión para realizar estas mediciones.

En las siguientes imágenes adjuntas se pueden observar algunas de las mediciones tomadas en planta. Cabe destacar que algunos equipos no pudieron ser medidos debido a que no estaban en funcionamiento, como en el caso de los motores de la lijadora, motores de apertura de la calandra y de la apertura de la lavadora de laminado, los cuales no se pusieron en marcha para no intervenir en el proceso productivo.



Imagen 3.2 muestreo de datos ventilador calandra

Fuente: Propia



Imagen 3.3 muestreo de datos motor transporte C1
Fuente: Propia

Luego de realizar la ruta de mediciones y obtener los datos de interés, se procede a cargarlos en el software ADASH en una computadora para realizar un análisis posterior.

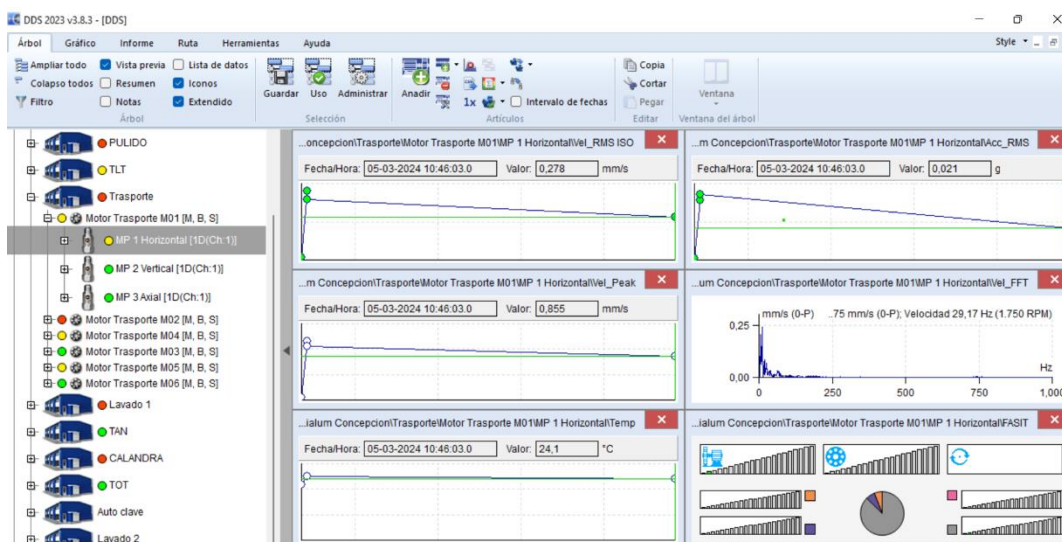


Imagen 3.4 Gráficos software ADASH
Fuente: Propia

3.3 ANÁLISIS DE VIBRACIONES.

Siguiendo la ruta de medición y evaluando los equipos rotativos, podemos observar que algunos han mantenido su condición a lo largo del tiempo, mientras que otros han presentado un deterioro progresivo.

Dado que los equipos estudiados tienen una potencia inferior a 15 kW, no se puede aplicar la norma ISO 10816. Por este motivo, se optó por utilizar los límites permisibles de ADASH, lo cual permite realizar una evaluación más precisa y actualizada respecto a la condición de la máquina. Este enfoque no solo facilita la evaluación del estado general de los equipos, sino que también permite un análisis detallado de la condición de los rodamientos, proporcionando información crucial para la toma de decisiones sobre el mantenimiento y la reparación.

3.3.1 MOTOR TRANSPORTE.

El motor de transporte que se analizará a continuación es el motor de transporte M04, ubicado en el interior de la sala limpia. Esta área cuenta con un ambiente de humedad y temperatura controlada, además de un nivel reducido de contaminantes como polvo y suciedad, lo que contribuye a un entorno más adecuado para el funcionamiento de equipos delicados. Estas condiciones ambientales favorables no solo optimizan el rendimiento del motor, sino que también pueden extender la vida útil de sus componentes, al reducir el desgaste y los posibles daños causados por la exposición a contaminantes.

Observaciones					
equipo en buen estado, sin restricciones para su uso.					
Causa					
N/A					
condición					
Buena					
Puntos de medición Motor M04					
Nombre	fecha	previa	ultima	unidad	sobre la alarma
DDS/Dialum Concepcion/Transporte/Motor Transporte/ M04					
MP 1 Horizontal\Vel_RMS	05-03-2024	0,568	0,275	mm/s	OK
MP 1 Horizontal\Acc_RMS	05-03-2024	0,066	0,014	g	OK
MP 1 Horizontal\Vel_Peak	05-03-2024	1,11	0,722	mm/s	
MP 1 Horizontal\Temp	05-03-2024	18,9	20,6	°C	
MP 1 Horizontal\RODAMIENTO 0-P	05-03-2024	0,22	0,062	g	
MP 2 Vertical\Vel_RMS	05-03-2024	2,37	0,875	mm/s	OK
MP 2 Vertical\Acc_RMS	05-03-2024	0,07	0,051	g	OK

Tabla 3.2 data de medición motor transporte M04

Fuente: Propia

Al comparar los datos anteriores con los más recientes, se observa claramente que el equipo rotativo no ha experimentado un deterioro. Los valores de velocidad y aceleración RMS se encuentran dentro de los límites que indican un equipo en buen estado. Al analizar estos valores de manera más detallada, se puede notar una ligera disminución en comparación con la medición anterior. Esto puede atribuirse a los mantenimientos realizados en estos equipos, aunque no se cuenta con registros previos de tales actividades. Estos mantenimientos incluyen:

- Limpieza de componentes críticos.
- Reajuste de piezas sueltas.
- Lubricación adecuada de rodamientos y partes móviles.

Una variable para tener en consideración para la próxima toma de datos sería el aumento mínimo en cerca de 2°C en el punto de medición, lo que nos podría estar entregando algún tipo de información.

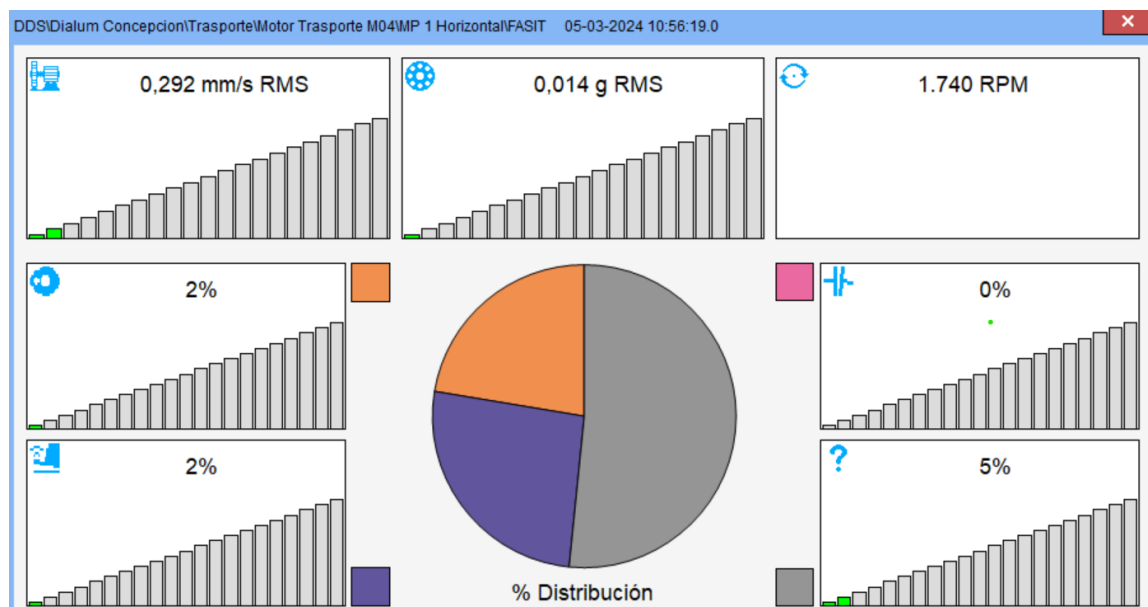


Imagen 3.5 FASIT software ADASH

Fuente: Propia

Según el FASIT proporcionado por el software, se puede observar que el motor de transporte M04 es un equipo que presenta vibraciones de baja frecuencia en general, y se encuentra dentro de condiciones aceptables. Las vibraciones registradas parecen ser mínimas, lo que podría indicar que el equipo está funcionando de manera eficiente. Sin embargo, las bajas vibraciones también podrían tener un origen desconocido, lo que sugiere que, aunque no se han identificado fallas evidentes, el monitoreo continuo es esencial para detectar cualquier cambio en su condición a lo largo del tiempo.

3.3.2 MOTOR VENTILADOR CALANDRA

El motor ventilador V01 está ubicado en el equipo calandra, el cual está en funcionamiento mientras la línea de producción está activa. Este ventilador está encargado de que la temperatura en el interior del equipo sea homogénea, generando circulación de aire en su interior. Cabe destacar que la calandra trabaja a temperaturas entre 90°C y 120°C en su interior.

Observaciones					
la vibración está provocando daños, valores obtenidos a nivel general del equipo, son críticos, se recomienda intervenir.					
Causa					
Alto valor de aceleración RMS, lo cual nos indica que el daño está siendo causado por su rodamiento.					
condición					
No aceptable.					
Puntos de medición Motor V01					
Nombre	fecha	previa	ultima	unidad	sobre la alarma
DDS/Dialum Concepcion/Calandra/Motor Ventilador/ V01					
MP 1 Horizontal\Vel_RMS	05-03-2024	0,94	2,19	mm/s	
MP 1 Horizontal\Acc_RMS	05-03-2024	0,795	1,4	g	
MP 1 Horizontal\Vel_Peak	05-03-2024	2,52	4,25	mm/s	
MP 1 Horizontal\Temp	05-03-2024	37,3	29,4	°C	
MP 2 Vertical\Vel_RMS	05-03-2024	1,37	1,17	mm/s	
MP 2 Vertical\Acc_RMS	05-03-2024	0,71	1,23	g	

Tabla 3.3 data de medición motor ventilador V01

Fuente: Propia

Al realizar la comparación entre los datos anteriores y los últimos obtenidos, se puede apreciar que el conjunto ha presentado un deterioro significativo a lo largo del tiempo. A pesar de ello, el valor de velocidad RMS se encuentra dentro de los límites aceptables, lo que indica un buen estado general de sus componentes mecánicos por el momento. Sin embargo, la aceleración RMS se encuentra en un estado no aceptable, lo que nos señala que el rodamiento está en una condición crítica y debe ser reemplazado.

Cabe mencionar que no existe registro de mantenimiento al ventilador (inspecciones internas, cambio de rodamientos, inspección de aspas, etc.), más allá de las inspecciones relacionadas con el consumo de corriente eléctrica.

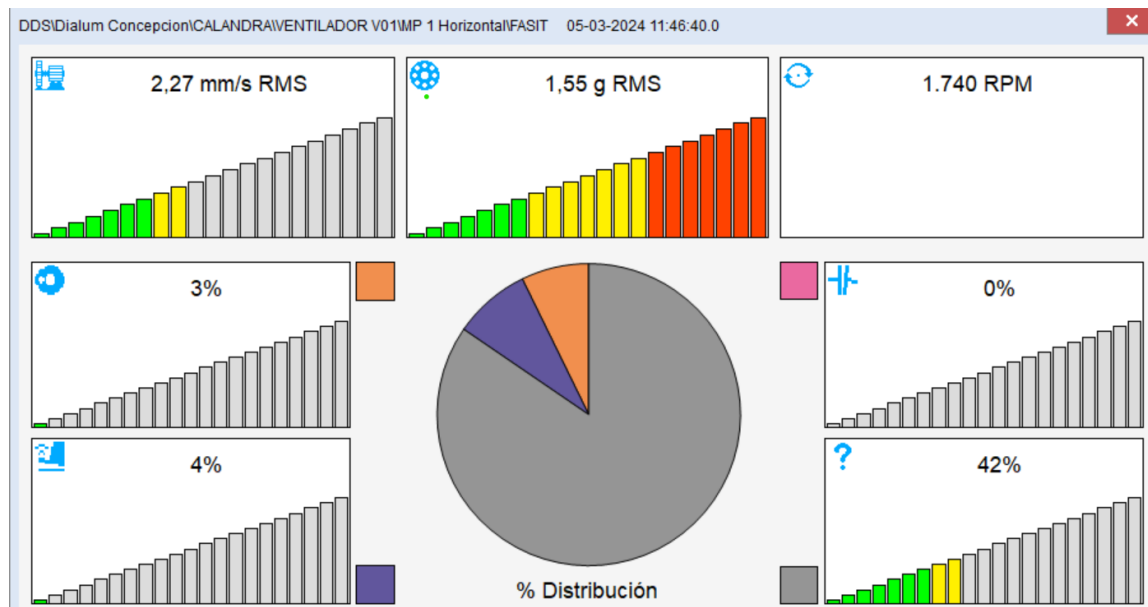


Imagen 3.6 FASIT software ADASH

Fuente: Propia

Según la información adjunta, FASIT indica un estado crítico en aceleración RMS, mientras que en velocidad RMS ya estamos excediendo los límites de una condición aceptable, lo que sugiere que el problema podría estar asociado al rodamiento.

Los posibles modos de falla, según FASIT, podrían estar relacionados con desequilibrio y aflojamiento, aunque una gran parte de estos podrían tener un origen desconocido.

Se recomienda desmontar e inspeccionar el equipo, asegurándose de contar con al menos un rodamiento de repuesto para realizar el cambio del componente dañado.

3.3.3 MOTOR CEPILLO LAVADORA LAMINADO

El motor cepillo MC05, ubicado en la lavadora de la línea de laminado, acciona un cepillo superior. Este equipo cuenta con un registro de mantenimiento asociado a la lubricación de los rodamientos, control del consumo eléctrico, y la inspección y cambio de aceite cuando sea necesario.

Observaciones					
Valores de Velocidad RMS para tener en observación, ya que superaron los límites aceptables.					
Causa					
vibraciones podría estar asociadas a desbalanceo, holguras mecánicas					
condición					
Advertencia					
Puntos de medición Motor cepillo MC05					
Nombre	fecha	previa	ultima	unidad	sobre la alarma
DDS/Dialum Concepcion/lavado1/Motor Cepillo/MC05					
MP 1 Horizontal\Vel_RMS	05-03-2024	3,81	3,9	mm/s	
MP 1 Horizontal\Acc_RMS	05-03-2024	0,451	0,42	g	
MP 1 Horizontal\Vel_Peak	05-03-2024	9,06	8,89	mm/s	
MP 1 Horizontal\Temp	05-03-2024	30,5	29,4	°C	
MP 1 Horizontal\RODAMIENTO 0-P	05-03-2024	1,69	1,74	g	
MP 2 Vertical\Vel_RMS	05-03-2024		3,07	mm/s	
MP 2 Vertical\Acc_RMS	05-03-2024		0,284	g	

Tabla 3.4 data de medición motor cepillo MC05

Fuente: Propia

Como se puede observar en el cuadro de datos, no existe un registro previo en MP 2 Vertical, por lo que este punto no podrá ser comparado.

Al comparar la medición horizontal, se puede notar que no ha habido un mayor deterioro en el conjunto motor-cepillo. La aceleración RMS se mantiene dentro de los parámetros que indican un buen estado de los rodamientos y componentes externos.

Sin embargo, la velocidad RMS continúa en un valor que debe ser monitoreado, sugiriendo la necesidad de inspeccionar posibles desequilibrios o holguras mecánicas.

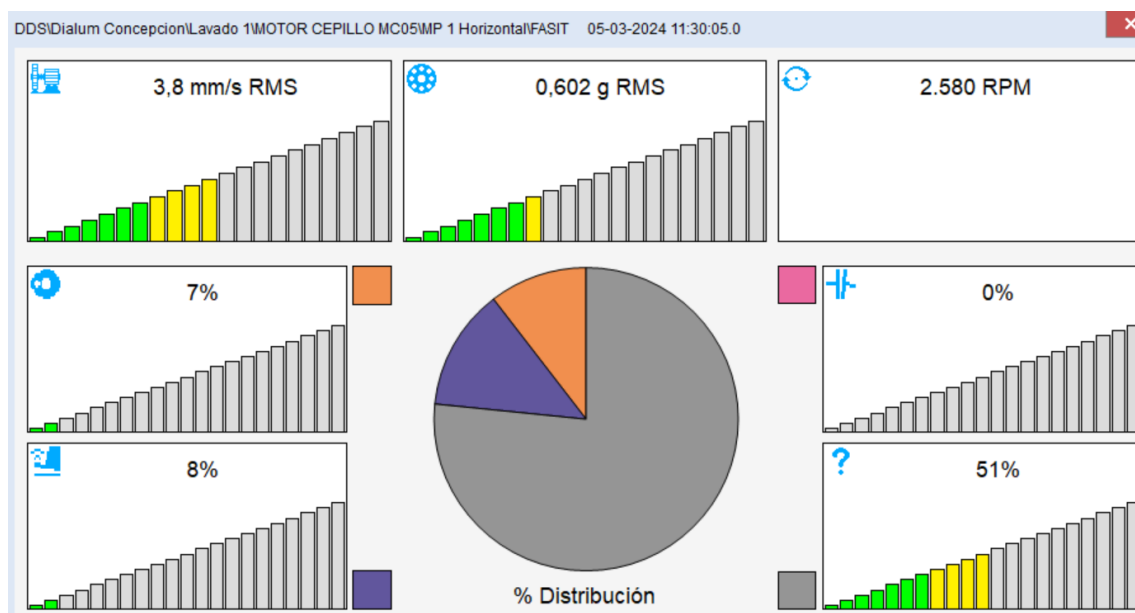


Imagen 3.7 FASIT software ADASH
Fuente: Propia

Según la información adjunta, se puede observar que el motor presenta vibraciones que deben ser monitoreadas de cerca. La velocidad RMS muestra una tendencia de 3,8 mm/s RMS, lo que, al correlacionarlo con la velocidad de giro del motor en la gráfica de ADASH, excede el límite establecido para considerar al equipo en buen estado.

Los principales orígenes de las vibraciones en el equipo, según el análisis proporcionado por el software ADASH, deben ser desequilibrio y aflojamiento. Sin embargo, gran parte de las vibraciones no tiene un modo de fallo claramente identificado, lo que sugiere la necesidad de realizar una inspección más detallada para determinar las causas exactas.

3.4 MEJORA A RUTA DE MEDICIÓN.

Para garantizar que la obtención de datos sea confiable, es esencial determinar de manera precisa los puntos de medición en cada equipo. Cuantos más puntos de medición se definan, más confiable será la información obtenida, lo que facilitará la toma de decisiones. Además, al contar con más puntos de medición, se podrá predecir con mayor precisión posibles fallas en los equipos.

En la actualidad, la ruta de medición establecida no especifica claramente cuáles son los puntos de medición a utilizar. Además, existen rodamientos y descansos de equipos rotativos que no se han considerado en las mediciones, pero que podrían proporcionar información valiosa para un análisis más detallado de las vibraciones. Un ejemplo de esto son los motores reductores, donde se podría realizar medición no solo en el motor, sino también en la caja reductora, así como en los descansos presentes en equipos como la calandra. Estas mejoras permitirían un análisis más exhaustivo y una mejor predicción del comportamiento de los equipos.

3.5 OBSERVACIONES AL REALIZAR MUESTREO DE DATOS.

Al revisar la ruta actual de medición de vibraciones y durante el proceso de recopilación de datos, se pueden detectar varios aspectos que se pueden mejorar. De estos puntos de mejora, hay dos que consideramos particularmente importantes. Estos son esenciales para garantizar que los datos obtenidos sean precisos y confiables. Además, al implementarlos, se podrá monitorear de manera más efectiva los equipos clave para la producción, que actualmente no están siendo evaluados en la ruta de medición establecida.

3.5.1 PUNTO EXACTO DE MEDICIÓN:

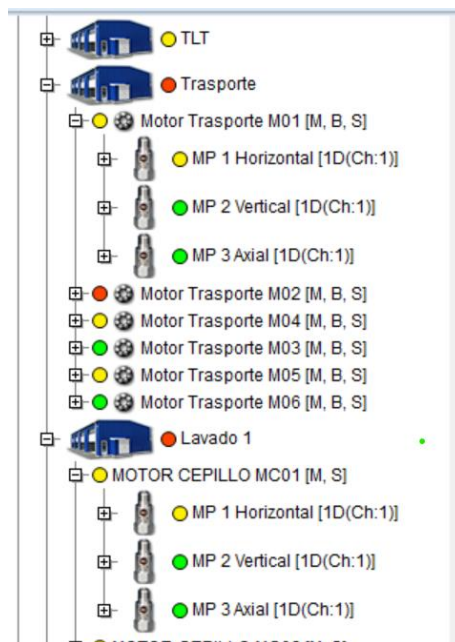


Imagen 3.8 Ruta actual de medición

Fuente: Propia

Si observamos la ruta de medición de frecuencias vibratorias, notamos que no se especifica el punto exacto donde se realizará el monitoreo. Por ejemplo, al abrir la ubicación de "transporte", se muestran todos los equipos rotativos presentes en esta área. Si continuamos con la apertura de "motor transporte M01", se indicarán inmediatamente los puntos de medición (MP 1 Horizontal, MP 2 Vertical, MP 3 Axial). Sin embargo, la elección de medir en el lado cola, lado ventilador, caja reductora, entre otros, queda un criterio del personal encargado de realizar las mediciones. Esto podría generar variaciones en los datos, entregándonos información errónea.

3.5.2 PUNTOS FALTANTES.

Mientras avanzábamos en el monitoreo de la ruta previamente determinada, encontramos que algunos puntos que figuraban en la ruta teórica no se podían medir esencialmente debido a la disposición de los equipos. Además, observamos que hay rodamientos, motores y bombas que son cruciales para el proceso productivo, pero que no están contemplados como puntos de monitoreo a lo largo del tiempo. Esto limita la capacidad de realizar un análisis completo y constante del estado de estos componentes clave.

3.6 MEJORA A LAS OBSERVACIONES.

Con el objetivo de promover la mejora continua y basándonos en las deficiencias observadas, se tomarán medidas para que la ruta de medición sea más específica y abarque un mayor número de equipos. Esto permitirá un control más exhaustivo sobre los equipos, lo que no solo contribuirá a una gestión más eficiente del mantenimiento, sino que también mejorará la eficiencia productiva de la planta.

3.6.1 AGREGAR ESPECIFICACIÓN.

Para asegurar la precisión en los puntos de medición, se ha agregado una ubicación adicional a cada motor, especificando en qué lado se realizará la medición (lado cola, lado acople). Esta modificación ayudará a garantizar que los puntos de medición sean consistentes y de fácil acceso, lo que mejorará la confiabilidad de los datos obtenidos.

En la siguiente imagen adjunta, se muestra la modificación realizada en la ruta de medición, en la que se detallan y especifican los lados de medición para cada equipo, ya sea en el "lado cola" o en el "lado acople". Esto permitirá un monitoreo más preciso y sistemático de las condiciones de los equipos.

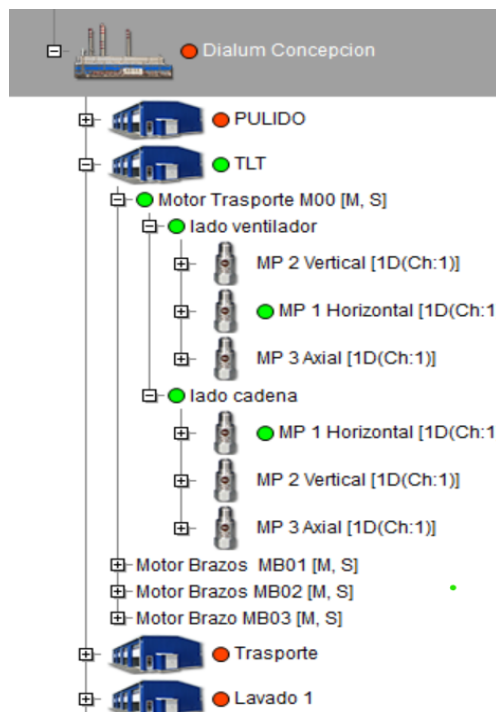


Imagen 3.9 Ruta modificada de medición

Fuente: Propia

Nota: la imagen muestra el nuevo campo que se agregó en el "árbol" de la ruta, detallando en qué lado del equipo se está realizando el muestreo. (lado ventilador, lado rodillo) como es el caso del motor transporte M00

También se adjunta una imagen en la que se puede observar que, para facilitar la identificación de los puntos de medición, se han colocado pegatinas en cada equipo rotativo. Estas pegatinas indican claramente el punto exacto donde se realizó la medición, lo que permitirá una mayor precisión y consistencia en el monitoreo de las vibraciones. Esta medida contribuirá a garantizar que las mediciones sean siempre realizadas en el mismo lugar, mejorando la calidad de los datos y facilitando la detección de posibles problemas a lo largo del tiempo.

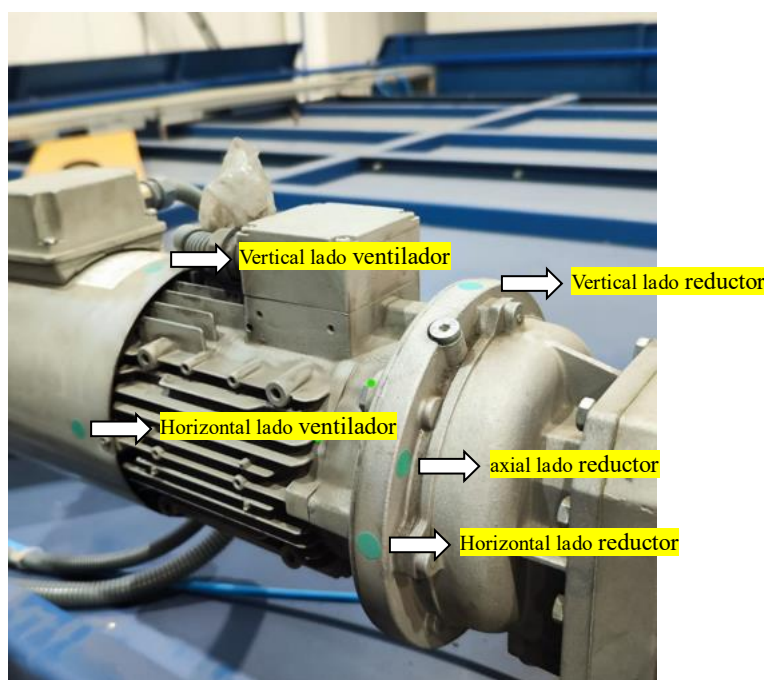


Imagen 3.10 puntos de medición motor transporte calandra
Fuente: Propia

3.6.2 MODIFICACIÓN PUNTOS DE MEDICIÓN

Luego de analizar cada punto de medición en terreno, con el fin de establecer una ruta actualizada con los puntos en los cuales realmente se llevará a cabo la medición de vibraciones, se logró generar una actualización de la ruta. En esta actualización se agregaron puntos y equipos que no estaban inicialmente considerados, y se eliminaron algunos puntos de equipos que, debido a su disposición física o difícil acceso, no podrán ser monitoreados.

Entre los puntos agregados a la ruta de medición, se incluyen los rodamientos en el conjunto de acople de los rodillos de la prensa fría y caliente en la calandra, así como las cajas reductoras de rodillos en estas mismas prensas. Estos nuevos puntos de medición podrían proporcionar información valiosa al momento de realizar el análisis de vibraciones.

A continuación, se adjuntan imágenes de los equipos rotatorios que deben ser considerados, así como los equipos nuevos que han sido incorporados en los puntos de monitoreo ADASH.



Imagen 3.11 motor transporte horno

Fuente: Propia

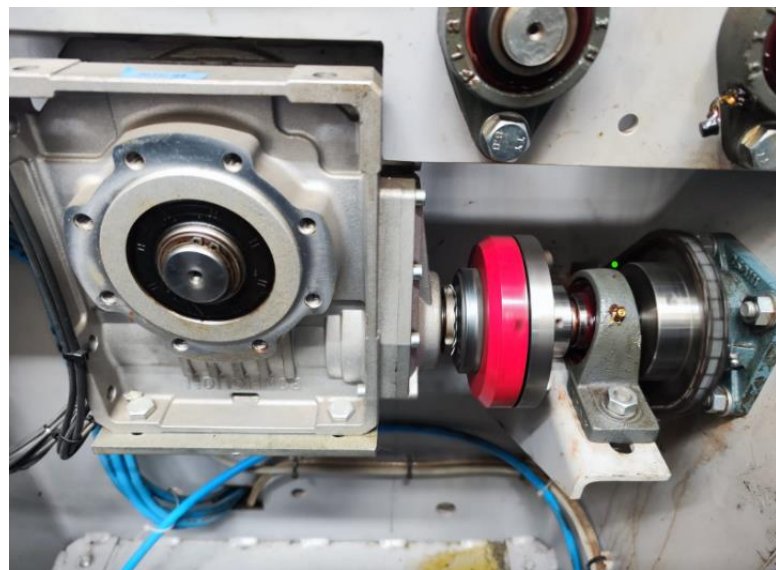


Imagen 3.12 acople entre motor y rodillos prensa.

Fuente: Propia

CAPITULO 4 ESTUDIO ECONÓMICO.

4.1 COSTOS ASOCIADOS A IMPLEMENTACIÓN Y EJECUCIÓN

Entre los principales costos para implementar y ejecutar este mantenimiento predictivo se destacan la compra del equipo de medición y las horas hombre dedicadas al monitoreo en la ruta de mediciones.

El tiempo estimado para realizar la medición de los equipos rotativos es de aproximadamente 3 horas. Considerando que el costo de hora/hombre para el personal de mantenimiento es de aproximadamente \$5,000, y que este trabajo se realizará 4 veces al año, se estima que el costo anual en horas hombre para ejecutar el mantenimiento predictivo será de \$48,000.

Tiempo estimado de ejecución	Hora/hombre	Frecuencia de medición	Costo anual de horas/hombre
3 horas.	\$5,000	4 veces al año	\$60,000

Tabla 4.1 Costo asociado a Hora hombre anual
Fuente: Propia

Necesario para ejecutar trabajo	Valor (CLP)
Analizador de vibraciones VIBRIO IV MS	\$5.595.000.-
Horas hombre al año para ejecutar	\$60.000.-
Curso vibraciones nivel 1	\$1.150.000.-
TOTAL	\$6.805.000.-

Tabla 4.2 Costos asociados a plan de mantenimiento
Fuente: Propia

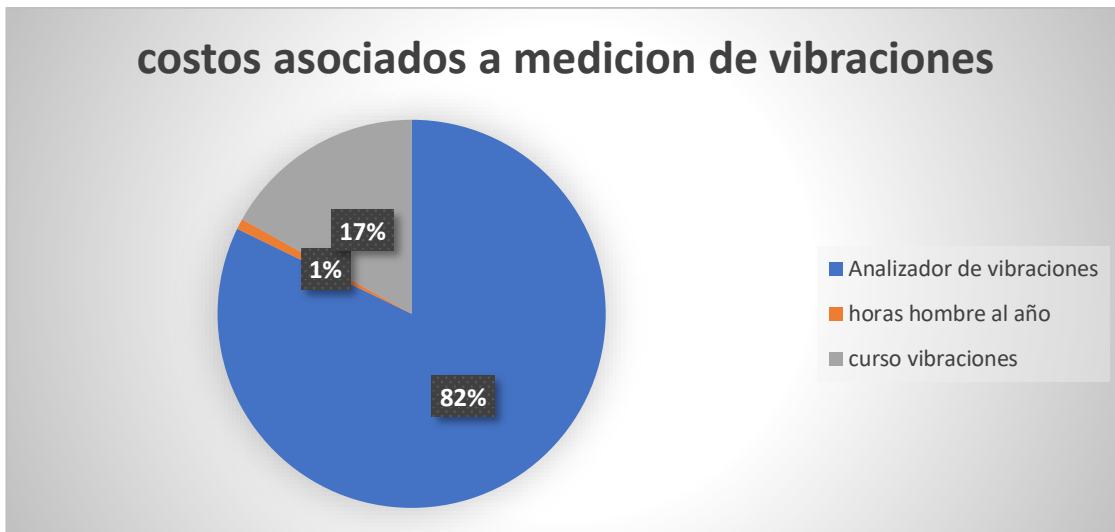



Gráfico 4.1 costos asociados a plan de mantenimiento
Fuente: Propia

A continuación, se adjuntan imágenes de cotización realizada para compra equipo de medición y curso análisis de vibraciones nivel 1.



dooble
INGENIERIA SpA
Especialistas en Monitoreo de Condiciones

Maria Angélica 9623, Pudahuel – Santiago
Tel: +56-2-27232390
Email: contacto@doobleingenieria.cl
www.doobleingenieria.cl

COTIZACIÓN # 2024-JUN-4968

FECHA: 04-06-2024.

Sr. Javier Romero
DIALUM

Email: javier.romero@dialum.com

REF: Su solicitud de cotización.

Agradecemos su solicitud y adjuntamos nuestra oferta por el equipamiento solicitado:

Analizador de Vibraciones VIBRIO IV MS + Software DDS Free

Ítem	Cantidad	Descripción	Código Interno	Valor Unitario MN	Valor OFERTA TOTAL MN
01	1	Analizador de vibraciones VIBRIO IV MS, incluye:: 1 acelerómetro uniaxial, 1 base magnética superficie plana 1 cable de conexión 1 audifono estéreo (standard) 1 maleta de transporte 1 Pen drive software DDS (Free)	DOO-IV-VMS	7.895.000-	5.595.000.-
Sub Total					\$ 5.595.000.-

Son: Cinco millones quinientos noventa y cinco mil pesos más IVA

VIBRIO IV - UNA PEQUEÑA PERO PODEROSA HERRAMIENTA PARA EL MONITOREO DE CONDICIONES.



El Analizador de vibraciones, cuenta con un sistema de diagnóstico y apoyo del estándar ISO 10.816-3, para el monitoreo y diagnóstico de maquinarias. Sus funciones de medición en Aceleración, Velocidad y Desplazamiento. Espectros FFT, Forma de Onda, Función de Estetoscopio, Medidor de temperatura y Tacómetro en 1 solo instrumento.

Funciones básicas de medidor global y avanzadas para rutas de medición (VIBRIO IV MSCL), medición de espectros de velocidad, aceleración y desplazamiento, formas de onda, envolvente de aceleración, FASIT. Software para creación de base de datos y rutas de medición. Análisis de espectros, herramientas de análisis como cursores periódicos, armónicos, base de datos de rodamientos, asignación de advertencias y alarmas definidas por el usuario y/o acorde a las características de la máquina por estándar ISO 10.816-3.

Imagen 4.1 Cotización analizador de vibraciones
Fuente: Propia

Información Curso y certificación análisis de vibración categoría I


clopez@cmsonline.cl (Carlos López Julio [CV]
Para javier.romero@dialum.com
Responder
Responder a todos
Reenviar
...
martes 25-06-2024 18:51


211001_MOBIUS_Temario_ISO 18436 Category I_.pdf
132 KB

Estimado JAVIER

CATEGORIA I

Requisitos :

Curso: No requiere experiencia
 Certificación: 06 meses de experiencia

Valores :

- Curso y certificación análisis de vibración categoría III \$ 1.150.000

Duración:

- 30 horas , distribuidas en 04 días.

Imagen 4.2 Cotización curso de vibraciones nivel I
Fuente: Propia

El costo total anual para implementar el plan de mantenimiento predictivo propuesto para los equipos rotativos en la planta DIALUM LAMINATED GLASS asciende a \$6.805.000. Es importante destacar que este valor se aplica únicamente al primer año, ya que incluye la inversión inicial en la compra del equipo de medición.

4.2 COSTOS ASOCIADOS A DETENCIÓN DE LÍNEA DE PRODUCCIÓN.

Al Detener la línea de producción por un tiempo prolongado implica pérdidas tanto en tiempo como en producción para la empresa, lo que se traduce en costos económicos considerables. Según los datos proporcionados por la empresa DIALUM, la planta LAMINATED GLASS produce 0.82 toneladas por hora y el valor del laminado es de 380 USD por tonelada. Con esta información, podemos estimar los costos asociados a una detención de la línea de producción.

Toneladas/hora	Valor 1 tonelada (\$US)		1 \$US a CLP	Valor 1 tonelada (CLP)	Valor de 0.82 toneladas (CLP)	Perdida detención (hora)
0.82	380	946.90		368344,10	302042,16	302042,16

Tabla 4.3 perdidas de detención DIALUM
Fuente: Propia

De acuerdo con los registros de órdenes de trabajo (OT) en la planta LAMINATED GLASS, en los últimos dos años no se han registrado detenciones ni fallas imprevistas en los equipos rotativos. Por lo tanto, no es posible comparar directamente las pérdidas por detenciones con los beneficios de implementar este mantenimiento predictivo. Sin embargo, se estima que evitar alrededor de 22 horas de detención en la línea de producción permitirá recuperar la inversión del primer año destinada a este tipo de mantenimiento.

Además, la capacitación y la compra del analizador de vibraciones proporcionarán a la empresa la capacidad de implementar esta metodología en otras plantas sin incurrir en costos adicionales, a excepción del valor de la hora/hombre para el personal. Es importante destacar que los costos totales de la implementación del análisis de vibraciones en algunos equipos se concentrarán solo en el primer año, ya que el equipo de medición y el curso de formación quedarán como activos permanentes para la empresa.

CONCLUSIONES.

Las conclusiones obtenidas a lo largo de este trabajo permiten extraer varias observaciones clave:

El análisis de vibraciones realizado en la planta DLG reveló que los equipos que no han mostrado mejoras desde la primera medición y que actualmente se encuentran fuera del rango aceptable son los motores ventiladores de la calandra. Las fallas en estos equipos podrían asociarse principalmente a problemas en los rodamientos o al desequilibrio.

Para estudios futuros, se recomienda implementar un sistema de monitoreo en intervalos de no más de 3 meses, con el objetivo de obtener datos más detallados sobre las vibraciones y realizar un análisis más profundo de las posibles causas de las fallas. Al implementar este plan de mantenimiento predictivo, se prevé una reducción significativa en los tiempos de inactividad y en los costos de mantenimiento, lo cual permitirá dedicar los tiempos de intervención preventiva a aquellos equipos cuya falla es menos predecible.

El análisis de vibraciones es esencial para mantener los equipos en correcto funcionamiento y evitar problemas. Si estos análisis se realizan regularmente, se pueden prevenir fallos inesperados y optimizar el uso de los recursos.

La inversión en un equipo de análisis de vibraciones, junto con la capacitación del personal en esta metodología, ofrecerá grandes beneficios a la empresa. Esta medida permitirá predecir y detectar fallas inminentes en los equipos, reduciendo el número de fallas imprevistas y los tiempos de inactividad. Estos costos iniciales serán ampliamente compensados al evitar paradas en la producción y mejorar la eficiencia operativa.

RECOMENDACIONES.

Una vez implementado el plan de mantenimiento en la empresa DIALUM, es importante considerar las siguientes recomendaciones para maximizar los beneficios de esta metodología de trabajo:

- **Frecuencia de Muestreo:** Realizar muestreos de datos en los equipos rotativos cada tres meses, utilizando los puntos de medición establecidos previamente. Esto permitirá obtener datos confiables que contribuirán a un análisis más preciso y efectivo de la condición de los equipos.
- **Calibración y Certificación:** Calibrar y certificar el medidor de vibraciones cada dos años. Esto garantizará que el equipo de medición ofrezca valores reales y confiables, fundamentales para tomar decisiones basadas en los datos obtenidos.

Implementar estas prácticas asegurará un monitoreo eficaz de los equipos, ayudando a prevenir fallas inesperadas y optimizar la operación productiva de la planta.

BIBLIOGRAFIA/LINKOGRAFIA

- <https://adqvibraciones.blogspot.com/2013/12/fallas-comunes-para-equipos-rotatorios.html>

- Vibraciones en equipos y maquinas térmicas
Marcelo Quiroz Neira.

- OLARTE C., WILLIAM; BOTERO A., MARCELA; CAÑÓN Z., BENHUR A.
ANÁLISIS DE VIBRACIONES: UNA HERRAMIENTA CLAVE EN EL
MANTENIMIENTO PREDICTIVO Scientia Et Technica, vol. XVI, núm. 45,
agosto, 2010, pp. 219-222 Universidad Tecnológica de Pereira Pereira, Colombia

- Ciencia y Sociedad Volumen XXXII, Número 4 Octubre-Diciembre 2007
MANTENIMIENTO Y ANÁLISIS DE VIBRACIONES María Penkova
Vassileva*

- Mosquera, Díaz, Cardona, Las vibraciones mecánicas y su aplicación al
mantenimiento predictivo, Colección monográficas, Universidad Central de
Venezuela, Instituto Superior de Ciencia y Tecnologías Nucleares de Cuba,
ISBN: 980-00-1490-X.

ANEXOS.

DDS\Dialum Concepcion\TLT\Motor Transporte M00												
MP 1 Horizontal\Vel_RMS	05-03-2024 10:37:03					0,785	0,48	0,438	1,04	0,241	0,252	mm/s
MP 1 Horizontal\Acc_RMS	05-03-2024 10:37:03					0,22	0,072	0,072	0,271	0,09	0,088	g
MP 1 Horizontal\Vel_Peak	05-03-2024 10:37:03					1,72	1,1	0,883	3,07	0,543	0,594	mm/s
MP 1 Horizontal\Temp	05-03-2024 10:37:03					20,6	23,1	24,1	23,9	22,7	22,7	°C
MP 2 Vertical\Vel_RMS	05-03-2024 10:38:25									1,17	0,434	mm/s
MP 2 Vertical\Acc_RMS	05-03-2024 10:38:25									0,486	0,079	g
MP 2 Vertical\Vel_Peak	05-03-2024 10:38:25									3,52	1,01	mm/s
MP 2 Vertical\Temp	05-03-2024 10:38:25									24	22,6	°C
MP 3 Axial\Vel_RMS	05-03-2024 10:39:12									0,953	0,073	mm/s
MP 3 Axial\Acc_RMS	05-03-2024 10:39:12									0,504	0,057	g
MP 3 Axial\Vel_Peak	05-03-2024 10:39:12									2,68	0,225	mm/s
MP 3 Axial\Temp	05-03-2024 10:39:12									22	23	°C

Imagen 5.1 últimas mediciones motor transporte M00

Fuente: ADASH DDS

DDS\Dialum Concepcion\Transporte\Motor Transporte M01														
MP 1 Horizontal\Vel_RMS ISO	05-03-2024 10:46:03									0,017	0,448	0,398	0,278	mm/s
MP 1 Horizontal\Acc_RMS	05-03-2024 10:46:03									0,001	0,039	0,043	0,021	g
MP 1 Horizontal\Vel_Peak	05-03-2024 10:46:03									0,044	1,16	1,06	0,855	mm/s
MP 1 Horizontal\Temp	05-03-2024 10:46:03									21,9	25	24,9	24,1	°C
MP 2 Vertical\Vel_RMS ISO	05-03-2024 10:46:47												0,306	mm/s
MP 2 Vertical\Acc_RMS	05-03-2024 10:46:47												0,081	g
MP 2 Vertical\Vel_Peak	05-03-2024 10:46:47												0,695	mm/s
MP 2 Vertical\Temp	05-03-2024 10:46:47												23,5	°C
MP 3 Axial\Vel_RMS	05-03-2024 10:47:36												0,241	mm/s
MP 3 Axial\Acc_RMS	05-03-2024 10:47:36												0,035	g
MP 3 Axial\Vel_Peak	05-03-2024 10:47:36												0,789	mm/s
MP 3 Axial\Temp	05-03-2024 10:47:36												24,1	°C

Imagen 5.2 últimas mediciones motor transporte M01

Fuente: ADASH DDS

DDS\Dialum Concepcion\Trasporte\Motor Transporte M02										
MP 1 Horizontal\Vel_RMS ISO	05-03-2024 10:49:31					1,3	1,44	1,74	0,27	mm/s
MP 1 Horizontal\Acc_RMS	05-03-2024 10:49:31					0,063	0,06	0,058	0,026	g
MP 1 Horizontal\Vel_Peak	05-03-2024 10:49:31					3,07	3,85	4,38	0,628	mm/s
MP 1 Horizontal\Temp	05-03-2024 10:49:31					28,6	28,8	29,3	23,5	°C
MP 2 Vertical\Vel_RMS ISO	05-03-2024 10:50:23					2,55	3,88	2,13	0,47	mm/s
MP 2 Vertical\Acc_RMS	05-03-2024 10:50:23					0,061	0,057	0,056	0,036	g
MP 2 Vertical\Vel_Peak	05-03-2024 10:50:23					6,71	8,16	4,98	1,05	mm/s
MP 2 Vertical\Temp	05-03-2024 10:50:23					28,4	28,3	28,2	24,6	°C
MP 3 Axial\Vel_RMS	05-03-2024 10:51:04								0,225	mm/s
MP 3 Axial\Acc_RMS	05-03-2024 10:51:04								0,047	g
MP 3 Axial\Vel_Peak	05-03-2024 10:51:04								0,822	mm/s
MP 3 Axial\Temp	05-03-2024 10:51:04								26	°C

Imagen 5.3 últimas mediciones motor transporte M02

Fuente: ADASH DDS

DDS\Dialum Concepcion\Lavado 1\MOTOR CEPILLO MC01										
MP 1 Horizontal\Vel_RMS	05-03-2024 11:20:21					3,1	2,91	2,69	1,46	mm/s
MP 1 Horizontal\Acc_RMS	05-03-2024 11:20:21					0,62	0,63	0,679	0,583	g
MP 1 Horizontal\Vel_Peak	05-03-2024 11:20:21					6,64	6,74	6,18	4,48	mm/s
MP 1 Horizontal\Temp	05-03-2024 11:20:21					25,5	30,2	30,6	32	°C
MP 1 Horizontal\RODAMIENTO 0-P	05-03-2024 11:20:21						2,35	2,29	1,95	g
MP 2 Vertical\Vel_RMS	05-03-2024 11:20:53								2,81	mm/s
MP 2 Vertical\Acc_RMS	05-03-2024 11:20:53								0,518	g
MP 2 Vertical\Vel_Peak	05-03-2024 11:20:53								7,03	mm/s
MP 2 Vertical\Temp	05-03-2024 11:20:53								30,5	°C
MP 3 Axial\Vel_RMS	05-03-2024 11:21:39								1,89	mm/s
MP 3 Axial\Acc_RMS	05-03-2024 11:21:39								0,366	g
MP 3 Axial\Vel_Peak	05-03-2024 11:21:39								4,27	mm/s
MP 3 Axial\Temp	05-03-2024 11:21:39								30,3	°C

Imagen 5.4 últimas mediciones motor cepillo MC01

Fuente: ADASH DDS

DDS\Dialum Concepcion\Lavado 1\MOTOR CEPILLO MC04											
MP 1 Horizontal\Vel_RMS	05-03-2024 11:28:23					5,32	4,57	5,35	4,36	5,22	mm/s
MP 1 Horizontal\Acc_RMS	05-03-2024 11:28:23					1,01	0,363	0,803	0,798	0,337	g
MP 1 Horizontal\Vel_Peak	05-03-2024 11:28:23					14	12,5	14,9	12,7	13,7	mm/s
MP 1 Horizontal\Temp	05-03-2024 11:28:23	.				25,6	25	29,1	28,4	30,3	°C
MP 1 Horizontal\RODAMIENTO 0-P	05-03-2024 11:28:23							2,9	3,33	1,07	g
MP 2 Vertical\Vel_RMS	05-03-2024 11:28:54									5,03	mm/s
MP 2 Vertical\Acc_RMS	05-03-2024 11:28:54									0,269	g
MP 2 Vertical\Vel_Peak	05-03-2024 11:28:54									12,2	mm/s
MP 2 Vertical\Temp	05-03-2024 11:28:54									32,7	°C
MP 3 Axial\Vel_RMS	05-03-2024 11:29:22									6,15	mm/s
MP 3 Axial\Acc_RMS	05-03-2024 11:29:22									0,517	g
MP 3 Axial\Vel_Peak	05-03-2024 11:29:22									14,9	mm/s
MP 3 Axial\Temp	05-03-2024 11:29:22									31,7	°C

Imagen 5.5 últimas mediciones motor cepillo MC04

Fuente: ADASH DDS

DDS\Dialum Concepcion\CALANDRA\VENTILADOR V01											
MP 1 Horizontal\Vel_RMS	05-03-2024 11:46:40						0,839	0,819	0,94	2,19	mm/s
MP 1 Horizontal\Acc_RMS	05-03-2024 11:46:40						0,669	0,779	0,795	1,4	g
MP 1 Horizontal\Vel_Peak	05-03-2024 11:46:40					2,26	2,01	2,52	4,25		mm/s
MP 1 Horizontal\Temp	05-03-2024 11:46:40					34,4	36,3	37,3	29,4		°C
MP 2 Vertical\Vel_RMS	05-03-2024 11:47:10						1,49	1,37	1,17		mm/s
MP 2 Vertical\Acc_RMS	05-03-2024 11:47:10						0,695	0,71	1,23		g
MP 2 Vertical\Vel_Peak	05-03-2024 11:47:10						3,41	2,99	2,95		mm/s
MP 2 Vertical\Temp	05-03-2024 11:47:10						34	34,9	36,5		°C

Imagen 5.6 últimas mediciones motor ventilador V01

Fuente: ADASH DDS

DDS\Dialum Concepcion\CALANDRA\VENTILADOR V02											
MP 1 Horizontal\Vel_RMS	05-03-2024 11:47:54						2,35	2,27	2,23	1,81	mm/s
MP 1 Horizontal\Acc_RMS	05-03-2024 11:47:54						1,58	1,66	1,63	1,04	g
MP 1 Horizontal\Vel_Peak	05-03-2024 11:47:54						6,18	5,68	5,23	3,92	mm/s
MP 1 Horizontal\Temp	05-03-2024 11:47:54						35,6	37,5	38,2	35,3	°C
MP 2 Vertical\Vel_RMS	05-03-2024 11:48:30						3,62	4,03	4,07	2,06	mm/s
MP 2 Vertical\Acc_RMS	05-03-2024 11:48:30						1,85	1,91	1,9	1,25	g
MP 2 Vertical\Vel_Peak	05-03-2024 11:48:30						7,61	8,11	9,41	4,21	mm/s
MP 2 Vertical\Temp	05-03-2024 11:48:30						35,7	36,8	34,2	29,3	°C

Imagen 5.7 últimas mediciones motor ventilador V02

Fuente: ADASH DDS

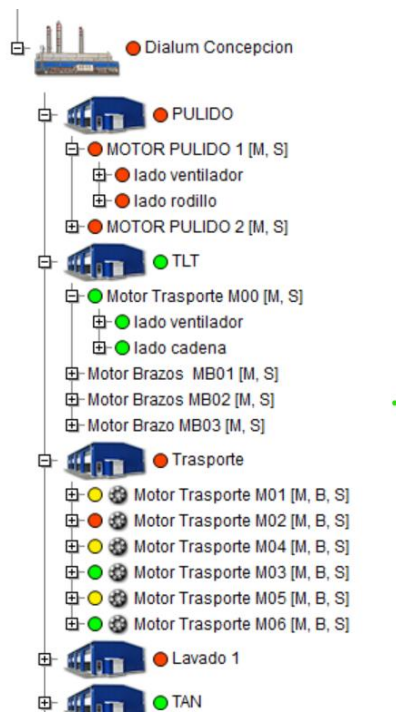


Imagen 5.8 Ruta de medición

Fuente: ADASH DDS

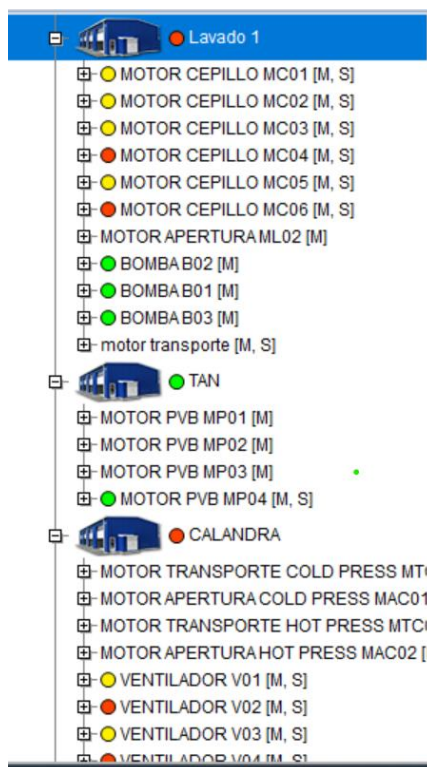


Imagen 5.9 Ruta de medición

Fuente: ADASH DDS