

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE CONCEPCIÓN- REY BALDUINO DE BÉLGICA.

**PROPUESTA DE DISEÑO DE METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO
PREDICTIVO: PLANTA DIALUM.**

Trabajo de Titulación para optar al
Título Profesional de Ingeniero en
mantenimiento industrial.

Alumna:

Yasna Mariela Jerez González.

Profesor guía:

Ing. Marcelo Quiroz Neira.

Agradecimientos

Primero quiero partir agradeciéndole a una persona que ya no está en vida acompañándome, pero desde el cielo guía cada uno de mis pasos y esta cuando más necesito una mano amiga. Muchas gracias, tío Ricardo por ser mi angelito del cielo y enseñarme que lo que uno se propone lo puede lograr, por valorarme y hacer que me sintiera incluida siempre. Eres y siempre vas a hacer la estrella que miro en el cielo.

Quiero continuar agradeciendo enormemente a mi familia, la cual me ha apoyado en todo este largo proceso. Comenzando con mi mamá Jasna una mujer luchadora, esforzada, guerrera que ha dado todo por mí, apoyándome incondicionalmente sin importar lo complicado que sea el camino por recorrer. Mamá eres una persona sensacional, muchas gracias por entregarme los valores que tengo, por enseñarme a respetar y valorar el trabajo de cada persona y el sacrificio que conlleva obtener lo que uno se propone. Gracias por enseñarme que para lograr lo que uno se propone se debe trabajar honestamente para ello sin menoscabar y querer pasar por encima de otros. Todas tus enseñanzas me han ayudado a superar las adversidades que se cruzan en el camino y aprender de ellas.

Ahora viene el turno de mis hermanas; Diana y Ashley. Se me hace imposible sintetizar en unas líneas el amor infinito que siento por estas personitas, mis pequeñas incondicionales que siempre tienen una palabra de aliento, una risa contagiosa. Le agradezco al cielo y a la vida tenerlas conmigo en cada paso que doy. Muchas gracias por estar conmigo siempre.

También quiero agradecer a mis gatos y perro que más que ser mis mascotas son mi familia.

Para finalizar quiero agradecer y darle una mención honrosa a mi profesor guía, por ayudarme en todo este proceso, muchas gracias por su tiempo y disposición.

En fin, quiero agradecer a todas las personas que conocí en este periodo ya que, de alguna u otra forma estuvieron acompañándome en este proceso.

Gracias totales.

RESUMEN

KEYWORD: METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO, MANTENIMIENTO PREDICTIVO PLANTA DIALUM CONCEPCIÓN.

El propósito de este trabajo es diseñar una metodología de mantenimiento predictivo para empresa Dialum Concepción. Actualmente la empresa carece de mantenimiento predictivo lo que hace que sus equipos no tengan la confiabilidad deseada. El mantenimiento que aplican hace poco es del tipo preventivo, pero al tener maquinas que contienen equipos que generan constante vibración hace que sea necesario un mantenimiento predictivo en la planta.

Este documento tiene la finalidad de establecer una guía para el diseño de metodología de mantenimiento predictivo con el objetivo de optimizar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos ya que, garantiza que se identifiquen cuáles son los equipos críticos con el fin de darle su tratamiento para que estén disponibles en todo momento y funcionen de manera confiable para mantener la continuidad operativa de la planta.

ÍNDICE DE MATERIAS

INTRODUCCIÓN..... 9

CAPÍTULO I: OBJETIVOS DEL PROYECTO..... 11

1. OBJETIVO GENERAL 12

1.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS 12

CAPÍTULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 13

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 14

2.2 MOTIVACIÓN Y JUSTIFICACIÓN 15

2.2.1 MOTIVACIÓN..... 15

2.2.3 JUSTIFICACIÓN..... 15

CAPÍTULO III: ANTECEDENTES DE DIALUM Y EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO. 16

3. EMPRESA DIALUM..... 17

3.1 UBICACIÓN GEOGRAFICA DE LA PLANTA:..... 18

3.2 PROCESOS PRODUCTIVOS 19

4. ASPECTOS RELEVANTES DEL MANTENIMIENTO 23

4.1 INDICADORES DE RENDIMIENTO 24

4.2 NORMAS IMPORTANTES 26

Conceptos API 580- 581: 26

4.2.1 conceptos ISO 14224: 26

CAPÍTULO IV: DISEÑO DE SOLUCIÓN 28

4. DISEÑO DE LA METODOLOGÍA 29

4.1 REVISIÓN NORMA API 580- 581 30

4.2 DETERMINACIÓN DE CRITICIDAD EN LOS EQUIPOS 31

4.3 ANÁLISIS DE CRITICIDAD 32

NORMA ISO 14224..... 38

Sistema de compilación y análisis de futuros fallos:..... 38

5. IMPLEMENTAR EL SISTEMA DE RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS. 40

5.2 BUSCADOR DE SOLUCIONES..... 44

5.3 Tipos de técnicas de mantenimiento predictivo:..... 44

5.4 VENTAJAS DE LA TÉCNICA PREDICTIVA 45

5.6 IMPLEMENTACIÓN TÉCNICA MANTENIMIENTO PREDICTIVO: ANÁLISIS DE VIBRACIONES 47

GUÍA GENERAL PARA IMPLEMENTAR LA TÉCNICA PREDICTIVA: ANÁLISIS DE VIBRACIONES..... 48

CAPÍTULO V: EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA..... 50

6 EVALUACIÓN ECÓNOMICA EN BASE A LA TÉCNICA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO 51

COTIZACIÓN CON PROVEEDORES 55

FLUJO DE CAJA ECÓNOMICO..... 58

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 60

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Logo Dialum. 17

Ilustración 2 Fachada planta Dialum Talcahuano..... 18

Ilustración 3 Ubicación geográfica planta Dialum..... 18

Ilustración 4 Proceso de corte..... 20

Ilustración 5 Equipo de pulido. 20

Ilustración 6 Equipo de lavado y secado..... 21

Ilustración 7 Equipo laminado o "Calandra". 22

Ilustración 8 Autoclave..... 22

Ilustración 9 Tabla comparativa Ventajas y desventajas del mantenimiento predictivo. 29

Ilustración 10 Tabla matriz de criticidad 33

Ilustración 11 Nivel de criticidad TLT Dialum Concepción..... 36

Ilustración 12 Gráfico Disponibilidad v/s TM mecánico. 54

Ilustración 13 Equipo analizador de vibraciones con sus accesorios. 55

Ilustración 14 Equipo analizador de vibraciones. 56

Ilustración 15 Curso análisis de vibraciones disponible por SKF online. 56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Ponderación Frecuencia de falla (FF). Fuente: Elaboración propia. 34

Tabla 2 Ponderación Impacto operacional (IO). Fuente: Elaboración propia. 34

Tabla 3 Ponderación Flexibilidad operacional (FO). Fuente: Elaboración propia. 34

Tabla 4 Ponderación Costo de mantenimiento (CM). Fuente: Elaboración propia. 34

Tabla 5 Ponderación Impacto en seguridad higiene (ISAH). Fuente: Elaboración propia 35

Tabla 6 Análisis de criticidad equipo TLT. 35

Tabla 7 Datos del equipo. 42

Tabla 8 Datos de la avería. 43

Tabla 9 Datos de mantenimiento. 43

Tabla 10 Disponibilidad equipos Dialum. 53

Tabla 11 Tabla de costos implementación técnica predictiva. 57

SIGLA Y SIMBOLOGÍA

API: Instituto americano del petróleo.

ISO: Organización internacional de normalización.

MP: Mantenimiento Predictivo.

IBR: Inspección basada en riesgo.

VAN: Valor Actual Neto.

PVB: Polivinilo butiral

KPI: Indicador clave de rendimiento ó en sus siglas en ingles Key Performance Indicator

TM Mecánico: Tiempo muerto mecánico.

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento predictivo es clave y fundamental para poder garantizar la disponibilidad de los activos, reducir el costo del mantenimiento y reducir/ minimizar los tiempos de inactividad. Basando esta estrategia de mantenimiento en el monitoreo continuo de los equipos en tiempo real, utilizando tecnologías avanzadas para detectar y predecir posibles fallas y anomalías antes de que ocurran.

El mantenimiento predictivo ofrece beneficios enormes, no se puede olvidar que su implementación requiere el diseño y la aplicación de una metodología que además de sólida, pueda ser adaptada a las características específicas de cada organización y sector industrial. Es por ello que es importante mencionar que una metodología eficiente debe considerar aspectos clave; los cuales son: la selección adecuada de técnicas de monitoreo, la gestión eficaz de datos, el análisis avanzado de información y la toma de decisiones basada en resultados.

Por lo tanto, es clave poder definir el alcance y limitaciones que se dispone. Su alcance es brindar a las organizaciones una guía clara y detallada para diseñar e implementar una metodología efectiva que maximice la disponibilidad de los activos, reduzca los costos de mantenimiento y optimice las operaciones de la industria. Las limitaciones van netamente relacionadas a la aplicación directa de las normas guía, como lo son la API 580- 581 y la ISO 14224.

CAPÍTULO I: OBJETIVOS DEL PROYECTO

1. OBJETIVO GENERAL

Generar un diseño de una metodología de mantenimiento predictivo para la empresa Dialum Concepción, con el fin de mejorar la confiabilidad operacional y reducir los costos asociados al mantenimiento de equipos.

1.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS

-Diseñar una metodología de mantenimiento predictivo que se adapte a las necesidades de la industria.

-Analizar ventajas y desventajas de la implementación del mantenimiento predictivo en la industria, considerando factores como la reducción de tiempos de inactividad, la optimización de los costos de mantenimiento y la mejora de la confiabilidad operacional.

-Realizar un análisis de criticidad de los equipos de la planta, con el fin de identificar los equipos críticos que requerirán monitoreo predictivo.

-Establecer indicadores de rendimiento KPI relacionados con la disponibilidad y confiabilidad de los equipos.

-Realizar la evaluación económica de la propuesta de metodología de mantenimiento predictivo en cuanto a costo-beneficio, considerando la inversión inicial requerida, los ahorros potenciales en costos de mantenimiento y los beneficios derivados de una mayor confiabilidad operacional.

CAPÍTULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Dialum Laminated Concepción es una planta vidriera que tiene aproximadamente 5 años de funcionamiento. Hasta el momento la planta ha centrado su enfoque de mantenimiento únicamente en el mantenimiento preventivo, excluyendo el mantenimiento predictivo de sus practicas habituales. Esta omisión ha generado inconvenientes significativos, dado el carácter vital de la industria y la necesidad de garantizar la eficacia optima de sus equipos.

Dado que Dialum Laminated Concepción es una industria de gran importancia y uso en el medio, es fundamental implementar una metodología de mantenimiento predictivo para asegurar el funcionamiento adecuado de sus componentes. Además, es crucial tener un control exhaustivo sobre los equipos críticos para reducir el riesgo humano y mejorar la eficiencia operativa.

La falta de mantenimiento predictivo ha resultado en un impacto negativo en la gestión de activos de la planta, lo que a su vez ha dado lugar a costos operativos mas elevados y una menor productividad. Por lo tanto, es importante desarrollar una metodología de mantenimiento predictivo que pueda aplicarse de manera efectivo en la mayoría de los equipos presentes en la industria.

Esta propuesta de diseño tiene como objetivo principal elaborar una metodología que sea de utilidad para gran parte de los equipos de la planta, proporcionando un marco estructurado que garantice la fiabilidad operativa, reduzca los costos de mantenimiento y mejore la productividad general de la planta.

2.2 MOTIVACIÓN Y JUSTIFICACIÓN

2.2.1 MOTIVACIÓN

El alcance de este informe se centra en la elaboración de una propuesta de diseño de una metodología de mantenimiento predictivo para la planta Dialum Concepción.

- La motivación detrás de esta propuesta surge al identificar la ausencia de un sistema de mantenimiento predictivo en la planta Dialum.
- El objetivo principal de esta propuesta es diseñar una metodología eficiente que contribuya a minimizar los costos operativos de la compañía, haciendo uso de las técnicas y recursos disponibles en el mantenimiento predictivo.

2.2.3 JUSTIFICACIÓN

La justificación de mi memoria se fundamenta en la necesidad de resaltar la importancia del mantenimiento predictivo para las operaciones industriales y empresariales. Al aplicar esta metodología se logra incrementar la disponibilidad y fiabilidad de los equipos, lo que tiene un impacto directo en la eficiencia operativa. De acuerdo con John Moubray, autor y destacado en el campo, la implementación del mantenimiento predictivo puede elevar la confiabilidad operativa de los equipos hasta un 10%. Por ende, es crucial que la empresa reconozca la relevancia de adoptar este enfoque, ya que, no solo optimiza la gestión de activos, sino que también reduce los costos asociados a las fallas no planificadas y periodos de inactividad.

En conclusión, mi investigación busca respaldar la necesidad de priorizar el mantenimiento predictivo como una estrategia integral para mejorar la eficacia y competitividad de la empresa en el entorno actual.

**CAPÍTULO III: ANTECEDENTES DE DIALUM Y EL MANTENIMIENTO
PREDICTIVO.**

3. EMPRESA DIALUM

Dialum SA, fue fundada en Talcahuano en el año 1987 como una empresa de distribución de cristales en la zona sur del país, durante el tiempo ha evolucionado considerablemente desde entonces. La casa matriz se trasladó a Santiago, expandiéndose en cuanto a la cantidad de m² de la planta y en la aplicación de nuevas tecnologías para el proceso de transformación de cristales.

Un hito significativo ocurrió en 2011 con la inauguración de una planta con más de 20.000 metros cuadrados, consolidándose como una de las principales procesadoras de cristales en arquitectura de alto rendimiento en el cono sur. Desde entonces, Dialum ha diversificado su oferta, incluyendo vidrios anti-fuego, antideslizantes, lacados y micro persianas, entre otros productos.

Con dos plantas productivas ubicadas estratégicamente en Santiago y Concepción, Dialum se destaca por su vanguardismo en el rubro de la cristalería. Esta capacidad innovadora le permite satisfacer tanto las demandas internas como las del mercado extranjero. Entre sus clientes se encuentran países como Argentina, Brasil, Panamá y Venezuela, destacando su presencia y reconocimiento a nivel regional.



Ilustración 1 Logo Dialum.

Fuente: www.dialum.com/empresa

3.1 UBICACIÓN GEOGRAFICA DE LA PLANTA:

La sede Dialum Concepción de la cual se realiza esta metodología de mantenimiento se ubica en La región del Bio bío, específicamente la ciudad de Concepción, autopista a Talcahuano Paicaví 3265 como referencia está ubicada frente a la Universidad católica de la santísima concepción. La cual se divide en dos áreas, la primera planta que nace con la sucursal en Concepción se encarga de generar cristales termo paneles, y por el otro lado se desarrolla el área de cristales para aplicaciones de construcción denominados cristales laminados los cuales se exportan en su mayoría. Esto debido a que todo el proceso y las características del producto cumplen con los requerimientos para ser consideraciones cristales de seguridad.



Ilustración 2 Fachada planta Dialum Talcahuano.

Fuente: www.dialum.com/catalogo

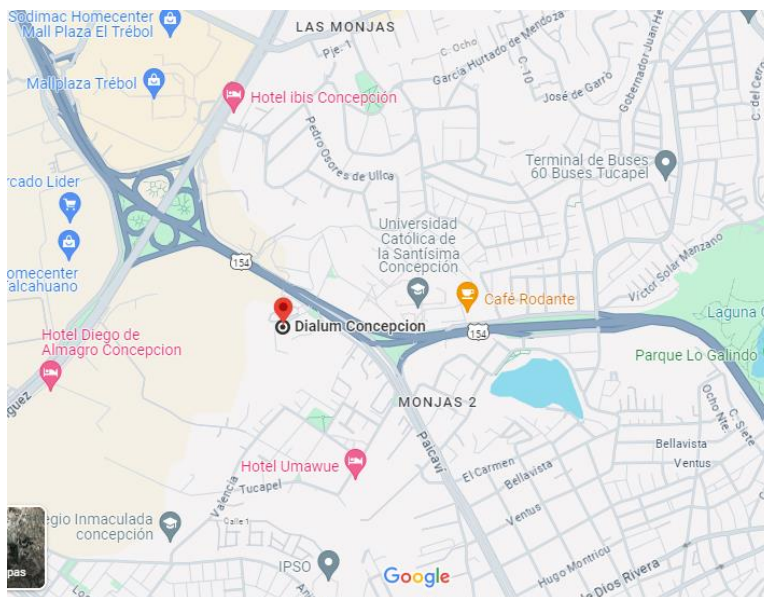


Ilustración 3 Ubicación geográfica planta Dialum.

Fuente: Google maps

3.2 PROCESOS PRODUCTIVOS

Dialum concepción se centra en la generación de cristales DUALSAFE o Vidrio laminado de seguridad el cual consiste en el ensamblaje de dos o más láminas de vidrio monolíticos intercalados por varias láminas de Polivinilo butiral (PVB). La diferencia que tiene este vidrio con el resto es que al sufrir roturas las esquilas se adhieren al PVB de esta manera se disminuye el riesgo por fragmentos de vidrio.

La planta Dialum concepción cuenta con una serie de procesos productivos lo cual hacen posible cumplir con su objetivo.

- 3.2.1 Proceso de corte: este proceso se encarga de dimensionar las planchas que provienen de Vidrios Lirquen, hasta la dimensión que solicita el cliente. (en el caso de los cristales monolitos). Para el cristal laminado se manejan tanto las planchas completas como las que pueden presentar defectos, de esa manera se aprovecha al máximo el área disponible al proporcionar dimensiones más pequeñas, las cuales son adecuadas para satisfacer las necesidades de clientes nacionales e internacionales. Todo este trabajo es llevado a cabo por un equipo de corte CNC de la marca Liseck.



●●● Mesa de Corte.

Ilustración 4 Proceso de corte.

Fuente: www.dialum.com/catalogo

3.2.1.1 Proceso de pulido: El proceso de pulido se encarga de perfilar las cuatro esquinas del cristal con el fin de garantizar tanto su manipulación segura como su cumplimiento con los más altos estándares de calidad, evitando la aparición de defectos durante los tratamientos posteriores. Este proceso se lleva a cabo mediante una maquina pulidora manual equipado con bandas abrasivas dobles y un sistema de bombeo de agua que permite realizar un lijado en condiciones húmedas. El cristal es sometido a un lijado tanto en su parte superior como su parte inferior, mientras que para lijar las cuatro esquinas la plancha se gira manualmente mediante un operario cualificado.



Ilustración 5 Equipo de pulido.

Fuente: www.dialumaltagama/videos

3.2.1.2 Proceso de lavado y secado: el proceso consiste en la eliminación de impurezas y partículas presentes en los cristales provenientes del distribuidor, con el fin de

obtener un producto final limpio. Este procedimiento se lleva a cabo a través de cuatro etapas, cada una equipada con dos aspersores ubicados tanto en la parte superior como inferior, junto con dos rodillos en posiciones correspondientes. Adicionalmente el equipo de secado se encarga de purificar y calentar el aire tomado de la parte superior del equipo, filtrándolo para evitar la contaminación por partículas. Este aire tratado se distribuye en forma de cortina para asegurar un secado uniforme del laminado.

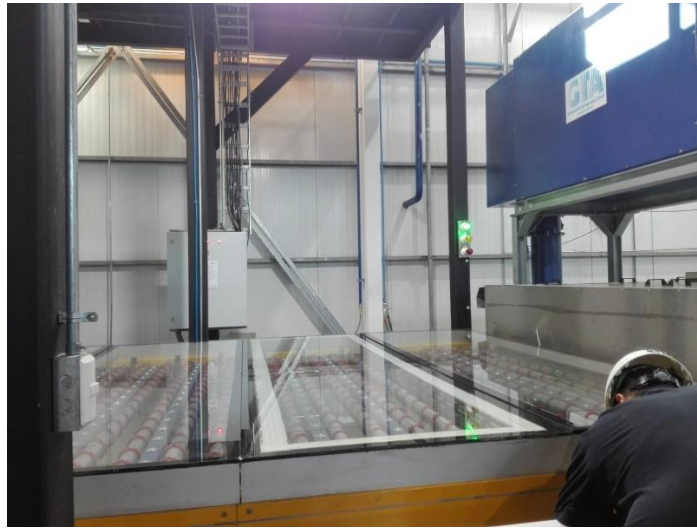


Ilustración 6 Equipo de lavado y secado.

Fuente: Elaboración propia, colaboración Cristales Dialum.

3.2.1.3 Proceso de laminado: este proceso se divide en dos etapas cruciales, en la primera etapa los operarios realizan manualmente el ensamblaje del cristal laminado en una sala limpia, un entorno especialmente aislado para prevenir la contaminación. Este proceso implica levantar una plancha de cristal mediante una maquina neumática de presión negativa, luego se coloca una lámina de PVB entre dos planchas de cristal para formar un “sándwich”. En la segunda etapa se lleva a cabo la adherencia de las diferentes capas que componen el cristal, utilizando un equipo llamado “calandra”. La calandra consta de dos rodillos que aplican presión en dos fases: fría y caliente, en la primera fase se ejerce presión en frio para eliminar el aire atrapado entre las capas de cristal y el PVB, logrando una adherencia mecánica sin necesidad de temperatura. En la segunda fase se aumenta la temperatura mientras se aplica presión, lo que permite una adhesión termodinámica y sella los bordes para evitar la entrada de aire en el laminado.



Ilustración 7 Equipo laminado o "Calandra".

Fuente: Elaboración propia, Colaboración Cristales Dialum.

3.2.1.4 Autoclave: en este proceso el autoclave opera en un entorno semi- aislado donde se incrementa la presión aproximadamente a 4 bar. Esta presión se mantiene constante durante varias horas. Mientras los cristales en su interior son expuestos a temperaturas alrededor de 135°C. Posteriormente se procede a un proceso de enfriamiento casi simultaneo. Estas condiciones son ajustadas de acuerdo con los requisitos específicos de cada tipo de laminado.



Ilustración 8 Autoclave.

Fuente: YouTube Dialum Chile video "Laminado Autoclave cristales Dialum"

3.2.1.5 Proceso de Lavado y grabado: Para concluir el proceso de tratamiento del cristal este pasa a través de un segundo equipo de lavado de dimensiones más reducidas.

Aquí los cristales son limpiados minuciosamente en preparación para una revisión final. Posteriormente se procede a grabar el logo de la empresa en cada una de las piezas.

En esta etapa se procede a realizar el ultimo control de calidad para luego proceder a su distribución.

3.2.1.6 Proceso de enhuinchado: Ya listos con su etapa de control de calidad los cristales se proceden a enhuinchar de manera manual, esta etapa la realiza un operario. Para luego ser almacenado para su posterior distribución.

4. ASPECTOS RELEVANTES DEL MANTENIMIENTO

El mantenimiento general: es el conjunto de actividades que permiten en forma económica, la operación segura y eficiente de un equipo, con tendencia a evitar las fallas imprevistas. De este mantenimiento se derivan tipos de mantenimiento, los cuales son:

Mantenimiento correctivo: consiste en solicitudes del servicio técnico en respuesta a avisos sobre el mal funcionamiento de algún equipo, activo o proceso. Comprende un grupo de tareas de índole técnica cuyo propósito es corregir los fallos que sobrevienen en el funcionamiento de la maquinaria. Las solicitudes son solicitadas de forma inesperada y no forman parte de un plan de mantenimiento programado.

Mantenimiento preventivo: consiste en la realización de labores de mantenimiento programadas periódicamente con el fin de evitar futuras anomalías e imprevisto. Las ventajas y/o beneficios de este tipo de mantenimiento, encontramos: posibilidad de detectar puntos de mejora, el aumento de la fiabilidad de los procesos productivos, o la disminución de los daños tanto en producción como en instalaciones y maquinaria.

Y llegamos al mantenimiento predictivo: es una técnica que utiliza herramientas y técnicas de análisis de datos para detectar anomalías en el funcionamiento y posibles defectos en los

equipos y procesos, de modo que puedan solucionarse antes de que sobrevenga el fallo. Este tipo de mantenimiento nos ofrece múltiples ventajas significativamente competitivas con respecto a los otros tipos de mantenimientos en el ámbito de la industria 4.0, como, por ejemplo: el aumento de la vida útil de la maquinaria gracias a la previa detección de fallos e implementación de soluciones, la disminución de costes al evitar tener que sustituir una máquina por completo, y el óptimo rendimiento de la producción al evitar las alteraciones en el rendimiento.

4.1 INDICADORES DE RENDIMIENTO

Los indicadores de rendimiento o Key Performance Indicator (KPI'S) en inglés es una forma de medir acciones o conjuntos de iniciativas para saber que tan efectivas son de acuerdo con los objetivos propuestos. Un indicador para ser establecido debe tener 5 características de acuerdo con el modelo SMART, debe ser específico, medible, alcanzable, relevante y temporal.

Para este proyecto los KPI'S serán utilizados para poder establecer bases para controlar una posible implementación de la metodología de mantenimiento y establecer un punto de partida para así poder cuantificar la situación actual y posterior de la empresa.

Los siguientes indicadores son los más comunes en mantenimiento y los que se utilizarán.

4.1.1 Disponibilidad.

Es la capacidad de un activo o componente para realizar una función requerida bajo condiciones dadas para un intervalo de tiempo acordado. Se calcula mediante la siguiente fórmula.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Horas totales} - \text{Horas paradas de mantenimiento}}{\text{Horas totales}}$$

Sin duda uno de los indicadores más importante ya que una tasa de disponibilidad alta corresponde una mayor producción y a su vez mayores ingresos, con esta propuesta de mantenimiento y su implementación se estima aumentar esta cifra de forma que justifique los costos de su implementación.

4.1.2 Tiempo medio de reparación (MTTR)

El tiempo medio de reparación o Mean Time To Repair en inglés (MTTR), representa el tiempo necesario para reparar una falla y volver a su funcionamiento, expresado en otras palabras, indica la facilidad para reparar un equipo, un valor bajo de este promedio nos puede indicar si usar hasta fallar o de lo contrario tomar medidas para su reparación en cuanto a mejorar protocolos o almacenar piezas fundamentales para el equipo.

Para calcular se debe emplear la siguiente formula:

$$TTR = \text{Tiempo total de mantenimiento} / \text{Numero de repaciones}$$

4.1.3 Tiempo medio entre fallas (MTBF)

El tiempo medio entre fallas o Mean Time Between Failures en inglés (MTBF), es un dato del promedio del tiempo transcurrido entre una falla y la siguiente, estas averías se relacionan directamente con factores del mantenimiento, mientras más elevado sea el MTBF, la fiabilidad del funcionamiento del equipo aumenta. Para calcular se debe utilizar la siguiente formula.

$$TBF = \text{Tiempo total disponible} - \text{Tiempo de inactividad} / \text{Numero de paradas}$$

4.1.4 Aumento de la Confiabilidad en un 10%

El indicador de confiabilidad mejorada es una medida cualitativa que evalúa el impacto del mantenimiento predictivo en la confiabilidad operativa de los equipos en Dialum.

Una mejora en la confiabilidad se reflejará en una disminución de los tiempos de inactividad no planificados, una reducción en las reparaciones de emergencia, y una mayor estabilidad en la operación general de los equipos. La retroalimentación positiva de los empleados y la disminución en las quejas relacionadas con el rendimiento de los equipos también serán indicadores de una mayor confiabilidad.

El indicador de confiabilidad mejorada es fundamental para demostrar el valor del enfoque de mantenimiento predictivo. Proporciona una medida cualitativa del

impacto positivo en la eficiencia operativa y la satisfacción del cliente al reducir los tiempos de inactividad y mejorar la disponibilidad de los equipos.

4.2 NORMAS IMPORTANTES

Las normas importantes que se preocupan de abalar y respaldar la investigación es la norma API 580, API 581 y la norma ISO 14224.

Conceptos API 580- 581:

Riesgo: es la combinación de la probabilidad de algún evento que ocurre durante un periodo de tiempo de interés y las consecuencias (generalmente negativas) asociadas con el evento. En términos matemáticos, el riesgo puede ser calculado por la ecuación:

$$\text{Riesgo} = \text{Probabilidad} \times \text{Consecuencia}$$

Inspección basada en riesgo: Es una evolución del riesgo y el proceso de administración que se enfoca en la pérdida de la capacidad de contención del equipo presurizado en instalaciones de procesamiento debido al deterioro del material. Estos riesgos se administran principalmente a través de inspección al equipo.

4.2.1 conceptos ISO 14224:

Los conceptos involucrados están netamente relacionados y extraídos de la norma ISO 14224.

4.2.2 Disponibilidad: capacidad que tiene un aparato de desempeñar una función requerida bajo determinadas condiciones, en un momento determinado o durante un intervalo de tiempo específico, asumiendo que existan los recursos externos requeridos.

4.2.3 Tiempo activo de mantenimiento: aquella parte del tiempo de mantenimiento durante la cual se realiza una acción de mantenimiento a un aparato específico ya sea de manera automática o manual, sin considerar retrasos logísticos.

4.2.4 Mantenimiento correctivo: mantenimiento que se lleva a cabo después de haber reconocido la existencia de una avería, a fin de devolver a la pieza de equipo aquel estado que le permita realizar una función requerida.

4.2.5 Falla crítica: falla de una unidad de equipo que origina un cese inmediato de la capacidad de realizar su función.

4.2.6 Recolector de datos: persona u organización a cargo del proceso de recolección de datos.

4.2.7 Estado de inactividad: estado de un aparato que se caracteriza por presentar una falla o una posible incapacidad para cumplir una función específica durante el mantenimiento preventivo.

4.2.8 Tiempo de inactividad o tiempo muerto: intervalo de tiempo durante el cual un aparato se encuentra en estado de interrupción.

4.2.9 Avería: incapacidad de un aparato para cumplir la función requerida.

4.2.10 Causa de avería: circunstancias que hayan generado una avería durante el diseño, fabricación o uso.

4.2.11 Falla: estado de un aparato que se caracteriza por su incapacidad para cumplir una función requerida, excepto cuando esto ocurra durante el mantenimiento preventivo u otras acciones previstas, o debido a la falta de recursos externos.

4.2.12 Parte mantenible: aparato que constituye una parte o ensamblaje de partes, que generalmente se encuentra en el nivel más inferior de la jerarquía durante el mantenimiento.

4.2.13 Mantenimiento: combinación de acciones técnicas y administrativas, incluyendo supervisión, cuyo fin es mantener o reparar el aparato para que opere en un estado que le permita realizar las funciones requeridas.

4.2.14 Avería no crítica: avería de una unidad de equipo que no causa la interrupción inmediata de la capacidad para cumplir la función requerida.

4.2.15 Estado operativo: estado en el que un aparato cumple una función requerida.

4.2.16 Tiempo operativo: intervalo de tiempo durante el cual un aparato está en estado operativo.

4.2.17 Mantenimiento preventivo: mantenimiento realizado a intervalos predeterminados o según criterios prescritos, y cuyo fin es reducir la probabilidad de avería o el deterioro del funcionamiento de un aparato.

CAPÍTULO IV: DISEÑO DE SOLUCIÓN

El diseño de solución de la esta propuesta de metodología orientada al mantenimiento en la planta Dialum está orientada y enfocada en que se puedan cumplir los objetivos específicos propuestos al inicio.

El primer objetivo específico es el análisis de los dos puntos ya sea la ventaja y la desventaja que presenta implementar el mantenimiento predictivo:

Ventajas y desventajas de la implementación del mantenimiento predictivo en la industria:

Ventajas	Desventajas
Reducción de costes de mantenimiento	El costo inicial es sumamente alto ya que, se requiere de diversos equipos (analizadores de vibraciones, cámara termográfica, analizador de aceite, entre otros)
Aumento de la disponibilidad de los equipos	Se necesita de personal calificado para la operación de los equipos de medición, y también trabajadores para que hagan recolección de datos cada vez que se requiera.
Aumenta la vida útil de los equipos (optimizando la inversión en la industria)	Necesidad de datos históricos, para desarrollar un modelo predictivo preciso en la mayoría de las veces se necesita datos históricos los que pueden ser un problema para industrias poco estructuradas.
Reduce los tiempos de inactividad, aumentado la productividad (mejorando las condiciones de la maquina respecto al funcionamiento).	
Mayor seguridad en las operaciones.	

Ilustración 9 Tabla comparativa Ventajas y desventajas del mantenimiento predictivo.

Fuente: Elaboración propia.

4. DISEÑO DE LA METODOLOGÍA

Para realizar la metodología se utilizará de guía la norma API 580 la cual ayuda a evaluar los riesgos de falla de los equipos identificando los equipos críticos. La API 581 la cual ayuda a seleccionar las técnicas de monitoreo de condiciones más apropiadas y efectivas para los equipos identificados con la API 580 y la norma ISO 14224 la cual puede ser útil para estandarizar la recopilación y análisis de datos de mantenimiento lo que permitirá tomar decisiones sobre el estado y rendimiento de los equipos.

4.1 REVISIÓN NORMA API 580- 581

Para comenzar se debe hacer revisión de la norma API 580 y API 581 sobre la inspección basada en riesgos.

Norma API 580 y API 581: es una herramienta que se encarga de asegurar la integridad y el bienestar de los equipos estáticos de una planta, tanto presurizados (presión +0.5bar) como estructurales.

El análisis de Inspección basada en riesgo (IBR) está dirigido al mantenimiento de la integridad mecánica de los equipos que están sujetos a presión y minimizar el riesgo de una fuga debido al deterioro.

De acá nace la incógnita, **¿Para qué se necesita la inspección basada en riesgo?**

Se necesita la inspección basada en riesgo para:

- 1) Reducir el riesgo de fallas de alta consecuencia.
- 2) Mejorar la rentabilidad de los recursos de inspección y mantenimiento.
- 3) Proporcionar una base para la transferencia de recursos de menor a equipos de mayor riesgo.
- 4) Medir y comprender los riesgos asociados a los programas de inspección en curso.

De estas normas se considera:

De acuerdo con las normas API 580 y API 581 de la inspección basada en riesgo se pueden definir como crítico a los siguientes tipos de equipos presurizados (de los cuales sus componentes asociados son cubiertos por este documento):

- a. Recipientes Presurizados—todos los componentes que contengan presión.
- b. Tubería de Proceso—Tubos y componentes de la tubería
- c. Tanques de Almacenamiento—atmosféricos y presurizados.
- d. Equipos rotatorios—componentes que contienen presión
- e. Hervidores y Calentadores—componentes presurizados
- f. Intercambiadores de Calor (Cuerpos, cabezotes, canales, etc.)
- g. Dispositivos de alivio de presión

4.2 DETERMINACIÓN DE CRITICIDAD EN LOS EQUIPOS

La API 580, que se centra en la Inspección Basada en Riesgo (RBI), proporciona un marco y una metodología para determinar la criticidad de un equipo.

La determinación de la criticidad de un equipo en la API 580 se basa en la evaluación de riesgos, y se utiliza para identificar qué equipos requieren una atención especial en términos de inspección y mantenimiento.

A continuación, se describen los pasos generales que la API 580 sigue para determinar la criticidad de un equipo:

4.2.1 Identificación del equipo a evaluar: lo primero es identificar el equipo o componente que se va a evaluar.

4.2.2 Evaluación de consecuencias de la falla: Se analizan las posibles consecuencias de la falla del equipo en términos de: seguridad, salud, medio ambiente, producción, entre otros.

- Seguridad: se evalúa el potencial impacto en la seguridad de los trabajadores y la comunidad.
- Medio ambiente: se analiza como una falla del equipo podría afectar en el medio ambiente, incluyendo derrames, fugas de sustancias peligrosas y contaminación.
- Producción: se considera como la falla en el equipo podría afectar en la producción, la capacidad de la planta para operar y cumplir con los objetivos de la producción.
- Costos: se estiman los costos directos e indirectos que resultarían en la falla de un equipo, incluyendo reparaciones, fallas de producción, tiempo de inactividad, etc.
- Las consecuencias se clasifican en función de su gravedad, desde leves hasta graves.

4.2.3 Evaluación de la probabilidad de falla: Se determina la probabilidad de que el equipo falle. Esto involucra considerar factores como la edad del equipo, el historial de inspecciones, los modos de falla potenciales y otros factores que pueden influir en la probabilidad de falla.

- Historial de mantenimiento e inspección: se revisa el historial para reevaluar su condición actual y la efectividad de las actividades de mantenimiento previo.

- Edad y tiempo de servicio: la antigüedad del equipo puede influir en su probabilidad de falla debido al envejecimiento y la degradación del equipo.
- La probabilidad de falla se clasifica en función de su grado, desde baja hasta alta.

4.2.4 Determinación de la Criticidad: Con base en la clasificación del riesgo obtenida en el paso anterior, se determina si el equipo se considera crítico o no. Los equipos con un nivel de riesgo más alto generalmente se consideran críticos y requieren una atención especial en términos de inspección, monitoreo y mantenimiento.

4.3 ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Consideramos: la frecuencia de falla (FF), el impacto operacional (IO), la flexibilidad operacional (FO), el costo de mantenimiento (CM), el impacto en seguridad ambiente higiene (ISAH). las ponderaciones son creadas respecto a criterios de cada planta según los factores que se quieran enfocar.

El cálculo de criticidad es el siguiente:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia de falla} * \text{Consecuencia}$$

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto operacional} * \text{Flexibilidad}) + \text{Costos} + \text{Impacto Seguridad y Medio ambiente.}$$

Luego, en la matriz se procede a ubicar la cantidad calculada de consecuencia en el eje X y la cantidad de frecuencia de falla en el eje Y.

MATRIZ DE CRITICIDAD

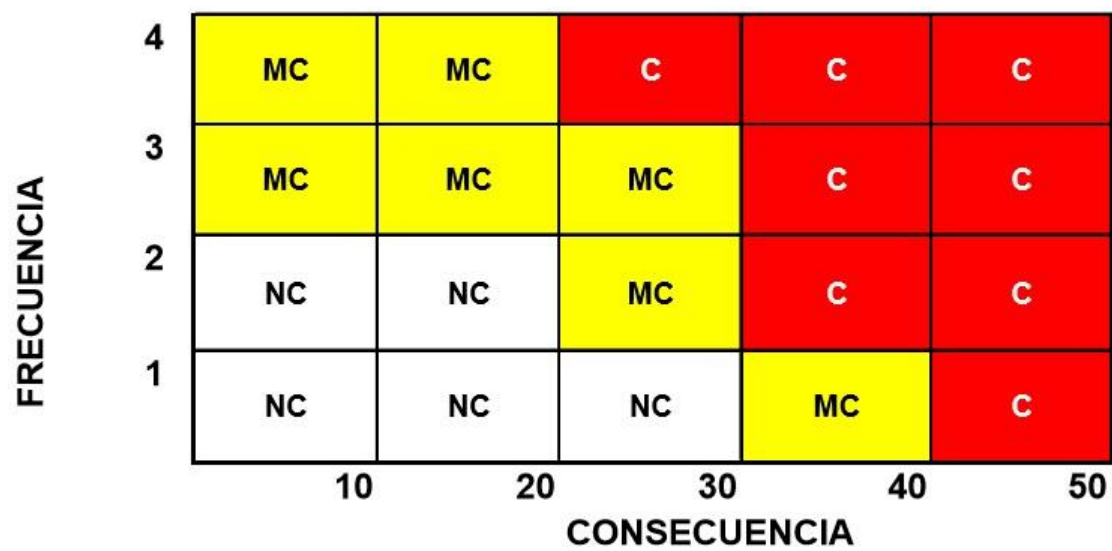


Ilustración 10 Tabla matriz de criticidad

Fuente: Gestión de mantenimiento

Obtenido los resultados se obtienen las conclusiones del proceso. La puntuación que tenga cada equipo nos dará la información para saber si está en la categoría de “CRITICO”, “MEDIANAMENTE CRITICO” y “NO CRITICO”.

4.3.1 Equipos del proceso productivo

Los equipos del proceso productivo por evaluar de la planta Dialum son: Para ver el detallado de los equipos Dirigirse a [Ver ANEXO A: LISTADO DE EQUIPOS]

- TLT
- TRANSPORTE
- LAVADORA
- TAN
- CALANDRA
- TOT
- AUTOCLAVE
- SALA LIMPIA

Una vez que los equipos se encuentran debidamente preparados, se procede a llevar a cabo un análisis de la criticidad de cada uno de ellos. El propósito de este análisis es

definir las prioridades dentro del proceso y determinar la asignación adecuada de recursos. Con este fin, se establecerán factores críticos relevantes para la operación de la planta, los cuales serán evaluados según criterios específicos y se les asignarán ponderaciones correspondientes.

Frecuencia de falla (FF)	Ponderación
Mayor o igual a 8 fallas al mes	4
5 a 7 fallas al mes	3
2 a 4 fallas al mes	2
menor o igual a 1 falla al mes	1

Tabla 1 Ponderación Frecuencia de falla (FF). Fuente: Elaboración propia.

Impacto operacional (IO)	Ponderación
Parada inmediata de toda la producción	10
Afecta más del 50% a la producción	7
Afecta menos del 50% a la producción	4
No afecta a la producción	1

Tabla 2 Ponderación Impacto operacional (IO). Fuente: Elaboración propia.

Flexibilidad operacional (FO)	Ponderación
No se dispone de otros equipos igual o similar	4
El sistema puede seguir funcionando	3
Se dispone de otro equipo igual o similar	2

Tabla 3 Ponderación Flexibilidad operacional (FO). Fuente: Elaboración propia.

Costo de mantenimiento (CM)	Ponderación
Mas de \$2.000.000 de pesos	3
Entre \$800.000 y menos de \$2.000.000 de pesos	2
Menos de \$800.000 de pesos	1

Tabla 4 Ponderación Costo de mantenimiento (CM). Fuente: Elaboración propia.

Impacto en seguridad ambiente higiene (ISAH)	Ponderación
Afecta al medio ambiente produciendo daños reversibles	6
Afecta la seguridad humana	8
Afecta instalaciones causando daños severos	4
Provoca daños menores- accidentes e incidentes	2

Provoca impacto ambiental cuyo afecto no perjudica las normas ambientales	1
No provoca ningún tipo de daño a personas, instalaciones o al ambiente	0

Tabla 5 Ponderación Impacto en seguridad higiene (ISAH). Fuente: Elaboración propia

A modo de ejemplo se evaluará un equipo para luego ubicarlo en la tabla de criticidad según corresponda. Este equipo es TLT.

ANÁLISIS DE CRITICIDAD		
EQUIPO:	TLT	PUNTUACIÓN
Frecuencia de falla		3
Impacto operacional		10
Flexibilidad operacional		2
Costos de mantenimiento		1
Impacto en seguridad ambiente higiene		2
TOTAL		18
Frecuencia de falla		3
CONSECUENCIA		23
CRITICIDAD		MC

Tabla 6 Análisis de criticidad equipo TLT.

Fuente: Elaboración propia, Colaboración Cristales Dialum.

Frecuencia de falla= 3

Consecuencia= (10*2) + 1 + 2 = 23

Criticidad= (3* 23) = 69

Después, se procede a ubicar la cantidad calculada de consecuencia en el eje X y la cantidad de frecuencia de falla en el eje Y.

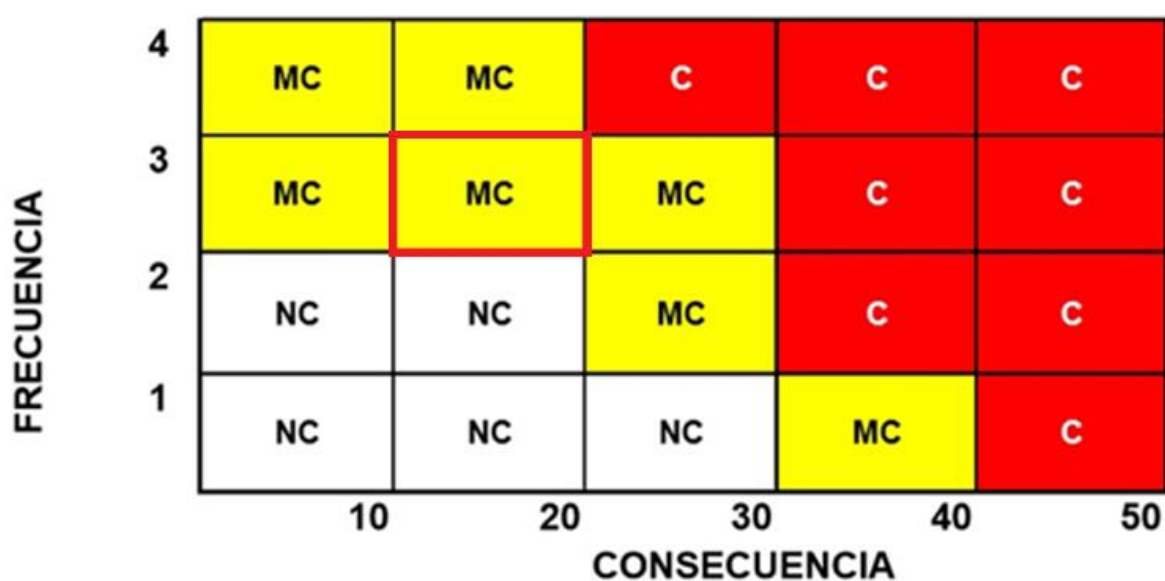


Ilustración 11 Nivel de criticidad TLT Dialum Concepción.

Fuente: Elaboración propia.

Tras la obtención de los resultados, es posible extraer conclusiones respecto a este proceso, en este contexto, se determina la naturaleza del equipo como medianamente crítico, basándose en la evaluación recopilada por el mantenedor de la planta.

Para revisar el análisis de criticidad de cada equipo [Ver ANEXO B: ANÁLISIS DE CRITICIDAD EQUIPOS DIALUM CONCEPCIÓN], los cuales estarán disponibles al final del documento.

EQUIPOS CRITICOS

Tras la obtención de los resultados mediante la matriz de criticidad, trajo como resultado que hay dos equipos críticos en la planta, es el Autoclave y Calandra. También se considerará Lavadora por información proporcionada por el subgerente de la planta.

Concepto de integridad mecánica en los equipos:

Factores a tener en cuenta sobre criticidad en los equipos.

Se debe tener en cuenta que, para determinar la criticidad de un equipo, se deben considerar varios factores, como:

1. Funcionalidad: Evaluar el papel del equipo en el proceso productivo y su impacto en la calidad del producto final. Equipos críticos son aquellos esenciales para la operación principal y que tienen un impacto significativo en la calidad del producto.
2. Seguridad: Analizar el potencial de los equipos para causar accidentes, lesiones o daños a las personas, la infraestructura o el medio ambiente en caso de falla o mal funcionamiento.
3. Confiabilidad: Evaluar la frecuencia y gravedad de las fallas del equipo, así como la disponibilidad y eficiencia de los sistemas de respaldo o redundancia. Equipos con alta probabilidad de fallas o que pueden causar interrupciones prolongadas en la producción suelen ser considerados críticos.
4. Impacto económico: Evaluar el costo asociado con la reparación, reemplazo o mantenimiento del equipo, así como las pérdidas económicas resultantes de su falla, como interrupción de la producción, pérdida de clientes o multas regulatorias.
5. Cumplimiento normativo: Evaluar el grado de cumplimiento de las regulaciones y normativas aplicables al equipo en términos de seguridad, calidad, medio ambiente y salud ocupacional. Equipos que tienen un alto impacto en el cumplimiento de normas y regulaciones suelen ser considerados críticos.

La determinación de la criticidad de los equipos en integridad mecánica se basa en un análisis integral que involucra la experiencia y conocimiento de especialistas en ingeniería, gestión de riesgos y normativas aplicables. Una vez definida la criticidad de los equipos, se pueden establecer estrategias y planes de mantenimiento, inspección y gestión de riesgos específicos para garantizar su integridad y funcionamiento confiable.

NORMA ISO 14224

La norma ISO 14224 proporciona una base sólida para establecer un sistema de gestión de fallas y mejorar la confianza y mantenibilidad de tus equipos a lo largo del tiempo.

Como es una propuesta general para la recolección de datos de los equipos se utilizará la norma ISO 14224.

¿Cuál es su alcance?

Esta norma internacional brinda una base para la recolección de datos de Confiabilidad y Mantenimiento en un formato estándar para las áreas de perforación, producción, refinación y transporte de petróleo y gas natural en oleoductos y gaseoductos, respectivamente.

Al analizar los datos, los parámetros sobre confiabilidad pueden determinarse para su uso en las fases de diseño, operación y mantenimiento.

La norma ISO 14224 es una norma de estandarización que se centra en la recopilación y análisis de datos de fallos de equipos

Implementación de pasos utilizando la norma ISO 14224 y la metodología basada en estudios.

Sistema de compilación y análisis de futuros fallos:

1. Identificación de equipos relevantes: se determina qué equipos son esenciales para el proceso o actividad, esto requiere un seguimiento en términos de confianza y mantenimiento.
2. Definir una estructura de clasificación: Utilizando los códigos y clasificaciones sugeridas en la norma ISO 14224 para categorizar los tipos de fallas, causas y acciones correctivas o preventivas.
3. Establecer procedimientos de recopilación de datos: Definir cómo se recopilarán los datos en el futuro, incluidos los métodos de registro, los formularios o sistemas de captura, y las personas responsables de recopilar la información.

4. Desarrollar un plan de análisis: Definir los métodos y herramientas a utilizar para analizar los datos una vez que se hayan recopilado. Puedes emplear técnicas estadísticas, análisis de tendencias, diagramas de causa-efecto u otras herramientas de análisis de fallos.
5. Implementar el sistema de recopilación y análisis de datos: se comienza a recopilar datos de fallos una vez que los procedimientos y sistemas están en su lugar. Asegurándose de contar con el compromiso de los miembros del equipo y proporcionarle la capacitación necesaria para asegurar una implementación correcta.

A medida que recopila datos en el futuro, podrá utilizar la estructura y los principios de la norma ISO 14224 para clasificar, analizar y tomar decisiones informadas basadas en esos datos.

5. IMPLEMENTAR EL SISTEMA DE RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS.

Para este punto el desarrollo se enfoca principalmente en la ayuda de las tablas que ofrece la ISO 14224.

Pero **¿Por qué implementar el sistema de recopilación y análisis de datos?**

Implementar un sistema de compilación y análisis de futuros fallos basado en la ISO 14224 tiene beneficios significativos para la gestión de activos en una planta industrial donde se utilicen equipos críticos. Las ventajas son muchas, pero acá se mostrarán las más significativas.

- 5.1.1 Mejora de la Confiabilidad de los Equipos: Un sistema de compilación y análisis de futuros fallos permite identificar tendencias y patrones en las fallas de los equipos. Esto facilita la toma de medidas preventivas para abordar los problemas recurrentes y mejorar la confiabilidad de los equipos.
- 5.1.2 Optimización del Mantenimiento: Al recopilar y analizar datos sobre las fallas y el rendimiento de los equipos, puedes optimizar las estrategias de mantenimiento. Esto ayuda a programar mantenimientos preventivos y predictivos de manera más eficiente, reduciendo el tiempo de inactividad no planificado.
- 5.1.3 Reducción de Costos: Al abordar problemas antes de que se conviertan en fallas graves, puede reducir los costos de reparación y reemplazo, así como minimizar los costos asociados a la pérdida de producción.
- 5.1.4 Aumento de la Seguridad: La identificación anticipada de fallos potenciales contribuye a la seguridad en el lugar de trabajo al prevenir accidentes relacionados con equipos defectuosos.

- 5.1.5 Cumplimiento de Normativas y Estándares: Un sistema de este tipo puede ayudar a cumplir con los requisitos de normativas y estándares específicos relacionados con la gestión de activos, la seguridad y el medio ambiente.
- 5.1.6 Toma de Decisiones Informadas: La recopilación y el análisis de datos proporcionan una base sólida para la toma de decisiones relacionadas con la gestión de activos. Puedes priorizar inversiones, recursos y actividades de mantenimiento de manera más informada.
- 5.1.7 Prolongación de la Vida Útil de los Equipos: Al anticipar y resolver problemas, es más probable que prolongue la vida útil de tus equipos, lo que ahorra costos a largo plazo.
- 5.1.8 Mejora en la calidad de los productos fabricados:
La implementación de un sistema de compilación y análisis de datos es esencial para mejorar la confiabilidad de los equipos, optimizar las estrategias de mantenimiento, reducir costos, aumentar la seguridad y garantizar una gestión eficiente de activos. Esto contribuye a la operación exitosa y rentable de la planta industrial.

Ya que se tiene conocimiento de las múltiples ventajas que nos ofrece esta implementación, se procederá a la explicación:

Lo primero que se debe hacer es rellenar la tabla 1- Datos del equipo, con todo lo relevante al equipo en cuestión. (la tabla entrega la información detallada de que específicamente va en cada sección).

Formato 6.3: norma 14224, tabla 1- datos del equipo.

la calidad de los datos.

Tabla 1 – Datos del equipo		
Categorías principales	Subcategorías	Datos
Identificación	Ubicación del equipo	Número de identificación del equipo (*)
	Clasificación	Clase de unidad de equipo, como por ejemplo, compresor (ver anexo A) (*) Tipo de equipo (ver anexo A) (*) Aplicación (ver anexo A) (*)
	Datos de instalación	Código o nombre de la instalación (*) Categoría de instalación; por ejemplo, plataforma, equipo submarino, refinería (*) Categoría de operación; por ejemplo, control a distancia, control manual (*) Área geográfica, por ejemplo, área sur del Mar del Norte, Mar Adriático, Golfo de México, Europa Continental, Oriente Medio.
	Datos de la unidad de equipo	Descripción de la unidad de equipo (nomenclatura) Número único; por ejemplo, número de serie Redundancia de la subunidad; por ejemplo, número de subunidades redundantes.
Diseño	Datos del fabricante	Nombre del fabricante (*) Designación del modelo del fabricante (*)
	Características de diseño	Pertinente para cada clase de equipo; por ejemplo, capacidad, energía, velocidad, presión, ver el anexo A (*)
Aplicación	Operación (uso normal)	Redundancia de la unidad de equipo; por ejemplo 3 x 50 % Modo utilizado durante la fase operativa; por ejemplo, operación continua, estado de espera, abierto/cerrado normalmente, intermitente. Fecha en que se instaló la unidad de equipo o fecha en que se inició la producción Período de monitoreo (tiempo calendario) (*) El tiempo operativo acumulado durante el período de monitoreo. Número de demandas durante el período de monitoreo, según corresponda. Parámetros operativos pertinentes para cada clase de equipo; por ejemplo, energía operativa, velocidad operativa, ver el anexo A.
	Factores ambientales	Condiciones ambientales (severa, moderada, benigna) ^a Ambiente interior (severo, moderado, benigno) ^b
Observaciones	Información adicional	Información adicional en texto general, según corresponda. Fuente de datos; por ejemplo, diagrama de proceso e instrumentación, hoja de datos, sistema de mantenimiento.
^a Características que deben considerarse, es decir, grado de protección del recinto, vibración, neblina salina u otros fluidos externos corrosivos, polvo, calor, humedad. ^b Características que deben considerarse en el caso de un compresor: benigno (gas – limpio y seco), moderado (cierta corrosión por gotas), severo (gas sulfuroso, alto CO ₂ , alto contenido de partículas).		

Tabla 7 Datos del equipo.

Fuente: Norma ISO 14224.

Lo segundo que se debe hacer es rellenar la tabla 2- Datos de la falla, con todo lo relevante a la falla en cuestión. (la tabla entrega la información detallada de que específicamente va en cada sección).

Formato 6.3: norma 14224, tabla 2- datos de la falla.

Tabla 2 – Datos de la avería

Categoría	Datos	Descripción
Identificación	Registro de averías (*)	Identificación de avería única
	Ubicación del equipo (*)	Número de identificación
Datos de la avería	Fecha de la avería (*)	Fecha de detección de la avería (día/mes/año)
	Modo de avería (*)	A nivel de la unidad de equipo (ver anexo A)
	Impacto de la avería en el funcionamiento	Nula, parcial o total (también se pueden incluir aquellas consecuencias que hayan afectado el funcionamiento seguro)
	Clase de severidad (*)	Efecto en el funcionamiento de la unidad de equipo: avería crítica, avería no crítica
	Descriptor de averías	Descriptor de la avería (ver Tabla B.1)
	Causa de la avería	Causa de la avería (ver tabla B.2)
	Subunidad averiada	Nombre de la unidad averiada (ver ejemplos en el anexo A)
	Parte(s) mantenible(s) averiada(s)	Especifique la(las) parte(s) mantenible(s) averiada(s) (ver anexo A)
	Método de observación	Cómo se detectó la avería (ver Tabla B.3)
Observaciones	Información adicional	Brindar más detalles, si estuvieran disponibles, sobre las circunstancias que provocaron la avería (información adicional sobre la causa de la avería).

Tabla 8 Datos de la avería.

Fuente: Norma ISO 14224.

Lo tercero que se debe hacer es rellenar la tabla 3- Datos de mantenimiento, con todo lo relevante al mantenimiento del equipo en cuestión. (la tabla entrega la información detallada de que específicamente va en cada sección).

Formato 6.3: norma 14224, tabla 3- datos de mantenimiento.

Tabla 3 – Datos de mantenimiento

Categoría	Datos	Descripción
Identificación	Registro de mantenimiento (*)	Identificación de avería única
	Ubicación del equipo (*)	Número de identificación
	Registro de la avería (*)	Identificación de la avería correspondiente (sólo mantenimiento correctivo)
Datos mantenimiento del	Fecha del mantenimiento (*)	Fecha en que se realizó el mantenimiento
	Categoría de mantenimiento	Mantenimiento correctivo o mantenimiento preventivo
	Actividad de mantenimiento	Descripción de la actividad de mantenimiento (ver tabla B.4)
	Impacto del mantenimiento en el funcionamiento	Nula, parcial o total (también se pueden incluir aquellas consecuencias que hayan afectado el funcionamiento seguro)
	Subunidad a la que se realizó mantenimiento	Nombre de la subunidad a la que se realizó mantenimiento (ver Anexo A) ^a
	Parte(s) mantenible(s) a la(s) que se realizó mantenimiento	Especifique la(s) parte(s) mantenible(s) a la(s) que se realizó mantenimiento (ver Anexo A)
	Recursos de mantenimiento ^b	Horas-hombre de mantenimiento por disciplina (mecánica, eléctrica, instrumental, otras)
Tiempo mantenimiento de	Total de horas-hombre de mantenimiento	Total de horas-hombre de mantenimiento
	Tiempo de mantenimiento activo	Duración del trabajo de mantenimiento activo realizado al equipo ^c
	Tiempo de inactividad	Intervalo de tiempo durante el cual un aparato se encuentra en estado de inactividad
Observaciones	Información adicional	Brindar más detalles, si estuvieran disponibles, sobre la actividad de mantenimiento, como por ejemplo, tiempo de espera anormal, relación con otras tareas de mantenimiento

Tabla 9 Datos de mantenimiento.

5.2 BUSCADOR DE SOLUCIONES

Las soluciones entregadas se enfocan directamente en las técnicas que ofrece el mantenimiento predictivo.

5.3 Tipos de técnicas de mantenimiento predictivo:

- 5.3.1 **Inspección visual:** Se basa en la observación del equipo para detectar fallos como pueden ser comprobar desgastes, grietas o fisuras, ruidos.
- 5.3.2 **Ultrasonido:** orientada a prevenir la detección de fallos a través de una cámara térmica en evacuación del calor de equipos, detección de humedades, aislamiento de entornos, etc.
- 5.3.3 **Termografía:** La termografía por infrarrojos es una técnica fundamental en mantenimiento eléctrico que se caracteriza por su capacidad de detección de puntos calientes. Y es que, las cámaras termográficas son herramientas que permiten visualizar y analizar los problemas como con ninguna otra tecnología, así como inspeccionar equipos con premura y realizar medidas precisas de temperatura a una distancia de seguridad.
- 5.3.4 **Análisis de lubricantes:** se utiliza para comprobar desgastes de las máquinas y sus componentes, ya que nos permite maximizar el ciclo de vida útil de dicha maquinaria, ahorrando costes al cambiar los lubricantes en el momento exacto a su degradación.
- 5.3.5 **Análisis de vibraciones:** se utiliza para identificar y predecir anomalías mecánicas en maquinaria industrial, midiendo la vibración e identificando las frecuencias involucradas.

5.4 VENTAJAS DE LA TÉCNICA PREDICTIVA

Para poder justificar y diferenciar la técnica escogida con respecto a las demás técnicas se detallan las ventajas que marcan la diferencia y por lo cual se escogió el análisis de vibraciones con respecto a las demás técnicas.

- 5.4.1 Detección temprana de fallas: El análisis de vibraciones puede identificar signos tempranos de desgaste, desequilibrio, alineación incorrecta y otras condiciones anormales en los equipos. Esto permite detectar problemas antes de que se conviertan en fallas catastróficas, lo que ayuda a evitar costosos tiempos de inactividad y reparaciones de emergencia.
- 5.4.2 Diagnóstico preciso: El análisis de vibraciones proporciona información detallada sobre la naturaleza y la causa de las vibraciones en los equipos. Esto ayuda a los técnicos a realizar diagnósticos más precisos, identificar la fuente exacta del problema y tomar las medidas correctivas adecuadas.
- 5.4.3 Amplia aplicabilidad: El análisis de vibraciones es una técnica versátil que se puede aplicar a una amplia gama de equipos y maquinarias, incluyendo motores, bombas, compresores, turbinas, rodamientos, entre otros. Esto lo hace útil en diversas industrias, como la manufactura, la energía, la minería, la industria pesada, entre otras.
- 5.4.4 Monitoreo continuo: El análisis de vibraciones permite el monitoreo continuo de los equipos en tiempo real, lo que permite identificar cambios en las condiciones de funcionamiento y tomar medidas preventivas antes de que se produzcan problemas mayores. Esto ayuda a maximizar la disponibilidad de los equipos ya prolongar su vida útil.
- 5.4.5 Costos de mantenimiento reducidos: Al detectar problemas en etapas tempranas, el análisis de vibraciones ayuda a optimizar los programas de mantenimiento y a reducir los costos asociados. Se pueden realizar intervenciones de mantenimiento planificadas y preventivas en lugar de reparaciones de emergencia costosas y tiempos de inactividad no programados.
- 5.4.6 Mejora de la seguridad: El análisis de vibraciones contribuye a mejorar la seguridad en el entorno de trabajo al identificar problemas potenciales en los

equipos que provocarían accidentes o lesiones. Al abordar estos problemas a tiempo, se reducen los riesgos para los trabajadores y se garantiza un entorno más seguro.

En síntesis, luego de revisar cada una de las ventajas se puede decir que, el análisis de vibraciones ofrece ventajas competitivas más significativas al proporcionar una detección temprana de fallas, un diagnóstico preciso, una amplia aplicabilidad, un monitoreo continuo, una reducción de costos de mantenimiento y una mejora en la seguridad.

Estas ventajas contribuyen a optimizar la eficiencia operativa, minimizar los tiempos de inactividad y mejorar la confiabilidad de los equipos, lo que brinda a las organizaciones una ventaja mayor y de competencia en sus industrias.

5.5 JUSTIFICACIÓN ELECCIÓN DE TÉCNICA PREDICTIVA: ANÁLISIS DE VIBRACIONES

En el contexto de la planta Dialum, donde los equipos principales son de naturaleza rotatoria, la elección de una técnica predictiva como el análisis de vibraciones se justifica plenamente debido a su alta eficacia en la detección temprana de problemas mecánicos en este tipo de equipos. El análisis de vibraciones es una herramienta altamente sensible y específica que permite monitorear las vibraciones mecánicas de los equipos rotativos, lo que a su vez permite identificar desequilibrios, desalineaciones, desgaste de rodamientos, problemas de lubricación y otros problemas mecánicos antes de que causen fallas catastróficas.

Esta técnica proporciona una evaluación detallada del estado de los equipos, permitiendo una intervención preventiva oportuna para minimizar el riesgo de tiempo de inactividad no planificado, maximizar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos.

En resumen, en un entorno donde los equipos rotativos son predominantes, el análisis de vibraciones emerge como la opción más asertiva y eficaz para la implementación de una estrategia de mantenimiento predictivo.

La técnica predictiva más utilizada para monitorear motores y bombas en la industria es el análisis de vibraciones. Esta técnica es ampliamente reconocida por su eficacia en la detección temprana de problemas mecánicos y de funcionamiento en este tipo de equipos.

Algunas de las razones por las que el análisis de vibraciones es tan popular:

- 5.5.1 Sensibilidad a una amplia gama de problemas: El análisis de vibraciones puede detectar una variedad de problemas mecánicos, como desequilibrios, alineaciones incorrectas, desgaste de rodamientos, desgaste de engranajes, fallos de lubricación y problemas de resonancia.

- 5.5.2 Monitoreo no invasivo: El monitoreo de vibraciones es no invasivo y se puede realizar sin interrumpir la operación normal de los equipos. Esto lo hace ideal para realizar inspecciones regulares y continuas.
- 5.5.3 Amplia disponibilidad de equipos y software: Existe una amplia gama de equipos de monitoreo de vibraciones y software de análisis disponibles en el mercado, lo que facilita su implementación y uso en diversas industrias y aplicaciones.
- 5.5.4 Correlación con la vida útil del equipo: Las vibraciones anormales suelen ser indicativas de un deterioro progresivo en los equipos, lo que permite tomar medidas preventivas antes de que ocurra una falla catastrófica y prolongar la vida útil del equipo.

5.6 IMPLEMENTACIÓN TÉCNICA MANTENIMIENTO PREDICTIVO: ANÁLISIS DE VIBRACIONES

5.6.1 Técnica análisis de vibraciones

El análisis de vibraciones es una técnica utilizada en el mantenimiento predictivo para identificar y predecir anomalías mecánicas en maquinaria industrial, midiendo la vibración e identificando las frecuencias involucradas.

Para entender con más profundidad y claridad el tema es importante saber en qué afecta a los equipos que se produzcan vibraciones.

¿En qué les afecta a los equipos que se produzcan vibraciones?

- Aumento de esfuerzos y tensiones.
- Deformaciones superiores al margen elástico (límite de recuperación).
- Fatiga en los materiales.

-Desgaste.

-Ruidos molestos (que generan malas condiciones de seguridad e higiene).

GUÍA GENERAL PARA IMPLEMENTAR LA TÉCNICA PREDICTIVA: ANÁLISIS DE VIBRACIONES

Para mayor entendimiento se procede a detallar una guía general y simplificada, que detalla los puntos más relevantes para la posterior implementación de la técnica predictiva Análisis de vibraciones.

1. Selección de Sensores y Tecnología de Adquisición de Datos:

Elegir sensores de vibración adecuados para su aplicación industrial. (Considerando la instalación de sensores de vibración en las máquinas críticas).

2. Almacenamiento de Datos y Plataforma de Análisis:

Utilizar plataformas de análisis de datos para procesar y visualizar la información.

3. Análisis de Vibraciones:

Implementar algoritmos de análisis de vibraciones para identificar patrones y anomalías, junto con ello utilizar técnicas de aprendizaje automático y análisis estadístico para prevenir posibles fallas.

Muy importante definir umbrales de alarma para detectar desviaciones significativas en el comportamiento normal de la maquinaria.

4. Integración con Sistemas de Mantenimiento Predictivo:

Integrar la información de vibraciones con sistemas de mantenimiento predictivo, para así generar alertas automáticas cuando se detecten problemas potenciales. (las alertas se asocian con acciones específicas de mantenimiento).

5. Implementación de un Sistema de Gestión de Activos:

Es importante utilizar un sistema de gestión de activos con la finalidad de llevar un registro del estado de la máquina y programar intervenciones de mantenimiento.

6. Capacitación del Personal:

Es uno de los puntos más importantes de la guía general ya que, es fundamental proporcionar capacitación a los operadores y personal de mantenimiento sobre la interpretación de los datos de vibración, para así luego mediante la interpretación tomar las acciones preventivas.

7. Iteración y Mejora Continua:

Implementar retroalimentación continua para mejorar la precisión y la eficacia del sistema.

8. Cumplimiento Normativo y Ético:

Asegurarse de cumplir con normativas y estándares relacionados con la seguridad y el manejo de datos.

9. Monitoreo y Evaluación del Rendimiento:

Establecer indicadores clave de rendimiento (KPI) para evaluar la efectividad del sistema

CAPÍTULO V: EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA.

6 EVALUACIÓN ECONÓMICA EN BASE A LA TÉCNICA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Para la implementación del mantenimiento predictivo, hay varios costos que debe considerar. Los cuáles serán detallados a continuación:

6.1 COSTOS PRINCIPALES POR CONSIDERAR

- 6.1.1 Tecnología y equipos de monitoreo: Los sensores, dispositivos de monitoreo, sistemas de adquisición de datos y otras tecnologías necesarias para recopilar los datos de los equipos tienen un costo asociado. Esto puede variar según la cantidad de equipos a monitorear, la complejidad de las tecnologías seleccionadas y los proveedores elegidos.
- 6.1.2 Instalación y configuración: Los costos de instalación y configuración de los equipos de monitoreo también deben ser considerados. Esto incluye la instalación física de sensores, cableado, integración con sistemas de gestión de mantenimiento, configuración de alarmas y umbrales, entre otros aspectos.
- 6.1.3 Capacitación del personal: Es importante invertir en la capacitación del personal que operará y mantendrá el sistema de monitoreo. La capacitación debe cubrir el uso adecuado de las tecnologías de monitoreo, la interpretación de los datos recopilados y las acciones a tomar en función de las alertas generadas.

Es importante tener en consideración que hay tres niveles de analista de vibraciones, el recomendable en este caso es el nivel II, ya que con los conocimientos adquiridos en el curso posee más experiencia para la interpretación de los datos.

Nivel I: Analista de Vibraciones Básico

Capacitación en: fundamentos de vibraciones y técnicas básicas de análisis.

Capacidad para realizar mediciones básicas y análisis preliminares de vibraciones.

Nivel II: Analista de Vibraciones Avanzado

Amplio conocimiento de teoría de vibraciones y técnicas de análisis más avanzadas.

Experiencia en la interpretación de datos de vibraciones y diagnóstico de problemas.

Nivel III: Especialista en Vibraciones

Experto en teoría de vibraciones y técnicas de análisis avanzado.

Capacidad para realizar análisis detallados, diagnósticos precisos y recomendaciones de mantenimiento.

6.1.4 Mantenimiento y soporte: Debe considerar los costos asociados con el mantenimiento y soporte continuo de las tecnologías de monitoreo. Esto incluye servicios de calibración, actualizaciones de software, reparaciones y asistencia técnica.

6.1.5 Infraestructura de TI: Si el sistema de monitoreo requiere una infraestructura de tecnología de la información (TI) específica, como servidores, almacenamiento de datos, entre otros.

6.1.6 Integración con el sistema de gestión de mantenimiento: Si es necesario realizar modificaciones o integraciones con el sistema de gestión de mantenimiento existente, también habrá costos asociados con este proceso.

6.2 COSTOS ADICIONALES POR COSIDERAR

6.2.1 Costos de oportunidad: Considere los costos de oportunidad asociados con la implementación del mantenimiento predictivo. Es posible que la implementación se requiera detener temporalmente la producción o realizar cambios en los procesos, lo que puede afectar la eficiencia y la productividad.

6.2.2 Costos de personal adicional: Excesivo del alcance del proyecto, es posible que necesite contratar personal adicional para administrar y operar el sistema de monitoreo de manera efectiva.

Es importante realizar un análisis detallado de los costos involucrados en la implementación del mantenimiento predictivo y compararlos con los beneficios esperados, como la reducción de costos de mantenimiento, la prevención de fallas importantes, la optimización del uso de los equipos y la mejora de la disponibilidad y confiabilidad de estos.

DISPONIBILIDAD

Para determinar los costos involucrados, es esencial primero evaluar el impacto ocasionado por las detenciones no planificados en el indicador de disponibilidad del proceso de producción.

Dada la carencia de datos concretos, será necesario realizar estimaciones respecto a las horas perdidas.

DISPONIBILIDAD			
MES	TIEMPO DISPONIBLE	TM MECÁNICO	IMPACTO DISPONIBILIDAD
1	200	36,87	82%
2	196	33,98	83%
3	194	39,20	80%
4	186	37,15	80%
5	190	45	76%

80%

Tabla 10 Disponibilidad equipos Dialum.

Fuente: Elaboración propia, Colaboracion Dialum y plan mantenimiento preventivo.

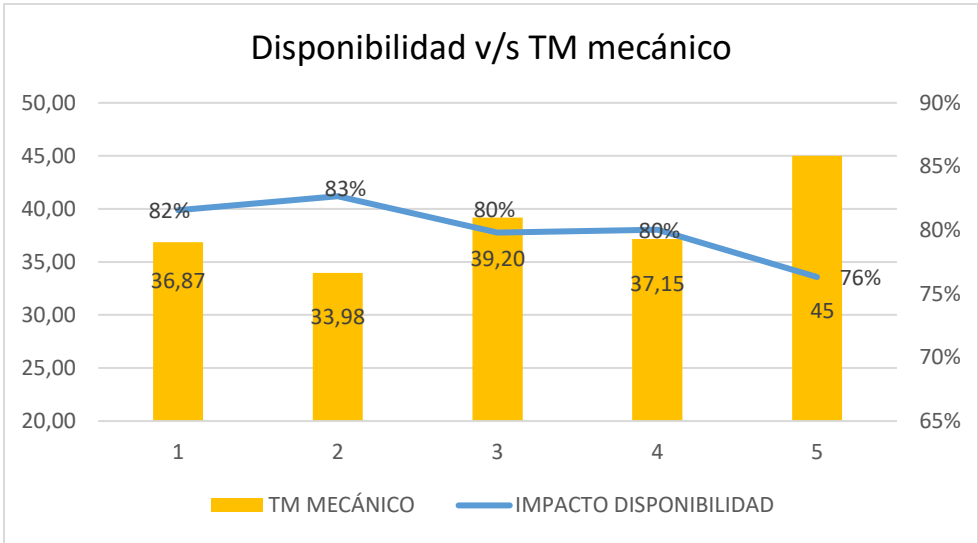


Ilustración 12 Gráfico Disponibilidad v/s TM mecánico.

Fuente: Elaboración propia, Colaboración Dialum y Plan de mantenimiento preventivo.

Interpretación del gráfico:

Según el grafico que muestra el impacto en la disponibilidad, se observa un aumento progresivo en el tiempo muerto mecánico de las maquinas a lo largo de los meses. Esta tendencia contribuye a una disminución en la disponibilidad, dado que estos dos factores son inversamente proporcionales. Este incremento en el tiempo de inactividad puede atribuirse a la falta de mantenimiento programado, lo cual ha ocasionado un incremento en las fallas del proceso. La ausencia de mantenimiento puede traer como consecuencia un aumento en el tiempo de reparación.

AUMENTO EN LA CONFIABILIDAD AL 10%

Esta mejora del 10% se refiere a que se espera una reducción en el tiempo de inactividad no planificado y una mayor disponibilidad de los equipos.

Según el libro ‘‘Mantenimiento centrado en confiabilidad’’ de John Moubray se explica que aplicando las técnicas y beneficios del mantenimiento predictivo en la industria se puede aumentar la confiabilidad llegando alcanzar el 10% lo que significa en un incremento del rendimiento.

COTIZACIÓN CON PROVEEDORES

Para proceder a realizar la tabla de costos, se realizó una ardua investigación mediante paginas confiables de internet de proveedores conocidos, como lo son SKF, Adash, entre otros. En los cuales se tomaron valores de referencia estimativos, son valores aproximados para tener una base de referencia en cuanto a costos.

Detalle de cada valor:

- El valor del curso de análisis de vibraciones nivel II, fue proporcionado directamente de la página de SKF online.
- El valor de equipo medidor de vibraciones es un precio de referencia entre de un equipo con todo lo necesario, y uno más actualizado (valor intermedio).

El equipo que se considera para la propuesta de este proyecto no es la última tecnología como los que ofrecen actualmente en el mercado, pero cumple su función.

- El valor del soporte técnico fue netamente estimativo basándome en investigaciones relacionadas con el tema. (es un valor referencial).



Ilustración 13 Equipo analizador de vibraciones con sus accesorios.

Fuente: Huatec

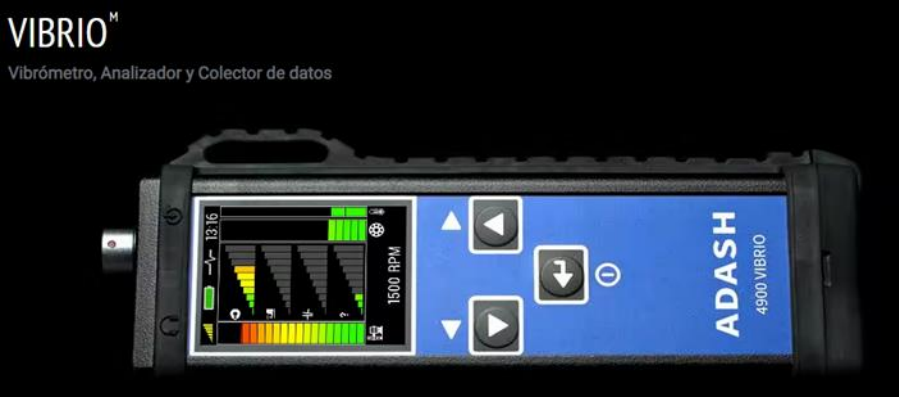


Ilustración 14 Equipo analizador de vibraciones.

Fuente: Adash.com

Ilustración 15 Curso análisis de vibraciones disponible por SKF online.

Fuente: Skf.com

Considerando los valores aproximados de la cotización de proveedores. Se puede establecer una tabla de costos.

TABLA DE COSTOS ASOCIADA A LA IMPLEMENTACIÓN

TABLA COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DE LA TÉCNICA PREDICTIVA			
Equipo/costo	Cantidad	Precio/valor	Total
Equipo Analizador de vibraciones	1	\$ 5.500.000	\$ 5.500.000
CAPACITACIÓN: Curso análisis de vibraciones nivel II	1	\$ 2.500.000	\$ 2.500.000
Soporte técnico	1	\$ 2.000.000	\$ 2.000.000
Instalación y configuración.	1	\$ 2.000.000	\$ 2.000.000
Software almacenamiento de datos y licencia del software.	1	\$ 3.000.000	\$3.000.000
			\$15.000.000

Tabla 11 Tabla de costos implementación técnica predictiva.

Fuente: Elaboración propia.

Según los valores obtenidos de la tabla, el costo inicial total de la implementación de la técnica predictiva escogida, en este caso “análisis de vibraciones”. Esta tiene un costo inicial de **\$15.000.000 aproximadamente.** (Para tener una tolerancia el valor se aproximará a \$20.000.000).

FLUJO DE CAJA ECÓNOMICO

Para realizar un flujo de caja cada industria debe considerar los siguientes factores como lo son los egresos e ingresos directos.

Como ingresos directos se tiene:

- Ahorro en costos de mantenimiento.
- Aumento en la eficiencia operativa.
- Nuevos contratos o clientes.

y los egresos son parte de los que ya están considerados en la tabla de costos, como lo son:

- El equipo analizador de vibraciones.
- La capacitación del personal.
- Soporte técnico.
- Y los costos inesperados (por ejemplo, en el fallo de un equipo).

Cada empresa dependiendo el sector industrial que este ubicada o pertenezca puede considerar más o menos factores que sean importantes en su funcionamiento, y que los ayuden disminuir sus costos.

Este flujo de caja refleja la estabilidad financiera de la empresa, lo que significa que cuenta con ingresos suficientes para cubrir los costos asociados con la implementación de la propuesta sin necesidad de recurrir a financiamiento externo durante aproximadamente 12 meses. Por lo tanto, la empresa tiene la capacidad financiera para financiar la implementación de la metodología de mantenimiento predictivo basándose en sus ingresos superiores.

Este análisis del flujo de caja nos proporciona una estimación del tiempo requerido para recuperar la inversión realizada en la implementación de esta metodología. Aunque los valores presentados son estimados, se espera que el resultado real tenga una variación mínima.

PERIODO	MES 0	MES 1-6	MES 7-12
INVERSIÓN INICIAL	\$ 20.000.000		
INGRESOS PROMEDIO ACTUAL		\$ 299.801.015	\$ 299.801.015
INGRESOS PROMEDIO ESPERADO		\$ 344.771.167	\$ 398.735.350
COSTOS DE MANTENCIÓN		\$ 2.000.000	\$ 2.000.000
FLUJO DE CAJA	\$ -20.000.000	\$ 42.970.152	\$ 96.934.335

RESULTADOS

En el flujo de caja inicial se puede proyectar la inversión inicial y realizar una estimación de acuerdo con lo que podría producir la empresa mejorando la confiabilidad y disponibilidad de los equipos. Para ello se estima que dentro de los primeros seis meses la disponibilidad aumente un 5% del valor promedio llegando a un 10% en un año.

VA =	\$96.934.335
Inversión =	-20.000.000
VAN =	\$76.934.335
C/B =	\$4,85

En este caso el Valor Actual neto (VAN) resulta ser mayor a 0 por lo tanto el proyecto si es rentable, por ende, se recomienda su implementación.

Además, el valor de Costo/Beneficio (C/B) también resulta favorable ya que, es mayor a 1.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Para terminar de unir las ideas, se darán a conocer las ideas fundamentales que determinan las conclusiones y recomendación del diseño de metodología de mantenimiento predictivo a la planta Dialum Concepción.

Para comenzar se debe entender con claridad que el mantenimiento predictivo es un tipo de mantenimiento que desempeña un papel fundamental en todas las industrias ya que, permite maximizar la disponibilidad de los activos, reducir los costes de mantenimiento y evitar caídas inesperadas. Para la implementación del mantenimiento predictivo en la planta se requiere el uso de técnicas predictiva como es el análisis de vibraciones ya que, la mayoría de sus equipos son de naturaleza rotatoria.

Como el mantenimiento predictivo permite el monitoreo en tiempo real de los activos, esto permite facilitar la detección temprana de anomalías y la toma de decisiones basadas en datos para optimizar las estrategias de mantenimiento.

Al implementar el mantenimiento predictivo de la planta Dialum Concepción, es esencial contar con una infraestructura tecnológica sólida, así como con personal capacitado en el manejo del análisis de vibraciones.

Respecto a la propuesta de proyecto, analizándolo del factor económico y muchas veces decisiva esta si es una opción rentable ya que, el Valor Actual Neto (VAN) es mayor a 0, indicando que la propuesta tiene rentabilidad por ende se recomienda su implementación. Además, el valor de Costo Beneficio (B/C) es mayor a 1, indicando que la propuesta generara beneficios en comparación a sus costos.

RECOMENDACIONES

Para realizar la implementación de la técnica predictiva se debe hacer un análisis exhaustivo de los activos y sus necesidades de mantenimiento para identificar aquellos que son críticos y que pueden dificultar más el enfoque predictivo. Esto ayudará a priorizar los recursos y esfuerzos en los activos más importantes.

Es muy importante implementar una estrategia de recopilación de datos eficiente y confiable, utilizando el equipo medidor de vibraciones para capturar información en tiempo real sobre el estado de los activos. Esto permitirá el monitoreo continuo y la detección temprana de problemas.

Es fundamental proporcionar la capacitación adecuada al personal involucrado en la implementación y operación del mantenimiento predictivo. Incluyendo que tengan conocimientos sobre las tecnologías utilizadas, habilidades de análisis de datos y capacidad para interpretar y actuar sobre los resultados generados. (la interpretación de datos es un punto muy importante en el mantenimiento predictivo, así se facilita la toma de decisiones, la cual es más segura y confiable).

No se debe dejar de lado el establecer un proceso de mejora continua. En este punto es donde se analizan los resultados y se realizan ajustes en la estrategia de mantenimiento predictivo en función de los aprendizajes obtenidos. Esto ayudará a optimizar las operaciones para consolidar con los avances tecnológicos.

Si se siguen estas recomendaciones, basadas en el estudio del mantenimiento predictivo en la industria se puede aprovechar al máximo las ventajas que dispone el mantenimiento, Teniendo en cuenta que lo principal es mejorar la eficiencia y la confiabilidad de sus activos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Organización Internacional de Estandarización. (1999). ISO 14224: Industrias de petróleo y gas natural - Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos (1ª ed.).
- American Petroleum Institute. (s.f.). Inspección basada en riesgo (IBR): Norma API 580. Washington, D.C.: Author.
- American Petroleum Institute. (s.f.). Inspección basada en riesgo (IBR): Norma API 581. Washington, D.C.: Author.
- Girdhar, Parech. (2004). Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance. Elsevier.
- Moubray, J. (2004). Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Aladon LLC.
- Díaz Barra, Sebastián Ignacio. Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo/predictivo a equipos de línea de proceso planta Dialum. Memoria (Ingeniería en Mantenimiento Industrial) Concepción, Chile; UTFSM. Sede Concepción. 2022. 75 páginas.
- CRISTALES DIALUM S.A. Catalogo Dialum español.

ANEXOS

ANEXO A: LISTADO DE EQUIPOS

	EQUIPO	TAG	RPM
Pulido	MOTOR DE PULIDO	MPL 01	2860 r/min
	MOTOR DE PULIDO	MPL 02	2860 r/min
TLT	TLT MOTOR TRANSPORTE	M00	1450 r/min
	MOTOR DE BRAZOS	MB 01	1450 r/min
	MOTOR DE BRAZOS	MB 02	1450 r/min
	MOTOR DE BRAZOS	MB 03	1450 r/min
TRANSPORTE	C1 MOTOR TRANSPORTE	M 01	1750 r/min
	C2 MOTOR TRANSPORTE	M 02	1750 r/min
	C3 MOTOR TRANSPORTE	M 03	1750 r/min
	C4 MOTOR TRANSPORTE	M 04	1750 r/min
	C5 MOTOR TRANSPORTE	M 05	1750 r/min
	C6 MOTOR TRANSPORTE	M 06	1750 r/min
LAVADO	WM MOTOREDUCTOR CEPILLO 1 (P1)	MC 01	2630 r/min
	WM MOTOREDUCTOR CEPILLO 2 (P1)	MC 02	2630 r/min
	WM MOTOREDUCTOR CEPILLO 3 (P2)	MC 03	2630 r/min
	WM MOTOREDUCTOR CEPILLO 4 (P2)	MC 04	2630 r/min
	WM MOTOREDUCTOR CEPILLO 5 (P3)	MC 05	2630 r/min
	WM MOTOREDUCTOR CEPILLO 6 (P4)	MC 06	2630 r/min
	WM MOTOREDUCTOR APERTURA	ML 01	1720 r/min
	MOTOR BOMBA LAVADO	BL 01	1800 r/min
	MOTOR BOMBA LAVADO	BL 02	1800 r/min
	MOTOR BOMBA LAVADO	BL 03	1800 r/min
TAN	TAN MOTOR PVB 1	MP 01	1680 r/min
	TAN MOTOR PVB 2	MP 02	1680 r/min
	TAN MOTOR PVB 3	MP 03	1680 r/min
	TAN MOTOR PVB 4	MP 04	1681 r/min
CALANDRA	EPY MOTOR TRANSPORTE COLD PRESS	MTC 01	1155 r/min
	EPY MOTOR APERTURA COLD PRESS	MAC 01	1680 r/min
	EPY MOTOR TRANSPORTE HOT PRESS	MTC 02	1155 r/min
	EPY MOTOR APERTURA HOT PRESS	MAC 02	1680 r/min
	EPY VENTILADOR 1	MV 01	1750 r/min
	EPY VENTILADOR 2	MV 02	1750 r/min
	EPY VENTILADOR 3	MV 03	1750 r/min
	EPY VENTILADOR 4	MV 04	1750 r/min

TOT	MOTOR DE BRAZOS	MB 04	1450 r/min
	MOTOR DE BRAZOS	MB 05	1450 r/min
	MOTOR DE BRAZOS	MB 06	1450 r/min
	MOTOR TRANSPORTE	M07	1750 r/min

ANEXO B: ANÁLISIS DE CRITICIDAD EQUIPOS DIALUM CONCEPCIÓN

ANÁLISIS DE CRITICIDAD		
EQUIPO:	LAVADORA	PUNTUACIÓN
Frecuencia de falla		3
Impacto operacional		10
Flexibilidad operacional		2
Costos de mantenimiento		2
Impacto en seguridad ambiente higiene		4
TOTAL		21
Frecuencia de falla		3
CONSECUENCIA		26
CRITICIDAD		MC

ANÁLISIS DE CRITICIDAD		
EQUIPO:	AUTOCLAVE	PUNTUACIÓN
Frecuencia de falla		2
Impacto operacional		7
Flexibilidad operacional		4
Costos de mantenimiento		3
Impacto en seguridad ambiente higiene		8
TOTAL		24
Frecuencia de falla		2
CONSECUENCIA		39
CRITICIDAD		C

ANÁLISIS DE CRITICIDAD		
EQUIPO:	CALANDRA	PUNTUACIÓN
Frecuencia de falla		2
Impacto operacional		10
Flexibilidad operacional		4
Costos de mantenimiento		3
Impacto en seguridad ambiente higiene		4
TOTAL		23

Frecuencia de falla	2
CONSECUENCIA	47
CRITICIDAD	C

ANÁLISIS DE CRITICIDAD		
EQUIPO:	SECADORA	PUNTUACIÓN
Frecuencia de falla		2
Impacto operacional		4
Flexibilidad operacional		2
Costos de mantenimiento		1
Impacto en seguridad ambiente higiene		2
TOTAL		11
Frecuencia de falla		2
CONSECUENCIA		11
CRITICIDAD		NC

ANÁLISIS DE CRITICIDAD		
EQUIPO:	TOT	PUNTUACIÓN
Frecuencia de falla		3
Impacto operacional		10
Flexibilidad operacional		2
Costos de mantenimiento		1
Impacto en seguridad ambiente higiene		2
TOTAL		18
Frecuencia de falla		3
CONSECUENCIA		23
CRITICIDAD		MC

ANÁLISIS DE CRITICIDAD		
EQUIPO:	TLT	PUNTUACIÓN
Frecuencia de falla		3
Impacto operacional		10
Flexibilidad operacional		2
Costos de mantenimiento		1
Impacto en seguridad ambiente higiene		2
TOTAL		18
Frecuencia de falla		3
CONSECUENCIA		23
CRITICIDAD		MC

ANÁLISIS DE CRITICIDAD		
EQUIPO:	CNC	PUNTUACIÓN
Frecuencia de falla		2
Impacto operacional		7
Flexibilidad operacional		2
Costos de mantenimiento		1
Impacto en seguridad ambiente higiene		2

TOTAL	14
Frecuencia de falla	2
CONSECUENCIA	17
CRITICIDAD	NC

ANÁLISIS DE CRITICIDAD		
EQUIPO:	SALA LIMPIA	PUNTUACIÓN
Frecuencia de falla		3
Impacto operacional		7
Flexibilidad operacional		2
Costos de mantenimiento		2
Impacto en seguridad ambiente higiene		4
TOTAL		18
Frecuencia de falla		3
CONSECUENCIA		20
CRITICIDAD		MC