

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR - JOSÉ MIGUEL CARRERA

PROPUESTA DE MEJORA EN EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA
MÁQUINA BALANCEADORA ELECTROGRAVA 3 TON

Trabajo de Titulación para optar al
Título de Técnico Universitario en
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Alumnos:

Eduardo Carrasco Navarro

Profesor Guía:

Eduardo Vidal Páez

Ing. Civil Industrial

2025



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): Memoria o trabajo de título; Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: PROPUESTA DE MEJORA EN EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MÁQUINA
BALANCEADORA ELECTRORAVA 3 TON

Nombre del candidato(a): Eduardo Alejandro Carrasco Navarro

Carrera / Grado: Tecnico universitario en mantenimiento industrial

Campus: Viña del Mar ; Departamento: mecanica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Eduardo Vidal Páez, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

El trabajo **NO** contiene información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.


El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

6 meses; 12 meses; 2 años; 3 años; 5 años; 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: _____ ; Firma: 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 03/10/2025 ; Firma: 

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

RESUMEN.

KEYWORDS: MANTENIMIENTO PREVENTIVO - BALANCEADORA – CTR – 5
M – ANALISIS CAUSA RAIZ – MTBF - MTTR

En la empresa Maisver Mecanizados LTDA se cuenta con distintas líneas de proceso las cuales tienen como objetivo final, la reparación de los equipos que llegan al taller. Como empresa dedicada al mantenimiento es fundamental que los equipos pertenecientes a la empresa cuenten con un plan de mantenimiento que asegure que estas se encuentren en óptimas condiciones operativas la mayoría del tiempo posible para así poder asegurar la entrega de un servicio de calidad, tal como lo indica su certificación en la ISO 9001.

En el primer capítulo se encuentra la información de la empresa, así como su visión general y las distintas áreas que la componen y la descripción del equipo con el cual se trabajará, explicando sus componentes, funcionamiento y el rol que cumple esta dentro del proceso productivo de la empresa.

En el segundo capítulo, se procederá describir el marco teórico de esta tesis, la cual busca elaborar un plan de mantenimiento del tipo preventivo, con el fin de disminuir la cantidad de fallas por año que ha tenido el equipo, para llegar a elaborar este plan de mantenimiento se desarrolla un análisis de criticidad del tipo CTPR (Criticidad total por riesgo).

En el tercer capítulo se encuentra el desarrollo del plan de mantenimiento preventivo que busca solucionar la problemática existente en la empresa y la creación de planilla para las acciones de mantenimiento.

Finalmente, para corroborar la factibilidad del plan de mantenimiento preventivo, en el cuarto capítulo se desarrolla un análisis de costos de mantenimiento v/s los costos de pérdida del equipo cuando este se encuentra detenido.

INDICE

RESUMEN.....	2
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVO GENERAL.....	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
CAPITULO 1: ANTECEDENTES DE LA EMPRESA	3
1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA Y MÁQUINA BALANCEADORA.....	3
1.1. Empresa Maisver Mecanizados LTDA.....	3
1.1.1. Filosofía.....	4
1.1.2. Organigrama.....	5
1.1.3. Procesos de la empresa.....	6
1.1.3.1. Servicio de venta	6
1.1.3.2. Servicio de mantenimiento electromecánico.....	6
1.1.3.3. Análisis de vibraciones.....	7
1.1.3.4. Alineación láser	8
1.1.3.5. Pruebas activas y pasivas	8
1.1.3.6. Pruebas hidráulicas.....	8
1.2. Descripción del proceso y equipo de balanceo dinámico	9
1.2.1. Balanceo dinámico como proceso en Maisver	9
1.2.2. Máquina balanceadora Elettorava R3KG-BVS.....	10
1.2.3. Datos técnicos del equipo.....	11
1.2.4. Funcionamiento de la máquina.....	11
1.2.5. Normas de Banalceo y vibraciones.....	11
1.3. Problemática del equipo.....	14
CAPITULO 2: ANALISIS CAUSA RAÍZ Y CTPR	15

2.	ANÁLISIS CAUSA RAIZ Y CTR.....	15
2.1.	Metodología 5 M.....	15
	16
2.1.1.	Metodología aplicada al caso actual.....	16
2.1.2.	Conclusiones diagrama 5 M.....	18
2.2.	Análisis de criticidad (Modelo CTR).....	18
2.2.1.	Criterios de evaluación.....	19
2.2.1.1.	Frecuencia de fallos:.....	19
2.2.1.2.	Impacto Operacional	20
2.2.1.3.	Flexibilidad operacional	20
2.2.1.4.	Costos de mantenimiento	21
2.2.1.5.	Impacto en seguridad, higiene y medioambiente	21
2.3.	Resultados Matriz de riesgo.....	22
	CAPITULO 3: PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	23
3.	PLAN DE MANTENIMIENTO.....	23
3.1.	Plan de Mantenimiento Preventivo.....	24
3.1.1.	Mantenimiento Preventivo Motor 10 HP (Correa).....	25
3.1.2.	Mantenimiento Preventivo Reductor cardan	27
3.1.3.	Mantenimiento Preventivo Motor 10 HP (Reductor).....	28
3.1.4.	Mantenimiento Preventivo elementos baja criticidad	29
	CAPITULO 4: EVALUACIÓN FACTIBILIDAD ECÓNOMICA Y DISPONIBILIDAD	
	31
4.1.	Disponibilidad.....	31
4.1.1.	MTBF	31
4.1.2.	MTTR.....	32

4.2. Cálculo de disponibilidad aplicada al caso actual.....	32
4.3. Impacto económico del plan de mantenimiento preventivo:	36
4.4. Costos asociados al mantenimiento	39
BIBLIOGRAFÍA	45
ANEXO	46

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Datos generales empresa Maisver. Fuente: elaboración propia con datos entregados por la empresa.....	3
Tabla 2 Criterios de evaluación FF. Fuente: Elaboración propia.	19
Tabla 3 Criterios de Evaluación IO. Fuente: Elaboración propia.....	20
Tabla 4 Criterios de Evaluación FO. Fuente: Elaboración propia.....	20
Tabla 5 Criterios de evaluación CM. Fuente: Elaboración propia.	21
Tabla 6 Criterios de Evaluación SHA. Fuente: Elaboración propia.	21
Tabla 7 Matriz de riesgo. Fuente: Elaboración propia con datos recopilados en la empresa.	22
Tabla 8 Plantilla Plan de Mantenimiento Preventivo. Fuente: Elaboración propia.....	24
Tabla 9 Planilla Mantenimiento Preventivo Motor. Fuente: Elaboración propia.....	26
Tabla 10 Planilla Mantenimiento Preventivo Reductor. Fuente: Elaboración propia. ...	27
Tabla 11 Planilla Mantenimiento Preventivo Motor Reductor. Fuente: Elaboración propia.	28
Tabla 12 Planilla Mantenimiento Preventivo Equipos No Críticos. Fuente: Elaboración propia	29
Tabla 13 Tasa de fallas máquina balanceadora. Fuente: Elaboración propia.	30
Tabla 14 Cantidad Horas, situación actual. Fuente: Elaboración propia.....	32
Tabla 15 Cantidad horas equipo detenido, situación actual. Fuente: Elaboración propia.	32
Tabla 16 MTBF, situación actual. Fuente: Elaboración propia.....	33
Tabla 17 MTTR, situación actual. Fuente: Elaboración propia.....	33

Tabla 18 Disponibilidad del equipo, situación actual. Fuente: Elaboración propia.	33
Tabla 19 Cantidad Horas, implementación plan de mantenimiento. Fuente: Elaboración propia.	34
Tabla 20 Horas equipo detenido, implementación plan de mantenimiento. Fuente: Elaboración propia.	34
Tabla 21 MTBF, implementación plan de mantenimiento. Fuente: Elaboración propia.	34
Tabla 22 MTTR, implementación plan de mantenimiento. Fuente: Elaboración propia.	35
Tabla 23 Disponibilidad del equipo, implementación plan de mantenimiento. Fuente: Elaboración propia.	35
Tabla 24 Ingresos área mecanizado. Fuente: Elaboración propia.	36
Tabla 25 Rentabilidad Máquina Balanceadora. Fuente: Elaboración propia.	38
Tabla 26 Disminución pérdidas por hora. Fuente: Elaboración propia.	38
Tabla 27 Costos insumos. Fuente: Elaboración propia.	39
Tabla 28 Insumos/Herramientas que no constituyen costos. Fuente: Elaboración propia.	40
Tabla 29 Costo mano de obra. Fuente: Elaboración propia con datos entregados por la empresa.	40
Tabla 30 Costo mantenimiento periodo 1 año. Fuente: Elaboración propia.	42

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Frente empresa. Fuente: Empresa Maisver.....	4
Ilustración 2 Fotografía interna de taller. Fuente: Empresa Maisver.	5
Ilustración 3 Organigrama empresa Maisver. Fuente: elaboración propia con datos entregados por la empresa.....	5
Ilustración 4 Sala de venta y distribución; fuente de la empresa. Fuente: Empresa Maisver.	6
Ilustración 5 Mantenimiento electromecánica. Fuente: Empresa Maisver	7
Ilustración 6 Análisis de vibración. Fuente: Empresa Maisver.	8
Ilustración 7 Alineación láser. Fuente: Empresa Maisver.	8
Ilustración 8 Banco de pruebas 800 HP. Fuente: Empresa Maisver.....	9
Ilustración 9 Balanceo dinámico rotor. Fuente: Fotografía tomada en empresa.	9
Ilustración 10 Balanceadora Elettrorava R3KG-BVS. Fuente: Fotografía tomada en la empresa.	10
Ilustración 11 Software operacional balanceadora. Fuente: Foto tomada en empresa... ..	11
Ilustración 12 Rotor jaula de ardilla. Fuente: ingenieriaelectricafravedsa.com	12
Ilustración 13 Método de las 5 M. Fuente: Arnoletto (2007)	16
Ilustración 14 Diagrama Ishikawa 5 M. Fuente: Elaboración propia.	16

INTRODUCCIÓN.

El mantenimiento industrial ha experimentado una transformación significativa en los últimos años, impulsado por la necesidad de optimizar la operatividad de los equipos y prolongar la vida útil de los activos. En un entorno altamente competitivo, las empresas deben centrarse en mantener la funcionalidad de los equipos, mejorar su rendimiento y garantizar una gestión eficiente de los recursos, con el fin de ofrecer soluciones efectivas a sus clientes. El sector del mantenimiento se ha visto influenciado por la incorporación de nuevas herramientas y metodologías que permiten realizar intervenciones más precisas y menos costosas, contribuyendo a la maximización de la disponibilidad de los equipos.

Maisver Mecanizados LTDA se posiciona como una de las principales empresas en la zona, especializada en el mantenimiento de motores eléctricos, bombas centrífugas, bombas de drenaje, entre otros. Su cartera de clientes incluye grandes corporaciones como Anglo American Sur, en diversas divisiones, y empresas del sector energético y agrícola, que requieren que sus equipos de regadío y reimpulsión estén siempre operativos. Gracias a su compromiso con la calidad, la empresa posee la certificación ISO 9001, lo que demuestra su enfoque en la mejora continua de sus procesos y la optimización de sus recursos.

Este proyecto aborda una problemática específica que surgió en la empresa: una falla en una máquina balanceadora, que dejó la maquinaria inoperativa durante tres días, afectando la productividad de la empresa. Ante la importancia de evitar recurrencias de este tipo de fallas, se propone el desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo, con el objetivo de garantizar la operatividad continua de los equipos y minimizar el riesgo de futuras paradas no planificadas. Este plan se centra en la mejora de la infraestructura, la identificación de problemas recurrentes en los equipos y la capacitación del personal, buscando siempre la eficiencia en los procesos productivos.

OBJETIVO GENERAL

- Proponer un plan de mantenimiento basado en el análisis de fallas recurrentes en un subsistema crítico, evaluando su viabilidad económica mediante la comparación de costos de mantenimiento y pérdidas por inactividad, con el fin de mejorar la eficiencia de los procesos productivos y disminuir los costos de mantención para la empresa.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar y analizar información sobre la empresa y sus procesos productivos, identificando la importancia de la máquina balanceadora dentro de la operación, con el fin de contextualizar su relevancia en el mantenimiento industrial y justificar la necesidad de un plan de mantenimiento preventivo.
- Identificar el origen de las fallas más recurrentes en un subsistema crítico mediante un análisis de causa raíz, aplicando herramientas como la metodología 5M y el modelo de criticidad CTR, con el fin de comprender los factores que afectan su funcionamiento.
- Diseñar un plan de mantenimiento preventivo basado en las conclusiones del análisis de fallas y en las recomendaciones del fabricante, estableciendo una periodicidad adecuada para las inspecciones y acciones correctivas que permitan minimizar la recurrencia de averías y optimizar la disponibilidad del equipo.
- Determinar factibilidad de la propuesta de plan de mantenimiento diseñado, mediante la evaluación de los costos asociados a la mantención v/s los costos de pérdida producto de las horas detenidas del equipo y el aumento de la disponibilidad de la máquina.

CAPITULO 1: ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA Y MÁQUINA BALANCEADORA

En este capítulo del trabajo se encuentra la recopilación de información sobre la empresa Maisver Mecanizados LTDA

1.1. Empresa Maisver Mecanizados LTDA

Maisver Mecanizados Ltda., es una empresa con más de 24 años de trayectoria, que se ha esforzado por tener un sitio a nivel regional y nacional, empresa ubicada en la ciudad de Quillota, región de Valparaíso, lugar estratégico para dirigir sus operaciones y logísticas, esto debido a su amplio mercado, prestando sus servicios a los diferentes sectores de la economía ya sea agrícola, industrial, minería, entre otros, que han depositado su confianza para efectuar las reparaciones de sus equipos.

Nombre:	Maisver Mecanizados Ltda.
Nombre de Fantasía:	Maisver
El Rol Único Tributario:	N.º 76.040.045-9
Giro:	Venta, distribución y reparación de motores bomba, motores eléctricos, electromecánica, importaciones servicio mecanizado y balanceo dinámico.
Dirección:	Hermann Niemeyer 533, parque industrial, Quillota
Teléfono:	1 – 33 – 2333214

Tabla 1 Datos generales empresa Maisver. Fuente: elaboración propia con datos entregados por la empresa.

En Maisver mecanizados prestan servicios de alineación láser, análisis de vibración, embobinado industrial, mantención electromecánica, venta y distribución de bombas y motores, servicio de mecanizado, balanceo dinámico y banco de pruebas.



Ilustración 1 Frente empresa. Fuente: Empresa Maisver

A su vez por su excelente gestión, ha conseguido la distribución de marcas de prestigio mundial como lo es WEG (motores eléctricos, drives y accionamientos), logrando comercializar productos de primera calidad. Además, en el área de manejo hidráulico, cuentan con una gran gama de marcas de bombas, electrobombas, estanques, hidroneumáticos y filtros de agua.

Continuando con sus esfuerzos por suministrar productos y servicios que satisfagan las necesidades y expectativas de sus clientes, ha implementado un sistema de gestión de la calidad basado en el modelo ISO 9001: 2015, sistema que compromete a toda la organización, para lograr una buena administración de sus procesos, que conlleva mejoras continuas a cada uno de los servicios, permitiendo como resultado la satisfacción de sus clientes.

1.1.1. Filosofía

La filosofía de la empresa Maisver se puede destacar lo siguiente:

- Hacer una empresa económicamente sustentable en el tiempo y que entregue beneficios y servicios de primera calidad a todos sus clientes.
- Mejorar la calidad de vida de los integrantes de la empresa e incentivar su crecimiento profesional y personal.
- Ser pilar fundamental en el mejoramiento y aplicaciones de nuevas tecnologías.
- Ser un aporte importante para la región y el país.
- Usar tecnologías y mejoras en técnicas y procesos de trabajo para cuidar y proteger el medio ambiente.
- Buscar la sabiduría y hacer de la perfección su objetivo.
- Hacer de la eficacia, honestidad, perseverancia, compañerismo su forma de vida.
- Dar lo mejor de sí, su mayor y continuo esfuerzo, compromiso total para lograr la satisfacción de sus clientes.



Ilustración 2 Fotografía interna de taller. Fuente: Empresa Maisver.

1.1.2. Organigrama

El organigrama de la empresa determina los niveles de comunicación entre todos los procesos, la empresa cuenta con dieciocho trabajadores distribuidos en áreas de ventas, producción, administración y dirección.

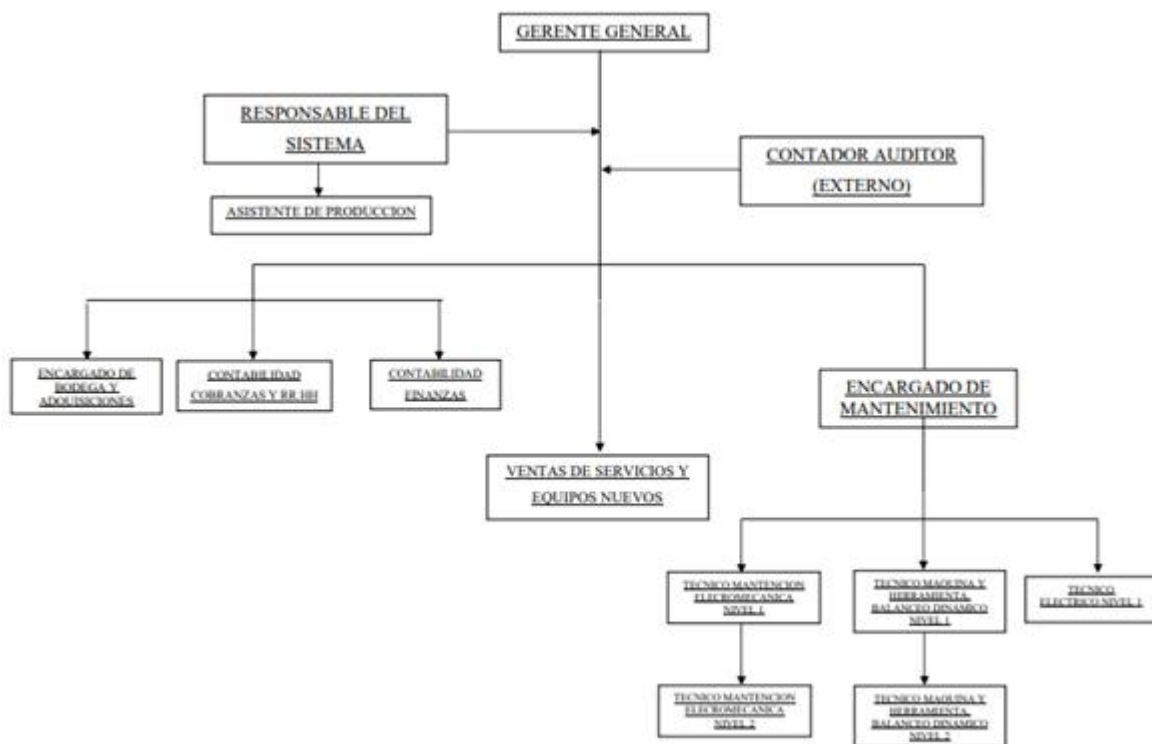


Ilustración 3 Organigrama empresa Maisver. Fuente: elaboración propia con datos entregados por la empresa.

1.1.3. Procesos de la empresa

Actualmente Maisver Mecanizados Ltda., cuenta con diversas áreas que realizan distintos servicios que ofrece al mercado, de los cuales se pueden separar en venta y distribución de equipos nuevos y repuestos, y en servicios de reparación, esta última cuenta con servicios de mantenimiento, fabricación de impulsores, embobinado, mecanizado y balanceo dinámico.

1.1.3.1. Servicio de venta

En el área de comercialización cuentan con un servicio calificado para el asesoramiento de la venta y post venta de equipos de motores y bombas, manteniendo siempre un gran respaldo de las empresas importadoras, apoyo técnico y profesionales ingenieros de diferentes áreas, según producto y la aplicación.



Ilustración 4 Sala de venta y distribución; fuente de la empresa. Fuente: Empresa Maisver.

1.1.3.2. Servicio de mantenimiento electromecánico

En el área de mantención se cuenta con tecnología, procedimientos y personal calificado para que el equipo sea controlado desde su recepción hasta su entrega final, quedando cada paso registrado en sistemas computacionales y respaldos físicos. Disponen a su vez de herramientas y equipamientos para realizar mantenciones en terreno, ya sea para equipos de bombeo y motores eléctricos.

Mantenimiento. Es la actividad humana que conserva la calidad del servicio que prestan las máquinas, instalaciones y edificios en condiciones seguras, eficientes y económicas, puede ser correctivo si las actividades son necesarias debido a que dicha calidad del servicio ya se perdió y preventivo si las actividades se ejecutan para evitar que disminuya la calidad de servicio. (Newbrough, 1998).

En esta área se realiza mantención a motores, generadores, moto reductores eléctricos de diferentes potencias tipos y marcas, que van desde fracciones de HP hasta 800.



Ilustración 5 Mantenimiento electromecánica. Fuente: Empresa Maisver

Maisver además se destaca por tener una gran gama de repuestos de proveedores de buena calidad. A continuación, se detallará una lista de repuestos ofrecidos por la empresa:

- Caja conexiones
- Condensadores
- Tapa cubre ventilador
- Ventiladores
- Placas bornes
- Tapa de motores
- Acoplamientos
- Sellos mecánicos.

La venta de estos componentes principalmente surge del mismo servicio de reparación de equipos, en donde se les realiza su respectivo mantenimiento.

1.1.3.3. Análisis de vibraciones

La incorporación de esta área cobra real importancia en la ejecución del trabajo del área de mantenimiento, ya que la mayoría de las fallas eléctricas y envejecimiento de los embobinados de motores se debe a fallas en la parte mecánica que repercuten y afectan estos elementos a corto o largo plazo. La medición de vibraciones no sólo permite detectar anomalías de funcionamiento y dar las recomendaciones a seguir, sino también permite programar periodos de mantención e intervención de los equipos.



Ilustración 6 Análisis de vibración. Fuente: Empresa Maisver.

1.1.3.4. Alineación láser

Cuentan con alienadores láser para machones y poleas y como elementos de corrección de desniveles usan lanas inoxidables calibradas. Básicamente la falta de alineación trae consigo diferentes problemas, resumiéndose en excesiva vibración, daño de rodamientos, daños de sellos mecánicos y acoples, produciendo un desgaste anticipado de partes mecánicas propias de la máquina e inclusive un aumento del consumo de energía.



Ilustración 7 Alineación láser. Fuente: Empresa Maisver.

1.1.3.5. Pruebas activas y pasivas

Uno de los objetivos que busca la empresa Maisver es el registro de información, y evaluaciones antes durante y después de la entrega de los equipos, de esta manera se aseguran de que las reparaciones efectuadas fueron certeras y logran mejorar considerablemente el estado de los equipos ingresados.

1.1.3.6. Pruebas hidráulicas

El banco de prueba está diseñado para ensayar bombas de agua de todo tipo. Consta con dos estanques de 23 m³ cada uno, más un ducto 18 pulgadas de diámetro y 14 metros de profundidad para probar bombas sumergibles.

En las pruebas hidráulicas a bombas de drenaje, aparte de obtener parámetros eléctricos e hidráulicos, se pueden realizar como opcional “análisis de vibraciones”.



Ilustración 8 Banco de pruebas 800 HP. Fuente: Empresa Maisver.

1.2. Descripción del proceso y equipo de balanceo dinámico

1.2.1. Balanceo dinámico como proceso en Maisver

Como se mencionaba dentro de los servicios que ofrece Maisver, se encuentra el mantenimiento electromecánico, cuando dentro de ese proceso, una de las etapas es la de balanceo dinámico, donde se verifica las condiciones de los rotores, ejes de bomba, ejes de chancadores y otros equipos.



Ilustración 9 Balanceo dinámico rotor. Fuente: Fotografía tomada en empresa.

El balanceo como tal es un procedimiento para el análisis de la distribución de masa de un rotor, el cual indica cuando es necesario realizar una redistribución de masa para evitar que la fuerza de las vibraciones sobrepase niveles recomendados para cierta velocidad de operación, sobrepasando los límites de vibración recomendados.

Es fundamental que los ejes de los equipos se encuentren balanceados ya que las vibraciones que se generan producto de un desbalanceo son también causantes de fallas en los equipos. El grado de calidad del balanceo dinámico que corresponde a los rotores según la norma ISO 1940 es de 2.5 mm/s.

En las instalaciones de la empresa, más específicamente en el área de mecanizado que es donde se realiza este proceso, se encuentran 4 máquinas balanceadoras, 3 de tipo horizontal y 1 de tipo vertical.

Debido a que se reciben equipos para mantención de diferentes potencias, las dimensiones de los ejes/rotores a balancear varían entre sí, por esto es que las balanceadoras cuentan con límites de carga y según el peso del elemento a balancear se define que máquina se utilizará, sin embargo, la mayoría de los ejes no sobrepasan las 3 ton, es por esto que la máquina balanceadora que más se utiliza es la Elettorava R3KG-BVS.

1.2.2. Máquina balanceadora Elettorava R3KG-BVS.

La máquina balanceadora Elettorava R3KG-BVS es una balanceadora del tipo horizontal que cuenta con funcionamiento mediante cardán y mediante correa.



Ilustración 10 Balanceadora Elettorava R3KG-BVS. Fuente: Fotografía tomada en la empresa.

1.2.3. Datos técnicos del equipo

Datos técnicos	
Marca	Elettrorava
Modelo	R3KG-BVS
Nro. de serie	04-25-103
Carga máxima	10-3000 Kg
Volts	380 V
Frecuencia	50 Hz
Potencia (Motores)	10 HP
RPM	0-3000
Peso	1200 Kg

1.2.4. Funcionamiento de la máquina

Para balancear un rotor/eje, en primera instancia se debe pesar para poder ingresar los datos en el software de operación de la máquina, sabiendo el peso, las RPM a las cuales trabajará el elemento a balancear y también el grado de balanceo que puede ser 2.5 mm/s o 6.3 mm/s (dependiendo del tipo de elemento), el software indicará cuales son las tolerancias admisibles para considerar que el rotor/eje se encuentra balanceado.



Ilustración 11 Software operacional balanceadora. Fuente: Foto tomada en empresa.

Definidos los parámetros con los cuales se procederá a trabajar, se debe realizar el montaje del rotor/eje sobre los apoyos que posee la máquina, estos apoyos cuentan con rodamientos los cuales permiten al elemento a balancear poder girar. Como se mencionó anteriormente, la maquina puede utilizarse mediante

cardán o con una correa, el criterio a utilizar para saber que método ocupar, según los operadores de la máquina, se utiliza el cardán cuando el peso del eje es mayor a los 500 kg, esto debido a que la correa no permite una correcta sujeción del eje y el peso de este en caso de encontrarse desbalanceado o en algunos casos con deflexión, ocasionará vibraciones en exceso en el equipo e incluso algunas ocasiones saltos sobre los mismos descansos.

Montado el rotor/eje se procede a comenzar con el balanceo, se debe comenzar a girar el elemento a balancear a una velocidad que no alcanzará la nominal, esto netamente por factores de seguridad ya que en algunos casos los ejes trabajan hasta 3000 RPM, por esto es que los motores de la maquina balanceadora cuentan con un variador de frecuencia para el caso de la correa y con un reductor en el caso del cardan.

Realizada la medición inicial a unas RPM que se consideren seguras, el software arrojará en pantalla cuanto es la masa desbalanceada que interfiere con el centro de gravedad del rotor/eje y en qué sector del mismo está ubicada, el mismo software permite cambiar entre las opciones de Agregar y Quitar, es decir, el operador tendrá la opción de agregar masa al rotor/eje para balancearlo, o quitar masa, esto quedará a decisión del operador.

Para agregar o quitar masa del elemento a balancear existen diferentes opciones, pero la más común para los rotores, es agregar peso, generalmente golillas calibradas, en las partes sobresalientes del rotor que se pueden observar en la imagen a continuación.



Ilustración 12 Rotor jaula de ardilla. Fuente: ingenieriaelectricafravedsa.com

En ocasiones, el desbalanceo se soluciona después de una primera puesta en marcha de la máquina, pero lo normal es que se deba seguir probando hasta que el rotor se encuentre dentro de la tolerancia definida por el grado de calidad. Una vez se considera que el rotor está balanceado, se procede a desmontar de los apoyos de la máquina y se devuelve hacia el área de limpieza donde se eliminará la suciedad del equipo y se dará una capa de pintura para mejorar la presentación, el rotor permanecerá embalado hasta que llegue el momento de armar el equipo.

Es correcto definir que, la vibración en las máquinas se refiere al movimiento oscilatorio que experimenta un componente o sistema mecánico al operar. Las vibraciones pueden ser causadas por diversas razones, como desequilibrios, desalineaciones, holguras, daños en los rodamientos, entre otros.

La medición de la vibración en las máquinas es importante porque puede ser una indicación temprana de problemas mecánicos y permitir la detección de fallos potenciales antes de que se produzcan. Además, las vibraciones excesivas pueden afectar la precisión, la fiabilidad y la vida útil de la máquina.

Por lo tanto, es común realizar análisis de vibración en las máquinas para detectar, diagnosticar y corregir problemas mecánicos. Estos análisis pueden incluir la medición de la amplitud, frecuencia y forma de onda de las vibraciones, y la comparación con los valores de referencia para determinar si las vibraciones están dentro de los límites aceptables.

1.2.5. Normas de balanceo y vibraciones

Para comenzar a hablar de la norma de balanceo y vibraciones tenemos que saber su significado y a lo que se refieren respectivamente en el área de mecánica.

El balance se refiere a la distribución uniforme del peso en un objeto para evitar vibraciones, desequilibrios y daños en su funcionamiento. Las normas de balance, adjuntas en el [Anexo](#), pueden variar según el tipo de objeto y la industria, pero algunas de las normas generales incluyen:

1. Determinar el peso y la posición del centro de gravedad del objeto.
2. Usando equipo de balanceo adecuado, como una balanza de precisión o un dispositivo de balanceo mecánico.
3. Asegúrese de que los componentes individuales estén equilibrados antes de ensamblarlos.
4. Siempre balancear en el plano horizontal y vertical.
5. Realizar pruebas de balanceo para verificar que se ha logrado el equilibrio correcto.
6. Realice el balanceo en un ambiente adecuado, evitando cualquier vibración o movimiento que pueda afectar la precisión del balanceo.
7. Asegurarse de que el objeto esté bien sujeto durante el equilibrio, para evitar lesiones personales o daños en el objeto.
8. Cumplir con las normas y regulaciones de seguridad relevantes en el área de trabajo.
9. Repetir el proceso de balanceo periódicamente para garantizar un rendimiento continuo y seguro.

1.3. Problemática del equipo

Durante el periodo 2021-2022 el equipo sufrió detenciones no programadas que afectaron de manera negativa a la producción ocasionando retrasos con la entrega de equipos, horas extras para cumplir con las fechas de entrega y gastos en mano obra e insumos para la reparación de las averías.

La falla más grande ocurrió cuando se decidió ocupar el cardán con un rotor, durante el balanceo se generaron vibraciones en la máquina fuera de lo común, se realizó análisis de vibraciones al reductor y mediciones con cámara termografía mostraron un aumento de temperatura sobre la normal de operación del reductor.

Se decidió detener el equipo en cuanto se tuvo conocimiento de las condiciones de trabajo, por lo que se debieron tomar acciones correctivas como rellenar el aceite faltante en el reductor, lo cual significó un problema ya que no se tenía registros de que aceite ocupa el reductor.

Todo esto significó un retraso de 3 días ya que luego de disminuir la temperatura del reductor, se notificó que producto de las vibraciones producidas por el rotor la maquina balanceadora se encontraba descalibrada, es por esto que se tuvo que contratar a un externo para que procediera con la calibración de la máquina.

Fue en este punto donde revisando los historiales de la máquina, se encontró con que la última mantención realizada fue en el año 2018, es decir, casi 4 años atrás, si bien se habían realizado inspecciones visuales, no existía un plan de mantenimiento de ningún tipo acorde con las necesidades de la máquina, que se compone de subsistemas que requieren de un mantenimiento.

Solucionada la detención de la máquina, se pudo balancear el rotor y se continuó con el proceso de mantenimiento del equipo, pero significó horas extras de trabajo por parte del personal del taller el poder cumplir con la fecha de entrega. Es por todo lo mencionado anteriormente que se hizo notar la necesidad de poder contar con la maquina balanceadora la mayor cantidad de tiempo posible, es decir, aumentar su disponibilidad, para determinar el método bajo el cual se buscará aumentar la disponibilidad, se realizará un análisis causa raíz en busca de la mejor solución.

CAPITULO 2: ANALISIS CAUSA RAÍZ Y CTPR

2. ANALISIS CAUSA RAIZ Y CTR

En el presente capítulo se abordará la metodología a aplicar para solucionar la problemática relacionada con el equipo, como metodología de trabajo inicialmente se realiza un análisis causa raíz con el método de las 5 M, determinada la causa principal de las reiterativas fallas del equipo, se procederá a determinar la criticidad de las partes de la máquina y así elaborar un plan de mantenimiento preventivo enfocado en las partes más críticas del equipo.

2.1. Metodología 5 M

Con la metodología de las 5 M se busca analizar el problema y definir las posibles causas de esta, por lo general se realiza en conjunto con un grupo de trabajo que posteriormente dará solución al problema.

Para la aplicación de este método se sigue un orden para considerar las causas de los problemas partiendo desde la base de que existen 5 grupos de las cuales pueden provenir.

Las M corresponden a:

- Máquinas: Un análisis de las entradas y salidas de cada máquina que interviene en el proceso, así como de su funcionamiento de principio a fin y los parámetros de configuración), permitirán saber si la causa raíz de un problema está en ellas.
- Mano de Obra: El personal puede ser el origen de un fallo. Existe el fallo humano, que todos conocemos y si no se informa y forma a la gente en el momento adecuado, pueden surgir los problemas.
- Métodos: Se trata de cuestionarse la forma de hacer las cosas. Cuando se diseña un proceso, existen una serie de circunstancias y condicionantes (conocimiento, tecnología, materiales, que pueden variar a lo largo del tiempo y no ser válidos a partir de un momento dado.
- Materiales: Se evaluará los materiales usados en las actividades programadas en el equipo. Los factores a considerar son si estos son los materiales correctos
- Medio Ambiente: Las condiciones ambientales y el entorno del equipo, pueden afectar al resultado obtenido y provocar problemas. Valorar las condiciones en las que se ha producido un fallo, nunca está de más, ya que puede que no funcione igual una máquina con el frío de la primera hora de la mañana que con el calor del mediodía

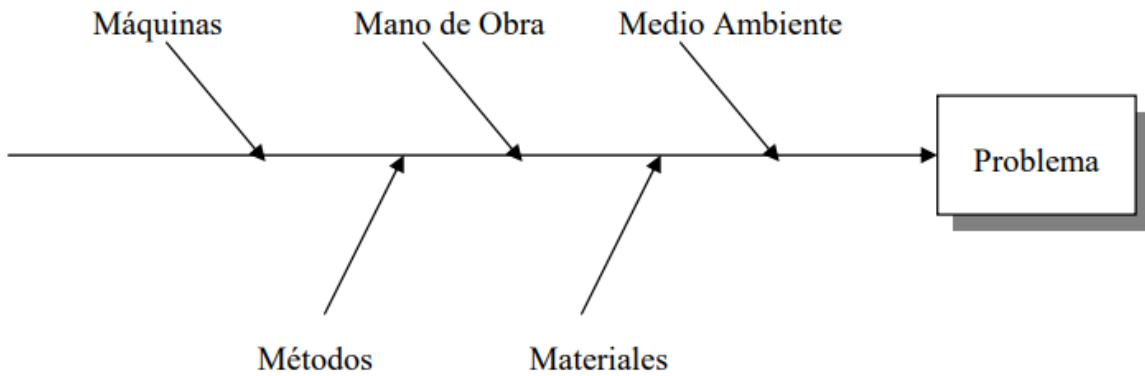


Ilustración 13 Método de las 5 M. Fuente: Arnoletto (2007)

Ventajas:

- Obliga a considerar una gran cantidad de elementos asociados con el problema
- Puede ser utilizado cuando la causa no se conoce en detalle
- Se concentra en la causa y no en el problema

Desventajas:

- En un solo eje se identifican demasiadas causas potenciales
- Tiende a concentrarse en pequeños detalles de las causas

2.1.1. Metodología aplicada al caso actual

Una vez definido como se utiliza la metodología de las 5 M, se procede a realizar una lluvia de ideas con el grupo de trabajo, de esta se pudo obtener el siguiente gráfico:

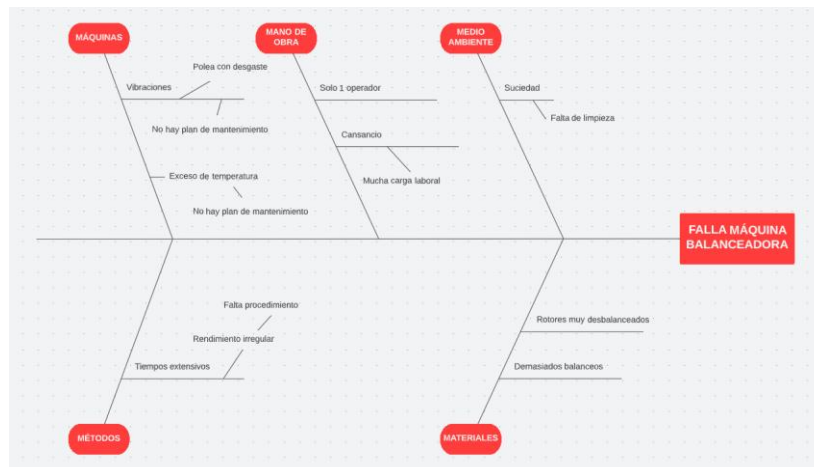


Ilustración 14 Diagrama Ishikawa 5 M. Fuente: Elaboración propia.

El siguiente paso es analizar el diagrama realizado para poder obtener oportunidades de mejora enfocados en aumentar la disponibilidad del equipo.

a) Materiales: La materia prima de la maquina en este caso son los rotores/ejes que se encuentran desbalanceados, como producto final tenemos los elementos ya balanceados.

- Rotores muy desbalanceados: En ocasiones los equipos que se reciben para mantenimiento son equipos que no han sido intervenidos en un periodo largo o que provienen de clientes los cuales no manejan planes de mantenimiento para sus equipos, esto produce que los rotores/ejes no se encuentren en buenas condiciones ocasionando que los tiempos de balanceo aumenten considerablemente respecto a otros equipos.

- Demasiados balanceos: Si bien la mayoría de los balanceos provienen de rotores o ejes de bombas que se encuentran en el taller para realizar su mantenimiento, también se reciben otros elementos para balancear que vienen exclusivamente para eso, en algunos casos incluso se reciben como urgencias y pasan a tener máxima prioridad, esto genera retrasos en la entrega de otros rotores y ejes.

b) Medio Ambiente:

- Suciedad: En el entorno de la maquina balanceadora se encuentran diversos elementos que son utilizados durante en el proceso de balanceo como otros que no tienen relación con el mismo, esto genera un desorden que retrasa al operador ya que no posee los pesos calibrados en su lugar, hay herramientas en el banco de la balanceadora y algunos sobre las guías móviles de los apoyos, sin contar con el polvo acumulado que se ha generado producto de la falta de aseo después de terminar un balanceo.

c) Métodos:

- Tiempos excesivos: Si bien también en la parte de materiales se habla sobre tiempos excesivos, cuando se habla desde el punto de vista de los métodos, nos encontramos con que en ocasiones no existen procedimientos para trabajar con ciertos tipos de elementos a balancear, los cuales en algún punto se consideran poco comunes pero que cada vez más llegan al taller por lo que se considera buena opción establecer procedimientos para estos.

d) Mano de obra:

- Solo 1 operador: Actualmente con la existencia de 3 máquinas balanceadoras solamente se cuenta con 1 operador, esto claramente significa que la eficiencia del área de mecanizado disminuye, ya que si bien, se podrían realizar 3 balanceos en simultaneo, descongestionando la cantidad de balanceos pendientes y agilizando los tiempos de entrega, solo se puede ocupar una máquina a la vez ya que no hay más operadores.

- Cansancio: El cansancio es un factor humano que innegablemente afecta al rendimiento de un proceso cuando es el operador de quien se trata, en este caso debido a lo anteriormente

mencionado, la carga laboral para el operador de la máquina balanceadora genera un desgaste en el que en ocasiones genera atrasos en la entrega de los balanceos, una solución a este problema puede ser el contratar a otro operador pero para esto se debe estudiar la factibilidad económica ya que traer nuevo personal y capacitarlo significa tiempo y costos que si no se estudian bien pueden significar pérdidas para la empresa.

e) Maquinaria:

- Vibraciones: Las vibraciones son comunes en los equipos que trabajan con movimiento y acoples, es por esto que existe una norma que regula los valores que puede tener un equipo para considerarse dentro de lo normal o si las vibraciones son indicadores de una falla en el equipo. Las vibraciones producidas en el equipo para el caso actual eran producidas por un desgaste en la polea de la correa que transmite el movimiento hacia el elemento a balancear. En este caso una inspección visual podría haber permitido identificar los daños en la polea para gestionar su debido reemplazo, todo esto como parte de un plan de mantenimiento preventivo.

- Temperatura en el equipo: Durante la última falla del equipo se pudo notar un aumento de temperatura más específicamente en el reductor de la máquina. Para asegurar que el equipo se encuentre en buenas condiciones de operación se debe realizar un plan de mantenimiento preventivo.

2.1.2. Conclusiones diagrama 5 M

Finalizado el proceso del diagrama de las 5 M, se puede observar de mejor manera las diferentes causas relacionadas al problema de las detenciones de la balanceadora, revisando las opciones, se determina que la causa que más influye en las condiciones del equipo es la falta de un plan de mantenimiento para la máquina balanceadora, esto sobre todo tratándose de una empresa dedicada al mantenimiento electromecánico.

Para el caso actual se decide que se debe diseñar un plan de mantenimiento del tipo preventivo que incluya rutas de inspección periódicas para detectar posibles fallas y que establezca la cantidad de tiempo que pueden durar los componentes del sistema como rodamientos, retenes, aceite, etc., programando así su reemplazo en fechas estratégicas para disminuir el impacto en las horas operativas de la máquina la cual se deberá detener para realizar las acciones de mantenimiento.

2.2. Análisis de criticidad (Modelo CTR)

El modelo de Criticidad Total por Riesgo (CTR) es un proceso de análisis semi cuantitativo, es decir, se basa en datos numéricos para determinar la criticidad de los subsistemas y así jerarquizarlos. Este modelo es muy parecido al NPR (Numero de Probabilidad de Riesgo).

La expresión utilizada para determinar la jerarquización de los activos se presentará de la siguiente manera.

$$CTR = FF \times C$$

Dónde:

CTR: Criticidad total por riesgo

FF: Frecuencia de las fallas (rango de fallo determinado (fallos/años))

C: Consecuencia de los eventos de fallos

Posteriormente se debe determinar el valor de las consecuencias (C), que se obtiene a partir de las siguientes expresiones.

$$C = (IO \times FO) + CM + SHA$$

Donde:

IO = Factor de impacto en la producción

FO = Factor de flexibilidad operacional

CM = Factor de costes de mantenimiento

SHA = Factor de impacto en seguridad, higiene y ambiente

2.2.1. Criterios de evaluación

Para elaborar la matriz de riesgo se deben asignar valores a los parámetros anteriormente mencionados. La asignación de los valores se dará según las siguientes tablas:

2.2.1.1. Frecuencia de fallos:

Corresponde al número de la cantidad de fallos que se generan durante 1 año, esta escala asigna valores entre 1 y 4.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN	
CRITICIDAD= FF * ((IO*FO) + CM + SHA)	
Frecuencia de fallos (FF)	
Valores	Criterio
4	FRECUENTE: Más de 3 fallos/año
3	PROMEDIO: Entre 2 a 3 fallos/año
2	BUENO: Entre 1 a 2 fallos/año
1	EXCELENTE: 1 o menos fallos/año

Tabla 2 Criterios de evaluación FF. Fuente: Elaboración propia.

2.2.1.2. Impacto Operacional

El impacto operacional se determinará por los efectos que produzcan las fallas en la operación normal del equipo asignándose un valor entre 1 y 10.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN	
CRITICIDAD= FF * ((IO*FO) + CM + SHA)	
Impacto operacional (IO)	
Valores	Criterio
10	Pérdidas de producción superiores al 75%
7	Pérdidas de producción entre el 50% y el 74%
5	Pérdidas de producción entre el 25% y el 49%
3	Pérdidas de producción entre el 10% y el 24%
1	Pérdidas de producción menor al 10%

Tabla 3 Criterios de Evaluación IO. Fuente: Elaboración propia.

2.2.1.3. Flexibilidad operacional

Se asignará un valor entre el 1 y el 4 según la capacidad de poder reparar la falla v/s el impacto en tiempo que esta reparación requiere.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN	
CRITICIDAD= FF * ((IO*FO) + CM + SHA)	
Flexibilidad operacional (FO)	
Valores	Criterio
4	No existe reparación y no hay repuesto en bodega.
2	Se logra reparar con tiempos extensos de trabajo.
1	Se puede superar la avería o cambio de componente sin retrasos.

Tabla 4 Criterios de Evaluación FO. Fuente: Elaboración propia.

2.2.1.4. Costos de mantenimiento

Los costos de mantenimiento relacionados con las acciones de mantenimiento dirigidas a la corrección de la falla en cuestión.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN	
CRITICIDAD= $FF * ((IO*FO) + CM + SHA)$	
Costos de mantenimiento (CM)	
Valores	Criterio
2	Mayores o iguales a \$150.000
1	Menores a \$150.000

Tabla 5 Criterios de evaluación CM. Fuente: Elaboración propia.

2.2.1.5. Impacto en seguridad, higiene y medioambiente

El SHA hace referencia a la posibilidad de que la falla genere daños hacia la seguridad de las personas y el medioambiente.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN	
CRITICIDAD= $FF * ((IO*FO) + CM + SHA)$	
Impacto en seguridad, higiene y medioambiente (SHA)	
Valores	Criterio
8	Falla puede poner en serio riesgo la vida de las personas y dañar el medioambiente
6	Falla puede ocasionar daño a la salud de las personas y/o provocar incidente ambiental o provocar daños en las instalaciones
4	Se genera leve daño a la salud de las personas y poco daño al medioambiente
2	Provoca daños al medioambiente dentro de las normas
1	No representa ningún peligro para las personas ni al medioambiente

Tabla 6 Criterios de Evaluación SHA. Fuente: Elaboración propia.

2.3. Resultados Matriz de riesgo

Mediante la recopilación de datos históricos sobre el equipo, se pudo completar la matriz con el método CTR.

MATRIZ CUANTITATIVA DE RIESGO CRITICO						
Subsistema	FF	IO	FO	CM	SHA	CRITICIDAD
MOTOR 10 HP (CORREA)	3	5	4	2	6	84
MOTOR 10 HP (REDUCTOR)	1	3	2	1	6	13
REDUCTOR CARDAN	3	5	4	2	6	84
TENSOR CORREA	1	1	1	1	4	6
SOPORTES MOVILES	1	1	1	1	4	6
TABLERO ELÉCTRICO	1	1	1	1	6	8
SOFTWARE DE CONTROL	1	3	2	2	1	9

Tabla 7 Matriz de riesgo. Fuente: Elaboración propia con datos recopilados en la empresa.

Como se puede observar en la tabla, los subsistemas de la máquina balanceadora que más resaltan corresponden al motor que trabaja con la correa y el reductor que trabaja con el cardan. Teniendo esto en cuenta se procede a diseñar un plan de mantenimiento preventivo que tenga especial énfasis en estos dos elementos de la máquina balanceadora.

CAPITULO 3: PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

3. PLAN DE MANTENIMIENTO

El plan de mantención es la optimización, que va acorde con la planificación de la producción, dentro de las principales actividades de mantención se da lugar a la programación de las adquisiciones de aquellos elementos que se requieren para cada actividad de mantenimiento y genera algunos índices de mantenimiento (horas de paradas programadas y accidentales). Los planes de mantención deben poseer una correcta formulación, de esta manera un buen plan de mantenimiento permite obtener un flujo de volumen productivo lo más lineal posible. Por ello, los planes de mantención deben ser confiables, compatibilizar las actividades de mantención con las de producción y optimizar las horas de mantención programada, la cantidad de materiales, etc.

Según A. Arata (2005), las estrategias de mantenimiento de activos industriales más conocidas se pueden clasificar en tres categorías: Correctiva, Preventiva (Cíclica, Según condición o Predictiva) y Mejorativa.

Mantenimiento correctivo: El mantenimiento correctivo consiste simplemente en una estrategia de “reparar lo dañado”, generalmente tiene asociados bajos niveles de planificación del mantenimiento y excesivos niveles de inventarios de repuestos y mano de obra como forma de resguardar la continuidad de los procesos productivos, volviéndolo en la mayoría de los casos el tipo de mantenimiento menos eficiente. La utilización exclusiva de esta estrategia de mantenimiento generalmente es insuficiente y puede representar costos extremadamente significativos si los tiempos medios de reparación aumentan producto de la propagación de fallas. Es relevante que el mantenimiento correctivo es, comúnmente, el más deficiente en cuanto a la seguridad de los operadores si se compara con otras estrategias que utilizan herramientas preventivas y predictivas de fallas.

Mantenimiento preventivo: El mantenimiento preventivo surge como respuesta para superar las insuficiencias propias del mantenimiento correctivo. Su objetivo es reducir la probabilidad de ocurrencia de falla evitando detenciones repentinas en la producción. Esta estrategia posee una gama de herramientas para la definición de tareas de mantenimiento y reemplazo de equipos basadas en el tiempo de operación o la etapa en el ciclo de vida en que se encuentran. Las técnicas de mantenimiento preventivo se enmarcan dentro del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), siendo una de las más conocidas el Análisis de Modo de Falla.

Permite planificar las actividades de mantenimiento y, por lo tanto, determinar los requerimientos de recursos humanos y materiales (partes, piezas y herramientas).

Puede reducir los costos de falla puesto que se enfoca en evitar la ocurrencia de estos eventos.

Minimiza el tiempo en reparación de los equipos al desarrollarse las tareas de mantenimiento de manera planificada.

La seguridad de los operadores se ve incrementada al reducir los eventos de falla. Estos antecedentes no implican que una estrategia de mantenimiento preventivo deba reemplazar completamente a una correctiva.

La clave es determinar la criticidad de cada modo de falla considerando su efecto en la producción y la seguridad de las personas. Como regla general, las fallas críticas son tratadas de manera distinta a las que no lo son, lógicamente las más críticas son candidatas a modelos de mantenimiento predictivo o preventivo y las de menor impacto a procedimientos correctivos de reparación.

3.1. Plan de Mantenimiento Preventivo

Para el diseño de un plan de mantenimiento preventivo se tomó como base las recomendaciones del fabricante para las fechas de cambio de componentes como rodamientos y aceite. Si bien existen componentes que podrían llegar a fallar como sensores, filtros reguladores de aire, pulsadores, etc., al no considerarse elementos críticos se puede esperar a detectar una falla en estos, ya que programar un reemplazo antes de que estos fallen no sería lo más factible económicamente ya que significaría detener el equipo y reemplazar un componente que podría seguir funcionando, teniendo en cuenta que en bodega hay existencias de repuestos, sería mal gastar recursos destinar un mantenimiento preventivo.

Se elaboró una plantilla para cada acción de mantenimiento a realizar la cual indica el Equipo, la actividad, el encargado de la actividad, la descripción de la misma, los insumos y herramientas a utilizar y la periodicidad de la actividad.

PLAN DE MANTENIMIENTO BALANCEADORA ELETTRORAVA 3 TON					
EQUIPO	ACTIVIDAD	ENCARGADO	DESCRIPCIÓN	INSUMOS/HERRAMIENTAS	PERIODICIDAD

Tabla 8 Plantilla Plan de Mantenimiento Preventivo. Fuente: Elaboración propia

3.1.1. Mantenimiento Preventivo Motor 10 HP (Correa)

El motor de 10 HP que trabaja con la correa, según la matriz de riesgo elaborada anteriormente, se encuentra como el equipo con el CTR más alto junto con el reductor del cardan, esto significa que el mantenimiento preventivo de este equipo debe ser lo más completo posible para así mantener operativo el equipo la mayor cantidad de tiempo posible.

El equipo en cuestión es un motor trifásico de inducción con rotor tipo jaula de ardilla de 10 HP, marca CEM.



Ilustración 15 Placa de datos Motor Correa. Fuente: Fotografía tomada en la empresa.

Con los datos del equipo podemos identificar los rodamientos que utiliza y así poder establecer el periodo de vida útil que estos tienen. Según WEG, uno de los mayores fabricantes de motores, en sus indicaciones de mantenimiento especifican que un rodamiento de este tipo tiene una vida útil de aproximadamente 25000 horas, ya que son rodamientos sellados, teniendo esto en cuenta, debido a que el precio de estos rodamientos es bastante económico y por preferencias de la empresa, se decide que el reemplazo de estos será cada año.

Carcasa		Polos	Rodamiento	Cantidad de grasa (g)	Intervalos de relubricación (horas)					
IEC	NEMA				ODP (Carcasa abierta)		W21 (Carcasa cerrada)		W22 (Carcasa cerrada)	
					50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz
90	143/5	2	6205	4						
		4								
		6								
		8								
100		2	6206	5						
		4								
		6								
		8								
112	182/4	2	6207/ 6307	9						
		4								
		6								
		8								
132	213/5	2	6308	11						
		4								
		6								
		8								
160	254/6	2	6309	13						
		4								
		6								
		8								

Ilustración 16 Intervalos de relubricación/reemplazo de rodamientos. Fuente: Manual de instalación y mantenimiento WEG.

PLAN DE MANTENIMIENTO BALANCEADORA ELETTRORAVA 3 TON					
EQUIPO	ACTIVIDAD	ENCARGADO	DESCRIPCIÓN	INSUMOS/HERRAMIENTAS	PERIODICIDAD
MOTOR 10 HP (CORREA)	INSPECCIÓN Y CONTROL VISUAL	TÉCNICO MANTENIMIENTO	Realizar inspección visual del motor en busca de alguna anomalía en el equipo durante su funcionamiento. Verificar que la correa no presente daños o desgaste que indiquen la necesidad de un reemplazo de esta.	Elementos de seguridad personal. (Guantes, lentes, overol, zapatos de seguridad).	Diariamente
	MEDICION DE TEMPERATURA	TÉCNICO MANTENIMIENTO	Realizar mediciones al equipo en funcionamiento con la cámara termográfica en busca de alguna anomalía que pueda significar una futura falla.	Elementos de seguridad personal. (Guantes, lentes, overol, zapatos de seguridad). Cámara termográfica.	Mensualmente
	CONTROL DE VIBRACIONES	TÉCNICO MANTENIMIENTO	Realizar mediciones de vibraciones al equipo para verificar que se encuentre dentro de los parámetros.	Elementos de seguridad personal. (Guantes, lentes, overol, zapatos de seguridad). Medidor de vibraciones.	Mensualmente
	MEDICIONES ELÉCTRICAS	TÉCNICO ELÉCTRICO	Realizar mediciones eléctricas pasivas al motor, tales como, aislación a masa, aislación entre fases y resistencia óhmica. Confirmar el estado de los aprietes de los terminales de los cables que alimentan el motor.	Elementos de seguridad personal. (Guantes, lentes, overol, zapatos de seguridad). Medidor de aislación. Juego llave punta corona, juego destornillador (Cruz y paleta)	Semestralmente
	REEMPLAZO CORREA	TÉCNICO MANTENIMIENTO	Realizar reemplazo de la correa que transmite el movimiento hacia el elemento a balancear. Retirar correa antigua y reemplazarla por la del modelo correspondiente.	Elementos de seguridad personal. (Guantes, lentes, overol, zapatos de seguridad). Correa 2500x45x2 mm	Anualmente
	CAMBIO DE RODAMIENTOS	TÉCNICO MANTENIMIENTO	Realizar reemplazo de los rodamientos del motor eléctrico. Confirmar que los rodamientos a reemplazar coinciden con los solicitados en bodega.	Elementos de seguridad personal. (Guantes, lentes, overol, zapatos de seguridad). Extractor hidráulico de rodamientos, calentador inductor de rodamientos, juego de llaves punta corona, juego de dados con chicharra, rodamiento 6308 ZZ C3, rodamiento 6207 ZZ C3.	Anualmente

Tabla 9 Planilla Mantenimiento Preventivo Motor. Fuente: Elaboración propia.

3.1.2. Mantenimiento Preventivo Reductor cardan

El reductor que trabaja con el cardan es el otro componente del sistema que posee el CTR más alto, este equipo falló reiteradas veces durante el año y sus tiempos de reparación se extendieron más de lo pensado debido a la falta de repuestos para solucionar la falla.

PLAN DE MANTENIMIENTO BALANCEADORA ELETTRORAVA 3 TON					
EQUIPO	ACTIVIDAD	ENCARGADO	DESCRIPCIÓN	INSUMOS/HERRAMIENTAS	PERIODICIDAD
REDUCTOR CARDAN	INSPECCIÓN Y CONTROL VISUAL	TÉCNICO MANTENIMIENTO	Realizar inspección visual del reductor en busca de alguna anomalía en el equipo durante su funcionamiento. Controlar el nivel de aceite y verificar que no existan fugas de aceite desde los tapones de vaciado y llenado o del retén del reductor.	Elementos de seguridad personal. (Guantes, lentes, overol, zapatos de seguridad).	Diariamente
	MEDICION DE TEMPERATURA	TÉCNICO MANTENIMIENTO	Realizar mediciones al equipo en funcionamiento con la cámara termográfica en busca de alguna anomalía que pueda significar una futura falla.	Elementos de seguridad personal. (Guantes, lentes, overol, zapatos de seguridad). Cámara termográfica.	Mensualmente
	CONTROL DE VIBRACIONES	TÉCNICO MANTENIMIENTO	Realizar mediciones de vibraciones al equipo para verificar que se encuentre dentro de los parámetros.	Elementos de seguridad personal. (Guantes, lentes, overol, zapatos de seguridad). Medidor de vibraciones.	Mensualmente
	CAMBIO DE ACEITE	TÉCNICO MANTENIMIENTO	Vaciar el aceite del reductor y reemplazarlo por aceite nuevo.	Elementos de seguridad personal. (Guantes, lentes, overol, zapatos de seguridad). Juego llave allen, Aceite sintético Mobil SHC 630 2,8 lt.	12000 hrs

Tabla 10 Planilla Mantenimiento Preventivo Reductor. Fuente: Elaboración propia.

3.1.3. Mantenimiento Preventivo Motor 10 HP (Reductor)

El motor eléctrico que trabaja con el reductor es el tercer componente con el CTR más alto, aun así, considerándose de criticidad baja, este equipo no ha tenido demasiadas fallas, pero al trabajar en conjunto con el reductor se debe igualmente diseñar un plan de mantenimiento que ayude a aumentar la disponibilidad de este.

PLAN DE MANTENIMIENTO BALANCEADORA ELETTRORAVA 3 TON					
EQUIPO	ACTIVIDAD	ENCARGADO	DESCRIPCIÓN	INSUMOS/HERRAMIENTAS	PERIODICIDAD
MOTOR 10 HP (REDUCTOR)	INSPECCIÓN Y CONTROL VISUAL	TÉCNICO MANTENIMIENTO	Realizar inspección visual del motor en busca de alguna anomalía en el equipo durante su funcionamiento.	Elementos de seguridad personal. (Guantes, lentes, overol, zapatos de seguridad).	Diariamente
	MEDICION DE TEMPERATURA	TÉCNICO MANTENIMIENTO	Realizar mediciones al equipo en funcionamiento con la cámara termográfica en busca de alguna anomalía que pueda significar una futura falla.	Elementos de seguridad personal. (Guantes, lentes, overol, zapatos de seguridad). Cámara termográfica.	Mensualmente
	CONTROL DE VIBRACIONES	TÉCNICO MANTENIMIENTO	Realizar mediciones de vibraciones al equipo para verificar que se encuentre dentro de los parámetros.	Elementos de seguridad personal. (Guantes, lentes, overol, zapatos de seguridad). Medidor de vibraciones.	Mensualmente
	MEDICIONES ELÉCTRICAS	TÉCNICO ELÉCTRICO	Realizar mediciones eléctricas pasivas al motor, tales como, aislación a masa, aislación entre fases y resistencia óhmica. Confirmar el estado de los aprietes de los terminales de los cables que alimentan el motor.	Elementos de seguridad personal. (Guantes, lentes, overol, zapatos de seguridad). Medidor de aislación. Juego llave punta corona, juego destornillador (Cruz y paleta)	Semestralmente
	CAMBIO DE RODAMIENTOS	TÉCNICO MANTENIMIENTO	Realizar reemplazo de los rodamientos del motor eléctrico. Confirmar que los rodamientos a reemplazar coinciden con los solicitados en bodega.	Elementos de seguridad personal. (Guantes, lentes, overol, zapatos de seguridad). Extractor hidráulico de rodamientos, calentador inductor de rodamientos, juego de llaves punta corona, juego de dados con chicharra, rodamiento 6308 ZZ C3, rodamiento 6207 ZZ C3.	Anualmente

Tabla 11 Planilla Mantenimiento Preventivo Motor Reductor. Fuente: Elaboración propia.

3.1.4. Mantenimiento Preventivo elementos baja criticidad

Los equipos de baja criticidad según la matriz de riesgo corresponden al Tensor de correa, Soportes móviles, Tablero eléctrico y software de control.

PLAN DE MANTENIMIENTO BALANCEADORA ELETTRORAVA 3 TON					
EQUIPO	ACTIVIDAD	ENCARGADO	DESCRIPCIÓN	INSUMOS/HERRAMIENTAS	PERIODICIDAD
TENSOR CORREA	INSPECCIÓN Y CONTROL VISUAL	TÉCNICO MANTENIMIENTO	Realizar inspección visual del sistema neumático de tensión. Verificar que no existan fugas, mangueras en mal estado ni filtraciones. Confirmar que la válvula neumática se acciona correctamente.	Elementos de seguridad personal. (Guantes, lentes, overol, zapatos de seguridad).	Diariamente
SOPORTES MOVILES	INSPECCIÓN Y CONTROL VISUAL	TÉCNICO MANTENIMIENTO	Realizar inspección visual de los apoyos móviles. Verificar que no existan elementos que interrumpan con el movimiento de los apoyos (Herramientas, pesos calibrados, etc.) Verificar el estado de los rodamientos de apoyo.	Elementos de seguridad personal. (Guantes, lentes, overol, zapatos de seguridad).	Diariamente
	LUBRICACIÓN GUÍA	TÉCNICO EN MANTENIMIENTO	Lubricar cadena y rueda dentada de los apoyos móviles.	Elementos de seguridad personal. (Guantes, lentes, overol, zapatos de seguridad). Grasa HSS LUBE WÜRTH.	Mensualmente
TABLERO ELÉCTRICO	INSPECCIÓN Y CONTROL VISUAL	TÉCNICO ELÉCTRICO	Realizar inspección visual del tablero eléctrico de la máquina. Verificar que los pulsadores y otros componentes se encuentren en buen estado. Re apretar todos los terminales del circuito (Parte de control y fuerza).	Elementos de seguridad personal. (Guantes, lentes, overol, zapatos de seguridad). Juego de destornilladores.	Semanalmente.
SOFTWARE DE CONTROL	INSPECCIÓN Y CONTROL VISUAL	TÉCNICO MANTENIMIENTO	Revisar el estado de los componentes del controlador de la máquina. (Computador, sensores, etc)	Elementos de seguridad personal. (Guantes, lentes, overol, zapatos de seguridad).	Semanalmente.
	CALIBRACIÓN	OPERADOR	Realizar calibración de la máquina utilizando un rotor patrón.	Elementos de seguridad personal. (Guantes, lentes, overol, zapatos de seguridad). Rotor patrón.	Anualmente

Tabla 12 Planilla Mantenimiento Preventivo Equipos No Críticos. Fuente: Elaboración propia

Como se mencionaba al comienzo del capítulo, estratégicamente no es conveniente destinar demasiados recursos con un plan de mantenimiento preventivo a elementos que tienen una criticidad tan baja y sobre todo teniendo en cuenta que existen repuestos en bodega.

Con el plan de mantenimiento preventivo elaborado, se busca eliminar las fallas más críticas que afectaron a la balanceadora durante el periodo 2021-2022, de esta manera la tasa de fallas del equipo debería disminuir, lo cual se traducirá en un aumento en la disponibilidad del equipo.

TASA DE FALLAS BALANCEADORA ELETTRORAVA 3 TON PERIODO JUNIO 2021 - MAYO 2022													
EQUIPO/ MES	JUN. 2021	JUL. 2021	AGO. 2021	SEP. 2021	OCT. 2021	NOV. 2021	DIC. 2021	ENE. 2022	FEB. 2022	MAR. 2022	ABR. 2022	MAY. 2022	TOTAL PERIODO
MOTOR 10 HP (CORREA)	1		1				1						3
MOTOR 10 HP (REDUCTOR)					1								1
REDUCTOR CARDAN				1			2						3
TENSOR CORREA	1												1
SOPORTES MOVILES						1							1
TABLERO ELÉCTRICO											1		1
SOFTWARE DE CONTROL							1						1
TOTAL MENSUAL	2	0	1	1	1	1	4	0	0	0	1	0	11
FALLAS ACUMULADAS	2	2	3	4	5	6	10	10	10	10	11	11	

Tabla 13 Tasa de fallas máquina balanceadora. Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO 4: EVALUACIÓN FACTIBILIDAD ECONÓMICA Y DISPONIBILIDAD

4.1. Disponibilidad

La disponibilidad refleja la posibilidad de utilización de una instalación o equipo, desde el punto de vista técnico, es decir excluyéndolas detenciones no originadas por falla del sistema. La disponibilidad se define como la razón del tiempo en que la instalación se puede ocupar y el tiempo total que incluye al anterior más el tiempo de reparación.

Considerando lo anteriormente mencionado respecto a la confiabilidad se puede establecer basado en estos conceptos un indicador de disponibilidad esperado. Este indicador refleja después de muchos ciclos de operación y reparación de un elemento, el valor más probable de disponibilidad.

$$DISPONIBILIDAD.ESP = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

donde MTBF es el tiempo medio entre fallas y MTTR el tiempo medio de reparación. Cabe destacar que en este indicador de disponibilidad está presente sólo el efecto de la falla del elemento.

4.1.1. MTBF

El tiempo medio entre fallas o MTBF es uno de los indicadores que se necesitan para determinar la disponibilidad de un equipo, para esto, se requiere conocer la cantidad de fallos (n), el cual ya fue obtenido anteriormente o equipo en un periodo de tiempo, siendo en este caso de 12 meses, y los tiempos disponibles o, mejor dicho, las horas de trabajo reales a los que ha sido sometido, además, el tiempo total que se ocupa para solucionar las fallas

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo disponible} - \textit{Tiempo total de fallas}}{\textit{Cantidad de fallas}}$$

4.1.2. MTTR

El tiempo medio de reparación es el segundo indicador que se necesita para poder calcular la disponibilidad del equipo, este valor se obtiene de la siguiente formula:

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de fallas}}{\text{Cantidad de fallas}}$$

4.2. Cálculo de disponibilidad aplicada al caso actual

Para determinar la disponibilidad del equipo como se mencionó anteriormente tenemos que tener primero 2 datos, el MTBF y el MTTR, los cuales calcularemos inicialmente con los datos entregados por la empresa a partir de las ultimas mantenciones realizadas al equipo cuando este ha presentado los fallos.

Para calcular el MTBF tenemos los siguientes datos:

CANTIDAD DE HORAS DISPONIBLES DURANTE EL PERIODO	
HORAS A LA SEMANA	27
HORAS AL MES	108
MESES DE TRABAJO	11
TIEMPO TOTAL DISPONIBLE	1188

Tabla 14 Cantidad Horas, situación actual. Fuente: Elaboración propia.

CANTIDAD DE HORAS EQUIPO DETENIDO	
CANTIDAD DE FALLAS	11
CANTIDAD DE HORAS DETENIDO	85

Tabla 15 Cantidad horas equipo detenido, situación actual. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, con los datos anteriores, que se obtienen del historial de mantenimientos del equipo, se procede a calcular el MTBF de la situación actual del equipo, es decir, sin un plan de mantenimiento preventivo.

TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS	
TIEMPO DISPONIBLE (horas)	1188
TIEMPO TOTAL DE FALLAS (horas)	85
CANTIDAD DE FALLAS (n)	11
MTBF	100

Tabla 16 MTBF, situación actual. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar el MTBF de la situación actual tiene un valor de 100, es decir, en promedio el equipo va a fallar cada 100 horas de trabajo.

Para calcular el MTTR se tienen los siguientes datos:

MTTR	
TIEMPO TOTAL DE FALLAS	85
CANTIDAD DE FALLAS	11
MTTR	7,72727273

Tabla 17 MTTR, situación actual. Fuente: Elaboración propia.

Con el MTTR podemos observar que reparar una falla en la máquina balanceadora toma en promedio 7.72 horas, lo cual es casi un día completo de trabajo, pero también es importante tener en cuenta que la mayoría del tiempo fue destinado en la reparación de los elementos críticos de la máquina.

Ya con el MTBF y el MTTR procedemos a calcular la Disponibilidad del equipo:

CALULO DISPONIBILIDAD DEL EQUIPO	
MTBF	100
MTTR	7,7272727
DISPONIBILIDAD %	93%

Tabla 18 Disponibilidad del equipo, situación actual. Fuente: Elaboración propia.

Los cálculos nos indican que la disponibilidad del equipo es de un 93%, si bien es un valor aceptable, hay que tomar en cuenta que el equipo no trabaja todo el día ni todo el año, ya que se deben considerar periodo de vacaciones del operador y otros, por esto es que, a pesar de ser un buen valor, los retrasos generados por esta disponibilidad han generado un impacto considerable en las fechas de entrega de los equipos.

Con la implementación del plan de mantenimiento preventivo elaborado, se espera reducir en el mejor de los casos todas las fallas en los elementos críticos de la máquina, ya que, a pesar de ser elementos críticos, las fallas son perfectamente controlables con la mantención adecuada. Para visualizar de mejor manera los beneficios de la implementación del plan de mantenimiento se procede a realizar el cálculo de la disponibilidad con la disminución de fallas.

Cálculo MTBF:

CANTIDAD DE HORAS DISPONIBLES DURANTE EL PERIODO	
HORAS A LA SEMANA	27
HORAS AL MES	108
MESES DE TRABAJO	11
TIEMPO TOTAL DISPONIBLE	1188

Tabla 19 Cantidad Horas, implementación plan de mantenimiento. Fuente: Elaboración propia.

CANTIDAD DE HORAS EQUIPO DETENIDO	
CANTIDAD DE FALLAS	5
CANTIDAD DE HORAS DETENIDO	35

Tabla 20 Horas equipo detenido, implementación plan de mantenimiento. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar la cantidad de horas detenidas del equipo disminuirá ya que con el plan de mantenimiento las fallas de los equipos críticos se eliminarán en el mejor de los casos.

TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS	
TIEMPO DISPONIBLE (horas)	1188
TIEMPO TOTAL DE FALLAS (horas)	35
CANTIDAD DE FALLAS (n)	5
MTBF	231

Tabla 21 MTBF, implementación plan de mantenimiento. Fuente: Elaboración propia.

El MTBF con la implementación del plan de mantenimiento preventivo aumenta considerablemente, esto significa que el equipo se encontrará operativo una mayor cantidad de horas antes de presentar una falla en alguno de sus componentes.

Cálculo MTTR:

MTTR	
TIEMPO TOTAL DE FALLAS	35
CANTIDAD DE FALLAS	5
MTTR	7

Tabla 22 MTTR, implementación plan de mantenimiento. Fuente: Elaboración propia.

El MTTR con la implementación del plan de mantenimiento preventivo en comparación con la situación, disminuye, esto ya que se eliminan los tiempos de detención de los equipos críticos los cuales requerían mucho más tiempo en comparación con los otros elementos de la máquina balanceadora.

Cálculo Disponibilidad:

CALULO DISPONIBILIDAD DEL EQUIPO	
MTBF	231
MTTR	7
DISPONIBILIDAD %	97%

Tabla 23 Disponibilidad del equipo, implementación plan de mantenimiento. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, la disponibilidad del equipo aumenta notablemente con respecto a la situación actual, con este aumento de disponibilidad del equipo se puede concluir que el plan de mantenimiento productivo si significaría una mejor al sistema actual de mantenimiento que posee la empresa, el cual es del tipo correctivo para todos los elementos del equipo sin tener en cuenta la criticidad de estos.

Con los cálculos realizados de la variación en la disponibilidad del equipo, como paso final queda ver el impacto económico que la implementación del nuevo plan de mantenimiento preventivo va a tener en la empresa.

4.3. Impacto económico del plan de mantenimiento preventivo:

El impacto económico de la mantención sobre la economía de las empresas industriales y de servicios es decisivo. No se trata tanto de la incidencia económica de los costos propios de la mantención que son, como se aprecia en los gráficos, considerables pero decrecientes, sino más bien de los aspectos de funcionalidad de máquinas e instalaciones cada vez más complejas e integradas, donde la indisponibilidad repentina por averías acarrea pérdidas desastrosas e irre recuperables; pero es considerable también la indisponibilidad planificada para operaciones de prevención como consecuencia de los diagnósticos efectuados o por exigencias de otro tipo. Se debe considerar, asimismo, los siguientes elementos económicos significativos relacionados con la mantención: la conservación del patrimonio de plantas y maquinaria y los descartes de producto o carencias de servicio generadas por la incapacidad de producir en las condiciones establecidas.

Con el fin de aumentar la disponibilidad del equipo, se diseñó un plan de mantenimiento preventivo, enfocado principalmente en los elementos críticos de la balanceadora, si bien con los cálculos realizados podemos saber que la disponibilidad si aumenta, el costo del mantenimiento también debe ser considerado para confirmar la factibilidad de la implementación del plan de mantenimiento.

Con los datos obtenidos en la empresa, podemos saber lo siguiente.

Ingresos por ventas de servicios			
Año	Ingresos Servicios área mecanizado	Ingresos Servicios balanceo dinámico	Porcentaje de ingresos por balanceo dinámico con respecto a ingresos totales área mecanizado
2018	\$297.564.281	\$ 91.815.744	30,86%
2019	\$306.589.447	\$ 97.858.644	31,92%
2020	\$358.845.368	\$ 99.901.776	27,84%
2021	\$361.052.182	\$116.000.004	32,13%
Promedio			30,69%

Tabla 24 Ingresos área mecanizado. Fuente: Elaboración propia.

El servicio de balanceo supone en promedio casi un 31% de los ingresos anuales del área de mecanizado, esto es un porcentaje bastante elevado considerando que dentro del área existen tornos CNC, fresadora y otras máquinas de mecanizado. Con los datos de los ingresos anuales de la balanceadora podemos calcular los valores de rentabilidad promedio a partir de los ingresos anuales de la máquina balanceadora. Donde, el procedimiento matemático se basó en divisiones sucesivas.

Donde, el Valor anual de los ingresos que proporciona la máquina a la empresa aproximadamente es de \$116.000.000, teniendo esto en cuenta se realizó el cálculo de la tabla anterior, de modo que:

1. Cálculo de la rentabilidad promedio mensual

- Se parte del ingreso anual de la máquina balanceadora y se divide por 12 meses.

2. Cálculo de la rentabilidad promedio semanal

- Se divide la rentabilidad mensual entre el número de semanas en un mes, que generalmente se considera como 4.5 semanas (52 semanas al año / 12 meses).

3. Cálculo de la rentabilidad promedio diaria

- Se divide la rentabilidad semanal entre el número de días laborales por semana. Dependiendo del contexto, se puede asumir que la máquina opera 5 o 6 días a la semana.

4. Cálculo de la rentabilidad promedio por hora

- Se divide la rentabilidad diaria entre la cantidad de horas que la máquina trabaja por día.

Obteniéndose los siguientes cálculos:

1. Rentabilidad promedio mensual (RM):

$$RM = \frac{116.000.000}{12} = \$9.666.667$$

2. Rentabilidad promedio semanal (RS):

$$RS = \frac{9.666.667}{4.5} = \$2.146.667$$

3. Rentabilidad promedio diaria (RD), con un estimado de operación de 5 días a la semana:

$$RD = \frac{2.146.667}{5} = \$483.333$$

4. Rentabilidad promedio por hora (RH), con estimado de operación de 9 horas al día:

$$RH = \frac{483.333}{9} = \$53.704$$

A continuación se presenta la siguiente tabla resumen.

MÁQUINA BALANCEADORA HORIZONTAL ELETTRORAVA 3 TON	
Rentabilidad promedio mensual (RM)	\$9.666.667
Rentabilidad promedio semanal (RS)	\$2.146.667
Rentabilidad promedio diaria (RD)	\$483.333
Rentabilidad promedio por hora (RH)	\$53.704

Tabla 25 Rentabilidad Máquina Balanceadora. Fuente: Elaboración propia.

Con los datos anteriormente mencionados, los resultados de las perdidas por horas detenidas del equipo se ven de la siguiente manera:

PERDIDAS POR MÁQUINA DETENIDA (SITUACIÓN ACTUAL)	
BALANCEADORA HORIZONTAL ELETTRORAVA 3 TON	
RENTABILIDAD POR HORA	\$ 53.704
HORAS DETENIDAS (2021-2022)	85
PÉRDIDA TOTAL	\$ 4.564.840
PERDIDAS POR MÁQUINA DETENIDA (PROYECCIÓN)	
BALANCEADORA HORIZONTAL ELETTRORAVA 3 TON	
RENTABILIDAD POR HORA	\$ 53.704
HORAS DETENIDAS (PPROYECCIÓN)	35
PÉRDIDA TOTAL	\$ 1.879.640
PORCENTAJE DISMINUCIÓN	59%

Tabla 26 Disminución pérdidas por hora. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar mediante la tabla, la disminución de pérdidas es de un 59%, por lo que, desde el punto de vista económico, la implementación del plan de mantenimiento si representa una mejoría para el factor financiero de la empresa.

El último factor a tomar en cuenta para determinar con certeza, la factibilidad económica de la implementación del plan de mantenimiento preventiva, es calcular los costos asociados a las acciones de mantenimiento que sugiere el plan, para esto se detallan los costos a continuación.

4.4. Costos asociados al mantenimiento

Para este punto se realizó una cotización de los insumos a utilizar con los proveedores más frecuentes de la empresa con el fin de obtener una valorización lo más fidedigna posible para el correcto estudio del factor económico.

DETALLE COSTOS INSUMOS		
INSUMO	PRECIO	LUGAR COTIZADO
GUANTES	\$ 1.390	PROTEKNICA
ACEITE MOBIL SHC 630	\$27.173	EPYSA
CORREA BALANCEADORA 2500X45X2	\$77.880	COMERCIAL PACIFIC
RODAMIENTO 6308 ZZ C3	\$12.487	RODASTOCK
RODAMIENTO 6207 ZZ C3	\$ 8.880	RODASTOCK
OVEROL	\$ 6.990	PROTEKNICA
LENTE DE SEGURIDAD	\$ 4.690	PROTEKNICA
HUAIPE	\$ 2.990	-
GRASA HH LUBE WÜRTH	\$14.790	WÜRTH CHILE

Tabla 27 Costos insumos. Fuente: Elaboración propia.

Cabe mencionar que, para la realización de las actividades de mantenimiento establecidas en el plan de mantenimiento desarrollado, existen instrumentos y herramientas las cuales no se considerarán como costos debido a que la empresa ya las poseía para otras labores de mantenimiento, esos insumos y herramientas se encuentran detallados en la siguiente lista:

INSUMOS/HERRAMIENTAS QUE NO CONSTITUYEN COSTOS
CALENTADOR INDUCTOR DE RODAMIENTO
EXTRACTOR HIDRÁULICO DE RODAMIENTO
MEDIDOR DE AISLACIÓN
ROTOR PATRÓN
MEDIDOR DE VIBRACIONES
CAMARA TERMOGRAFICA
JUEGO DE LLAVES
JUEGO DESTORNILLADORES

Tabla 28 Insumos/Herramientas que no constituyen costos. Fuente: Elaboración propia.

Ya con los insumos especificados, el siguiente punto es determinar el costo de las horas hombre de quienes ejecutarán el plan de mantenimiento preventivo.

COSTOS MANO DE OBRA	\$
Remuneración de técnico en mantenimiento industrial	\$950.000
Remuneración Jefe de Taller	\$1.300.000
Total horas al mes (horas)	180
Valor hora de trabajo Técnico	\$5.278
Valor hora de trabajo ingeniero	\$7.222
Valor horas hombre total (HH)	\$12.500

Tabla 29 Costo mano de obra. Fuente: Elaboración propia con datos entregados por la empresa.

Con los datos recopilados, se puede calcular los costos asociados a la ejecución del plan de mantenimiento, en la siguiente tabla se realiza el cálculo simulando una situación en la cual se realizaran todas las acciones de mantenimiento durante 1 día.

CÁLCULOS DE COSTOS ASOCIADOS AL MANENIMIENTO				
EQUIPO	ACTIVIDAD	HORAS HOMBRE		COSTO INSUMOS
		TÉCNICO	JEFE TALLER	
MOTOR 10 HP (CORREA)	INSPECCIÓN Y CONTROL VISUAL	0,3	0	\$ 16.060
	MEDICION DE TEMPERATURA	0,5	0,3	\$ 16.060
	CONTROL DE VIBRACIONES	0,5	0,3	\$ 16.060
	MEDICIONES ELÉCTRICAS	1	0,3	\$ 16.060
	REEMPLAZO CORREA	0,3	0	\$ 77.880
	CAMBIO DE RODAMIENTOS	2	0,3	\$ 18.860
MOTOR 10 HP (REDUCTOR)	INSPECCIÓN Y CONTROL VISUAL	0,3	0	\$ 16.060
	MEDICION DE TEMPERATURA	0,5	0,3	\$ 16.060
	CONTROL DE VIBRACIONES	0,5	0,3	\$ 16.060
	MEDICIONES ELÉCTRICAS	1	0,3	\$ 16.060
	CAMBIO DE RODAMIENTOS	2	0,3	\$ 18.860
REDUCTOR CARDAN	INSPECCIÓN Y CONTROL VISUAL	0,3	0	\$ 16.060
	MEDICION DE TEMPERATURA	0,5	0,3	\$ 16.060
	CONTROL DE VIBRACIONES	0,5	0,3	\$ 16.060
	CAMBIO DE ACEITE	0,5	0,3	\$ 27.173
TENSOR CORREA	INSPECCIÓN Y CONTROL VISUAL	0,3	0	\$ 16.060
SOPORTES MOVILES	INSPECCIÓN Y CONTROL VISUAL	0,3	0	\$ 16.060
	LUBRICACIÓN GUÍA	0,3	0	\$ 14.790
TABLERO ELÉCTRICO	INSPECCIÓN Y CONTROL VISUAL	0,3	0	\$ 16.060
SOFTWARE DE CONTROL	INSPECCIÓN Y CONTROL VISUAL	0,3	0	\$ 16.060
	CALIBRACIÓN	3	0,3	\$ 16.060
SUMATORIA		\$80.222	\$26.000	\$ 414.523
TOTAL COSTOS (H/H + COSTO INSUMO)		\$520.745		

Ahora bien, para obtener una visión más precisa de los costos de mantenimiento, se requiere analizar cada acción por separado y su ocurrencia, para calcular el costo de mantenimiento en un periodo de un año. De igual manera se asumirá que se realizarán todas las acciones durante el año, aunque actividades como el cambio de aceite y el cambio de rodamientos se realizan según horas de trabajo.

Diferenciadas las actividades y su ocurrencia, podemos obtener la siguiente tabla:

ACTIVIDAD	EQUIPO INVOLUCRADO	H/H TÉCNICO	H/H SUPERVISOR	INSUMOS	REPETICION	COSTO TOTAL
INSPECCIÓN Y CONTROL VISUAL	MOTOR 10 HP (CORREA)	0,5	0	\$ 16.060	176	\$ 464.444
	MOTOR 10 HP (REDUCTOR)					
	REDUCTOR CARDAN					
	TENSOR CORREA					
	SOPORTES MOVILES					
	TABLERO ELÉCTRICO					
	SOFTWARE DE CONTROL	0,2	0	\$ 16.060	48	\$ 66.727
MEDICION DE TEMPERATURA	MOTOR 10 HP (CORREA)	0,3	0,1	\$ 16.060	12	\$ 43.727
	MOTOR 10 HP (REDUCTOR)					
	REDUCTOR CARDAN					
CONTROL DE VIBRACIONES	MOTOR 10 HP (CORREA)	0,3	0,1	\$ 16.060	12	\$ 43.727
	MOTOR 10 HP (REDUCTOR)					
	REDUCTOR CARDAN					
MEDICIONES ELÉCTRICAS	MOTOR 10 HP (CORREA)	1	0,3	\$ 16.060	2	\$ 30.949
	MOTOR 10 HP (REDUCTOR)					
REEMPLAZO CORREA	MOTOR 10 HP (CORREA)	0,3	0,1	\$ 77.880	1	\$ 80.186
CAMBIO DE RODAMIENTOS	MOTOR 10 HP (CORREA)	2	0,3	\$ 18.860	1	\$ 31.582
	MOTOR 10 HP (REDUCTOR)					
LUBRICACIÓN GUÍA	SOPORTES MOVILES	0,2	0,1	\$ 17.780	12	\$ 19.558
CALIBRACIÓN	SOFTWARE DE CONTROL	3	0,3	\$ 16.060	1	\$ 34.060
CAMBIO DE ACEITE	REDUCTOR CARDAN	0,5	0,2	\$ 30.163	1	\$ 34.246
TOTAL COSTOS MANTENIMIENTO ANUAL						\$ 849.205

Tabla 30 Costo mantenimiento periodo 1 año. Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior como se puede observar, el costo real del plan de mantenimiento preventivo aplicado durante un periodo de 1 año, es de \$849.205, la manera más práctica de justificar estos costos es con la comparación de las ganancias obtenidas con la situación actual con la proyección de las ganancias que ofrece el plan de mantenimiento preventivo gracias al aumento de la disponibilidad del equipo.

PROYECCIÓN GANANCIAS AUMENTO DISPONIBILIDAD		
PERIODO	DISPONIBILIDAD	GANANCIAS
GANANCIAS PERIODO ACTUAL	93%	\$ 116.000.004
GANANCIAS PROYECCION	97%	\$ 120.640.004

Como se puede observar en la tabla, con el aumento del 4% de la disponibilidad el equipo obtiene unas ganancias estimadas de \$4.640.000 en comparación con el periodo anterior, teniendo en cuenta que los costos de mantenimiento son de \$849.205, el diferencial finalmente queda en \$3.790.795, esta ganancia si bien es sustancial, existe un factor que no se puede tomar en cuenta para el estudio actual debido a la variabilidad de los casos, a lo que se refiere, es a los gastos asociados a los retrasos producidos por las fallas del equipo, estos costos corresponden a horas extras, compensaciones económicas y rebajas en el cobro del servicio producto al retraso para el caso de los balanceos de emergencia los cuales se cobran más caros que un balanceo normal pero se entregan en un tiempo menor, en caso de no cumplirse el plazo de entrega el precio del balanceo será el normal.

Ya con los datos anteriormente mostrados, se puede dar por factible la implementación del plan de mantenimiento preventivo diseñado para el equipo, ya que cuenta con respaldo desde el punto de vista del mantenimiento debido a que aumenta la disponibilidad del equipo, además del respaldo desde el punto de vista económico, aumentando las ganancias producidas por el equipo y disminuyendo las pérdidas por los retrasos generados durante las fallas del equipo.

CONCLUSIÓN

Mediante el uso de metodologías para analizar la causa raíz de la problemática expuesta en el presente trabajo de título, se pudo obtener una solución la cual fue el diseño de un plan de mantenimiento preventivo, previo análisis de criticidad de la máquina, para así poder determinar cuáles son los elementos a los cuales se requiere prestar especial atención para desarrollar una correcta planificación del mantenimiento y así no incurrir en pérdidas de recursos al intentar solucionar el problema (Falla) y no la causa del mismo.

Desarrollado el plan de mantenimiento preventivo se pudo comprobar la factibilidad del mismo mediante el cálculo de la disponibilidad de la máquina balanceadora, esto permitió tener la certeza de que las acciones especificadas en el plan de mantenimiento significan una mejora en el equipo.

El desarrollo del impacto económico que tiene el implementar un plan de mantenimiento preventivo da solidez al mismo ya que el margen de ganancias que deja la implementación de este, son superiores a los costos que tiene el ejecutar las acciones de mantenimiento, permitiendo así entregar una solución a la problemática que satisface las necesidades de la empresa.

BIBLIOGRAFÍA

- Arata A, A., & Furlanetto, L. (2005). Manual de gestión de activos y mantenimiento. RIL Editores.
- Arnoletto J. (2006) Administración de la Producción como ventaja competitiva
- Carlos Parra Márquez & Adolfo Crespo Márquez. (2012). Técnicas de Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicadas en el proceso de Gestión de Activos
- Manual general de instalación, operación y mantenimiento de motores eléctricos. WEG.

ANEXO

A.1 . Normas de balanceo que sigue la máquina balanceadora:

-ISO 1940: Esta norma establece los requisitos de equilibrado mecánico para máquinas rotativas. La norma establece los valores límite de vibración para diferentes tipos de máquinas, dependiendo de su tamaño y velocidad.

- ANSI S2.19: Esta norma establece los requisitos de vibración para máquinas rotativas. La norma especifica los valores límite de vibración para diferentes tipos de máquinas, dependiendo de su tamaño y velocidad.

- API 617: Esta norma establece los requisitos de vibración para compresores centrífugos. La norma establece los valores límite de vibración para diferentes tipos de compresores, dependiendo de su tamaño y velocidad.

- DIN ISO 10816: Esta norma establece los requisitos.

A.2 . Normas de vibraciones que sigue la máquina:

- ISO 1940-1: Esta norma especifica los requisitos de equilibrado para los rotores rígidos de máquinas. La norma establece los límites de vibración para diferentes clases de equilibrado en función de la velocidad y el tamaño del rotor.

- ISO 10816: Esta norma se utiliza para medir las vibraciones en las máquinas rotativas en general. Establece límites de vibración para diferentes tipos de máquinas, como motores eléctricos, compresores, bombas, etc.