



Universidad Católica de Santa María

**Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
Escuela Profesional de Ingeniería Industrial**

**Aplicación de técnicas de mantenimiento predictivo para mejorar la gestión
de mantenimiento de la planta chancadora de agregados de la empresa
Chapi 99 S.C.R.L. en la ciudad de Arequipa, 2024**

Tesis presentada por:

Coimbra Llerena, Alvaro Jimmy

ORCID: 0009-0003-1334-5024

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial

Asesora:

Mg. Rivera Chávez, María Eugenia

ORCID: 0000-0003-1589-0272

Arequipa – Perú

2026

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA INDUSTRIAL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 16 de Diciembre del 2025

Dictamen: 013813-C-EPII-2025

Visto el borrador del expediente 013813, presentado por:

2001601391 - COIMBRA LLERENA ALVARO JIMMY

Titulado:

**APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA MEJORAR LA GESTIÓN DE
MANTENIMIENTO DE LA PLANTA CHANCADORA DE AGREGADOS DE LA EMPRESA CHAPI 99
S.C.R.L. EN LA CIUDAD DE AREQUIPA, 2024**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO INDUSTRIAL

**29267647 - VALENCIA BECERRA ROLARDI MARIO
DICTAMINADOR**



**29434502 - MURILLO QUISPE EFRAIN RAFAEL
DICTAMINADOR**



**29648840 - CHURA QUISPE FRANZ
DICTAMINADOR**



APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA MEJORAR LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE LA PLANTA CHANCADORA DE AGREGADOS DE LA EMPRESA CHAPI 99 S.C.R.L. EN LA CIUDAD DE AREQUIPA, 2024

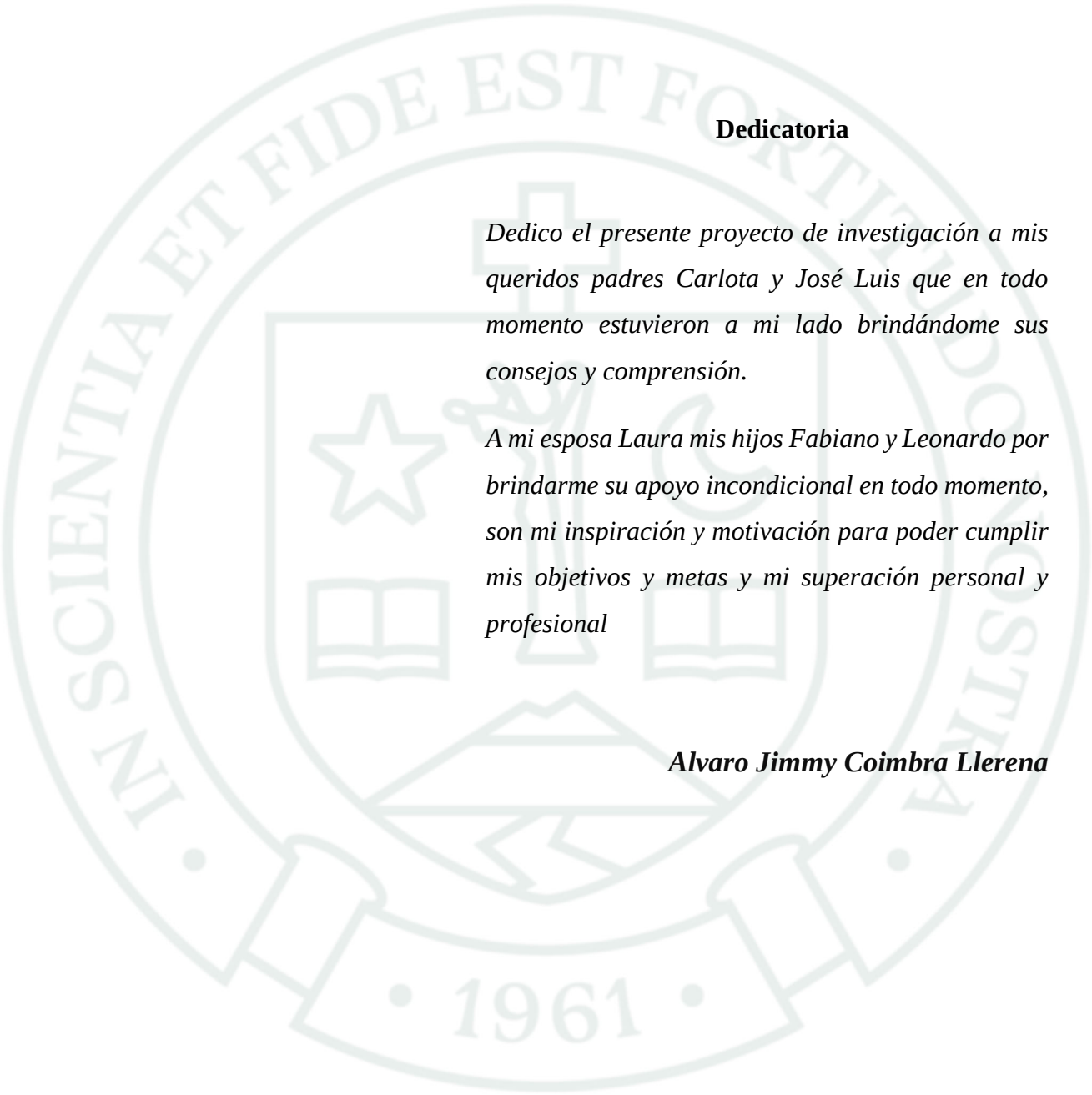
INFORME DE ORIGINALIDAD

9%	9%	0%	9%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to uarm Trabajo del estudiante	5%
2	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	2%
3	repositorio.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	docplayer.es Fuente de Internet	1%
5	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	1%

Excluir citas	Apagado	Excluir coincidencias	< 1%
Excluir bibliografía	Apagado		



Dedicatoria

Dedico el presente proyecto de investigación a mis queridos padres Carlota y José Luis que en todo momento estuvieron a mi lado brindándome sus consejos y comprensión.

A mi esposa Laura mis hijos Fabiano y Leonardo por brindarme su apoyo incondicional en todo momento, son mi inspiración y motivación para poder cumplir mis objetivos y metas y mi superación personal y profesional

Alvaro Jimmy Coimbra Llerena

Agradecimientos

Quiero agradecer a mi familia, por el apoyo incondicional brindado para poder culminar este trabajo de investigación de forma exitosa. También agradezco a la Universidad Católica de Santa María y a la escuela de Ingeniería Industrial por formarme y brindarme una educación sólida. Asimismo, reconocer a mis educadores y académicos que me guiaron en mi proyecto y apoyaron en concluir mi carrera universitaria.



Resumen

El estudio que lleva como nombre “Aplicación de técnicas de mantenimiento predictivo para mejorar la gestión de mantenimiento de la planta chancadora de agregados de la empresa CHAPI 99 S.C.R.L. en la ciudad de Arequipa, 2024” tiene como objetivo “Aplicar técnicas de mantenimiento predictivo para mejorar la gestión de mantenimiento de la planta chancadora de agregados de la empresa Chapi 99 S.C.R.L. en la ciudad de Arequipa”, para lo cual se ha estructurado de la siguiente manera.

En el análisis situacional de la gestión de mantenimiento de la planta chancadora de agregados se aplicó herramientas como el análisis de las 6M's, diagrama de Ishikawa, análisis de los registros de mantenimiento, identificación de los principales componentes de las máquinas y análisis de las fallas frecuentes que presenta cada máquina, se obtuvo los indicadores, de disponibilidad de las máquinas de 81% y confiabilidad de 85%.

En el siguiente capítulo se clasificaron las técnicas predictivas más importantes que pueden ser aplicadas en los componentes de las máquinas de la planta chancadora como, Ultrasonido phase array (UTPA), Ensayos no destructivos (NDT), Vibraciones (VIB), Termografía (IR), Análisis de aceites (OIL), Pruebas de motor (MOT TST) y Pruebas eléctricas (ELE TST), realizando un trabajo de campo y análisis documental para conocer las confiabilidad de cada técnica, la frecuencia de aplicación y el tiempo que demora en ejecutar las técnicas predictivas por cada falla frecuente que presentan los componentes de las máquinas.

Por último, se realiza la evaluación técnica donde se ha mejorado los indicadores de disponibilidad y confiabilidad de las máquinas a un 92%. Y también la evaluación económica con indicadores como un VAN de 128.155,67; un B/C de 1,54 y un PRI de 1 año.

Palabras claves, Mantenimiento, técnicas predictivas, confiabilidad.

Abstract

The study, entitled "Application of predictive maintenance techniques to improve maintenance management at the aggregate crushing plant of CHAPI 99 S.C.R.L. in the city of Arequipa, 2024," aims to "Apply predictive maintenance techniques to improve maintenance management at the aggregate crushing plant of Chapi 99 S.C.R.L. in the city of Arequipa." Its structure is as follows.

In the situational analysis of the aggregate crushing plant's maintenance management, tools such as the 6M analysis, Ishikawa diagram, maintenance log analysis, identification of the main machine components, and analysis of the frequent failures of each machine were applied. The machine availability indicators were 81% and reliability was 85%.

The following chapter classifies the most important predictive techniques that can be applied to crushing plant machine components, such as phase array ultrasound (PAUT), non-destructive testing (NDT), vibration testing (VIB), thermography (IR), oil analysis (OIL), engine testing (MOT TST), and electrical testing (ELE TST). Fieldwork and documentary analysis are conducted to determine the reliability of each technique, the frequency of application, and the time it takes to execute the predictive techniques for each common failure experienced by machine components.

Finally, a technical evaluation is conducted, improving machine availability and reliability indicators by 92%. An economic evaluation is also conducted, with indicators such as an NPV of 128,155.67; a B/C of 1.54; and a PRI of 1 year.

Keywords, Maintenance, predictive techniques, reliability.

Índice general

Dedicatoria	
Agradecimientos	
Resumen	
Abstract	
Introducción	1
Capítulo I:	2
1. Generalidades	2
1.1. Planteamiento del problema	2
1.1.1. Descripción del problema	4
1.1.2. Antecedentes del problema	4
1.1.3. Formulación del problema	5
1.1.3.1. Problema general	5
1.1.3.2. Problemas específicos	5
1.2. Objetivos de la investigación	5
1.2.1. Objetivo general	5
1.2.2. Objetivos específicos	5
1.3. Justificación	5
1.3.1. Justificación operativa	6
1.3.2. Justificación económica	6
1.3.3. Justificación social	6
1.3.4. Justificación personal	6
1.4. Limitaciones de la investigación	7
1.5. Hipótesis	7
1.6. Variables	7
1.7. Marco metodológico	8
1.7.1. Nivel de investigación	8
1.7.2. Diseño de investigación	9
1.7.3. Enfoque de investigación	9
1.8. Población y muestra	9
1.9. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	9
1.10. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	10
Capítulo II:	11

2. Marco teórico	11
2.1. Antecedentes de la investigación.....	11
2.1.1. Antecedentes nacionales.....	11
2.1.2. Antecedentes internacionales	12
2.2. Bases teóricas	13
2.2.1. Gestión de mantenimiento	13
2.2.1.1. Objetivos de mantenimiento.....	14
2.2.1.2. Tipos de mantenimiento	14
2.2.1.3. Técnicas de mantenimiento predictivo.....	17
Capítulo III:.....	19
3. Descripción de la empresa.....	19
3.1. La empresa.....	19
3.2. Cultura organizacional.....	20
3.2.1. Visión de la empresa.....	20
3.2.2. Misión de la empresa.....	20
3.2.3. Valores de la empresa.....	20
3.3. Estructura organizacional	21
3.4. Maquinaria y equipos	23
3.5. Productos y servicios.....	24
3.5.1. Productos	25
3.5.2. Servicios	27
3.6. Instalaciones	28
Capítulo IV:	30
4. Análisis situacional	30
4.1. Situación actual de la planta chancadora.....	30
4.2. Estructura de las máquinas de la chancadora de agregados	30
4.2.1. Máquina chancadora.....	30
4.2.2. Fajas transportadoras	34
4.2.3. Zarandas.....	38
4.3. Análisis de las paradas de las máquinas por fallas de mantenimiento en la planta chancadora	41
4.4. Análisis de las 6m`S de la gestión de mantenimiento	44
4.5. Análisis de Ishikawa de la gestión de mantenimiento.....	48
Capítulo V:.....	53

5. Propuesta de mejora	53
5.1. Introducción.....	53
5.2. Metodología.....	53
5.2.1. Objetivos de la aplicación del mantenimiento predictivo	54
5.2.2. Secuencia de procesos para la aplicación de las técnicas predictivas	54
5.3. Aplicación de las técnicas de mantenimiento predictivo en la planta chancadora de agregados	57
5.3.1. Análisis de las máquinas de la planta chancadora de agregados	59
5.3.2. Selección de los componentes de cada máquina	59
5.3.3. Análisis de las fallas frecuentes.....	62
5.3.4. Trabajo de campo, frecuencia y tiempo.....	68
5.3.5. Trabajo de campo, análisis de la confiabilidad.....	75
5.4. Clasificación de las técnicas predictivas para la planta de agregados.....	82
Capítulo VI:	95
6. Evaluación económica y técnica	95
6.1. Proyección de costos e ingresos	95
6.1.1. Costo directo del estudio	95
6.1.2. Gastos indirectos.....	97
6.1.3. Gastos administrativos.....	98
6.1.4. Costos comerciales	99
6.1.5. Costos totales del estudio	99
6.1.5.1. Determinación de ingresos	100
6.2. Inversión total.....	100
6.2.1. Activo tangible	100
6.2.2. Activo intangible	101
6.2.3. Capital de trabajo.....	101
6.3. Indicadores económicos	102
6.3.1. Estado de flujo de caja.....	102
6.3.2. VAN, B/C, PRI y costo de oportunidad	104
6.4. Evaluación técnica.....	105
Conclusiones	112
Recomendaciones	114
Referencias Bibliográficas	115

Índice de tablas

Tabla 01	Operacionalización de variables	8
Tabla 02	Máquina y equipos de la planta chancadora	24
Tabla 03	Fallas frecuentes de los componentes de la chancadora	32
Tabla 04	Técnicas de mantenimiento predictivo para identificar las fallas frecuentes de la chancadora	33
Tabla 05	Fallas frecuentes de los componentes de las fajas transportadoras.....	35
Tabla 06	Técnicas de mantenimiento predictivo para identificar las fallas frecuentes de la faja transportadora	37
Tabla 07	Fallas frecuentes de los componentes de la zaranda	39
Tabla 08	Técnicas de mantenimiento predictivo para identificar las fallas frecuentes de la zaranda	40
Tabla 09	Comparativo de las horas de máquina parada con la aplicación de las técnicas predictivas (MPd).....	42
Tabla 10	Máquina de la planta chancadora de agregados.....	59
Tabla 11	Clasificación de los componentes de la faja transportadora	60
Tabla 12	Clasificación de los componentes de la máquina chancadora	61
Tabla 13	Clasificación de los componentes de la zaranda	62
Tabla 14	Análisis de las fallas frecuentes de la faja trasportadora	63
Tabla 15	Análisis de las fallas frecuentes de máquina chancadora	65
Tabla 16	Análisis de las fallas frecuentes de máquina zaranda	67
Tabla 17	Frecuencia de tiempo para la aplicación de las técnicas predictivas	68
Tabla 18	Recolección de datos en el trabajo de campo de las fajas trasportadoras	69
Tabla 19	Recolección de datos en el trabajo de campo de la máquina chancadora.....	72
Tabla 20	Recolección de datos en el trabajo de campo de las zarandas	74
Tabla 21	Recolección de datos en el trabajo de campo para la confiabilidad de las técnicas predictivas en la faja transportadora	76
Tabla 22	Recolección de datos en el trabajo de campo para la confiabilidad de las técnicas predictivas en la máquina chancadora	79
Tabla 23	Recolección de datos en el trabajo de campo para la confiabilidad de las técnicas predictivas en la zaranda.....	81
Tabla 24	Clasificación de las técnicas predictivas para la faja transportadora	84
Tabla 25	Clasificación de las técnicas predictivas para la máquina chancadora	88

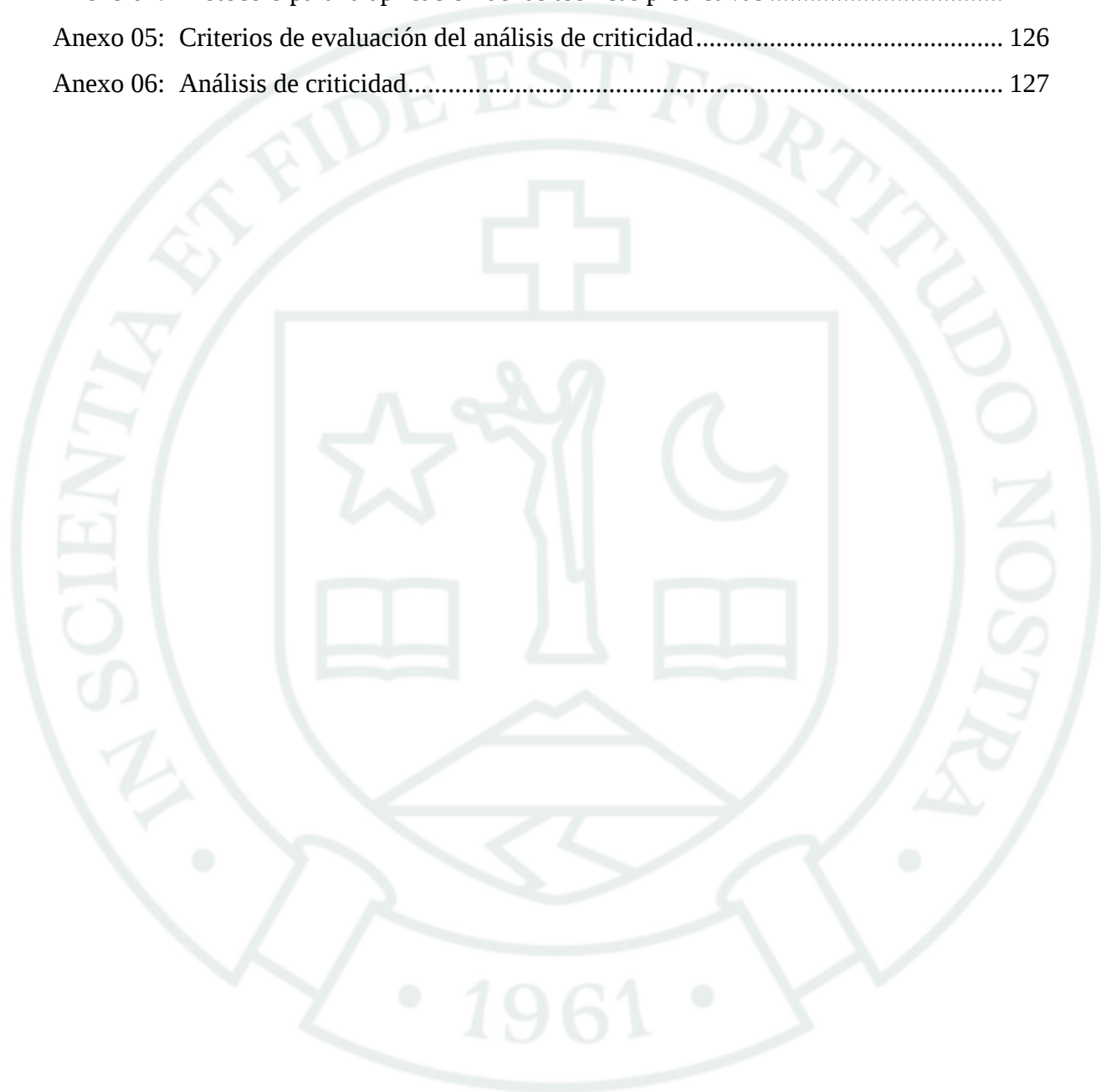
Tabla 26	Clasificación de las técnicas predictivas para la zaranda.....	92
Tabla 27	Costo de materiales directos para el estudio	95
Tabla 28	Costo de mano de obra directa para el estudio.....	96
Tabla 29	Costo directo total para el estudio.....	96
Tabla 30	Costo de materiales indirectos	97
Tabla 31	Gastos indirectos	98
Tabla 32	Costo indirecto total	98
Tabla 33	Costos Administrativos.....	99
Tabla 34	Costos totales	99
Tabla 35	Calculo de los ingresos	100
Tabla 36	Activo Tangible.....	101
Tabla 37	Activo Intangible.....	101
Tabla 38	Capital de trabajo	102
Tabla 39	Flujo de caja	103
Tabla 40	Valor Actual Neto Económico (VANE)	104
Tabla 41	Indicador MTTR de la máquina chancadora.....	106
Tabla 42	Indicador MTTR de las fajas transportadoras.....	108
Tabla 43	Indicador MTTR de las zarandas	110

Índice de figuras

Figura 01	Técnicas de mantenimiento predictivo	16
Figura 02	Aplicación de la técnica de termografía.....	17
Figura 03	Aplicación de la técnica de boroscopia.....	18
Figura 04	Estructura organizacional de la empresa.....	22
Figura 05	Estructura organizacional del área de mantenimiento	23
Figura 06	Piedra chancada de 1/2”	25
Figura 07	Arena gruesa	26
Figura 08	Arcilla.....	26
Figura 09	Volquetes de transporte.....	27
Figura 10	Ubicación de la planta concentradora de la empresa Chapi 99 S.C.R.L.....	29
Figura 11	Máquina Chancadora	31
Figura 12	Faja transportadora.....	34
Figura 13	Zaranda.....	38
Figura 14	Análisis de Ishikawa de la gestión de mantenimiento	49
Figura 15	Metodología para aplicación de las técnicas predictivas	58

Índice de anexos

Anexo 01: Requerimiento de máquinas y equipos para el mantenimiento predictivo	119
Anexo 02: Calculo de los ingresos por mantenimiento de las máquinas.....	120
Anexo 03: Base de datos para el cálculo de los indicadores económicos	121
Anexo 04: Protocolo para la aplicación de las técnicas predictivas	122
Anexo 05: Criterios de evaluación del análisis de criticidad.....	126
Anexo 06: Análisis de criticidad.....	127



Introducción

La operatividad de las máquinas y los equipos en las empresas productivas es fundamental para poder mantener una alta productividad y eficiencia operativa, es por ello que hoy en día las actividades de mantenimiento tienen una gran importancia, para poder garantizar una alta disponibilidad de las máquinas que se tienen en la planta, para producir y una buena confiabilidad para que no fallen al momento de estar en operación.

También se busca tener una buena gestión de mantenimiento, para lo cual es necesario ser eficientes en el uso de los recursos como la mano de obra, materiales, maquinaria, métodos de trabajo entre otros, de esta manera se puede gestionar un buen mantenimiento correctivo, preventivo o predictivo, de acuerdo a la necesidad de la empresa.

La empresa Chapi 99 S.C.R.L. es una cantera de la ciudad de Arequipa que busca mejorar la gestión de mantenimiento en la planta chancadora de agregados por medio de la aplicación de técnicas predictivas que son aplicadas a los componentes de las máquinas que se encuentran en la planta como la máquina chancadora, las fajas transportadoras y las zarandas, a las cuales mediante un trabajo de campo se aplicaron técnicas predictivas como análisis de vibraciones, ultrasonido, pruebas de motor entre otras, considerando factores importantes como la confiabilidad de la técnica, el tiempo de duración y la frecuencia. El objetivo de la aplicación de las técnicas es anticipar las fallas y ser eficiente en el uso de los recursos al momento de intervenir las máquinas en la parada de la planta.

Es por ello que se aplican las técnicas de mantenimiento predictivo y se elabora un catálogo de técnicas como alternativas, para poder aplicarlas y que las personas encargadas del área de mantenimiento puedan escoger las más adecuadas, de esta manera poder aumentar los índices de confiabilidad y disponibilidad de las máquinas.

Capítulo I:

Generalidades

1.1. Planteamiento del problema

A nivel internacional la tendencia en el sector construcción es optimista, sin embargo, se presentan problemas que no permiten un rápido crecimiento como la escasez de mano de obra, los problemas en el abastecimiento, deficiencias en la cadena de suministros, problemas en el mantenimiento de las máquinas lo que hace que se presenten problemas, el sector construcción en Estados Unidos y Europa Occidental presenta buenos horizontes de crecimiento. Se prevé una significativa actividad en el sector de construcción principalmente en las ramas de salud hospitalaria y tecnología. También se espera un crecimiento en América Latina, China y Australasia, donde se proyecta un crecimiento de un 1,8% posterior a la pandemia vivida en el periodo 2023. Se espera que el sector de construcción tome un mayor impulso a partir de 2024 suponiendo un mayor consumo de materias primas e insumos para los proyectos (WTW, 2023).

Según Peters (2024) a nivel internacional se presenta un crecimiento importante en el sector construcción, sobre todo en Estados Unidos, a diferencia de China que todavía presenta problemas en el sector inmobiliario, las empresas del rubro en países como Canadá y Estados Unidos han crecido considerablemente en 14,9% con un 4% de crecimiento que tienen las empresas en otros países de Centroamérica y Sudamérica.

El sector de construcción a nivel nacional ha presentado una caída importante en los últimos dos años, ya que en el periodo 2023 se dio una caída del 8,9% en relación al periodo anterior, esto debido a factores como el fenómeno del niño y en cierta parte por la incertidumbre política que se tiene en el país, sin embargo, en el periodo 2024 se ve un incremento entre el 3% a 4% de crecimiento, lo que hace que los proveedores de materiales e insumos se vean también optimistas, ellos esperan un crecimiento de 4% en sus operaciones lo cual es bueno para poder incrementar los niveles de producción y también tomar acciones sobre la reducción de los costos de operación (Valdivia, 2024).

El crecimiento del sector construcción es muy importante ya que es uno de los principales que consumen los agregados de las canteras a nivel nacional, en el primer trimestre del periodo 2024 se ha registrado un crecimiento importante de 3,8% esto debido al incremento de las inversiones en el sector público y privado siendo los proyectos de infraestructura los más importantes (Arias, 2024).

De acuerdo a la Cámara Peruana de Construcción en la ciudad de Arequipa se ha presentado un crecimiento importante en el sector de construcción con 1.3% hasta el mes de abril registrando un incremento de consumo de cemento y agregados, esto debido al incremento de las obras públicas, el sector privado también ha presentado un incremento en el consumo de materiales lo que ha hecho que se dinamice con mayor fuerza la producción de las canteras en la ciudad de Arequipa (CAPECO, 2024).

Para poder garantizar buenos niveles de producción en las canteras de agregados en la ciudad de Arequipa y aprovechar el crecimiento del sector de construcción es importante que las plantas de chancado se encuentren en buenas condiciones de mantenimiento y así puedan tener altos índices de confiabilidad que les va permitir trabajar de manera constante y no paralizar la producción, también es importante que se mejore la disponibilidad y productividad de las plantas de producción.

La empresa Chapi 99 S.C.R.L. es una cantera en la ciudad de Arequipa que se encuentra ubicada en Charcani s/n del distrito de Cayma, donde cuenta con su planta chancadora y tiene como principales productos a los agregados de piedra chancada, arena y arcilla, para el sector construcción, la planta cuenta con una capacidad de producción de 180 m³/día aproximadamente, en la empresa trabajan un promedio de 18 colaboradores que se encargan de las operaciones y mantenimiento de la planta y los equipos.

La planta chancadora de la empresa Chapi 99 S.C.R.L. no ha podido mantener sus niveles de producción constante en el periodo 2023 y en primer semestre del periodo 2024 presentando problemas importantes en el mantenimiento de los equipos principalmente en la faja transportadora que ha presentado fallas que han hecho que se paralizen las actividades, se cuenta con un plan de mantenimiento preventivo que no ha sido suficiente para poder garantizar una buena confiabilidad y disponibilidad que han presentado indicadores muy bajos siendo estos de 85% y 81% respectivamente. Estos problemas de mantenimiento han afectado de manera considerable con el cumplimiento de los pedidos de los clientes y con el incremento de los costos de mantenimiento de la empresa. Para poder mejorar la gestión de mantenimiento de la planta chancadora de la empresa Chapi 99 S.C.R.L. es importante aplicar técnicas de mantenimiento predictivo a los componentes principales de las máquinas que se tiene en planta, que permita anticipar a las fallas, mantener un inventario importante de repuestos para el mantenimiento, y poder generar una mayor vida útil de los equipos.

La problemática anteriormente mencionada en la empresa Chapi 99 S.C.R.L. genera la necesidad de aplicar técnicas de mantenimiento predictivo que permita mejorar la gestión de mantenimiento de la planta chancadora de la Cantera ubicada en la ciudad de Arequipa.

1.1.1. Descripción del problema

El problema principal que se presenta en la gestión de mantenimiento de la planta chancadora de la empresa Chapi 99 S.C.R.L. es la baja disponibilidad y confiabilidad de los equipos, también se tiene un costo elevado del mantenimiento de la planta, que se ha visto reflejado en una baja productividad en la producción de agregados imposibilitando cumplir con los pedidos requeridos, para poder mejorar la gestión de mantenimiento se plantea la aplicación de técnicas de mantenimiento predictivo mediante la elaboración de un catálogo donde se presente la técnica a aplicar a cada componente, su confiabilidad, tiempos de aplicación y frecuencia de uso que permita anticipar las fallas y tener un mejor uso de los recursos, también poder contar con los repuestos adecuados para el momento de realizar el mantenimiento preventivo.

1.1.2. Antecedentes del problema

La empresa Chapi 99 S.C.R.L. tuvo sus inicios en el año 2014 donde la cantera explotaba piedra chancada y arena y tenía una capacidad de 100 m³/día, dentro de la gestión de mantenimiento el principal mantenimiento era el correctivo.

En el periodo 2019 se empezó a realizar el mantenimiento preventivo con una parada de la planta chancadora donde se realiza el mantenimiento a todos los componentes de la planta, para ello se contrata a una empresa tercera.

En el periodo 2020 se implementaron los indicadores de mantenimiento para poder calcular la disponibilidad y confiabilidad de los equipos principales de la planta chancadora y se contrató personal propio para el área de mantenimiento.

En el periodo 2022 se empezó a trabajar con instituciones públicas en los proyectos que están realizando, incrementando los niveles de producción.

En el periodo 2023 se empezó a controlar el costo de mantenimiento de la empresa Chapi 99 S.C.R.L. para poder identificar oportunidades de mejora, también se implementaron indicadores de la gestión de mantenimiento.

En el periodo 2024 se iniciaron a realizar técnicas de mantenimiento predictivo en los principales componentes de la chancadora como en los motores y equipos críticos.

1.1.3. Formulación del problema

1.1.3.1. Problema general

¿De qué manera aplicación de técnicas de mantenimiento predictivo permiten mejorar la gestión de mantenimiento de la planta chancadora de agregados de la empresa Chapi 99 S.C.R.L. en la ciudad de Arequipa?

1.1.3.2. Problemas específicos

Los problemas específicos para el estudio son:

- ¿Cuál es la situacional actual de la gestión de mantenimiento de la empresa Chapi 99 S.C.R.L.?
- ¿Cuáles son las técnicas de mantenimiento predictivo que se pueden aplicar en la planta chancadora de agregados de la empresa Chapi 99 S.C.R.L.?
- ¿De qué manera se mide la mejora en la gestión de mantenimiento de la chancadora de agregados de la empresa Chapi 99 S.C.R.L.?

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. Objetivo general

Aplicar técnicas de mantenimiento predictivo para mejorar la gestión de mantenimiento de la planta chancadora de agregados de la empresa Chapi 99 S.C.R.L. en la ciudad de Arequipa.

1.2.2. Objetivos específicos

- Realizar el análisis situacional de la gestión de mantenimiento de la empresa Chapi 99 S.C.R.L.
- Proponer las técnicas de mantenimiento predictivo que se pueden aplicar en la planta chancadora de agregados de la empresa Chapi 99 S.C.R.L.
- Desarrollar la evaluación técnica y económica del estudio.

1.3. Justificación

Debido a los problemas que se presentan en la gestión de mantenimiento de la planta chancadora de agregados de la empresa Chapi 99 S.C.R.L. se ve la necesidad de aplicar técnicas de mantenimiento predictivo en los principales componentes de las máquinas y se plantea una justificación operativa, económica, social y personal.

1.3.1. Justificación operativa

La aplicación de las técnicas de mantenimiento predictivo en la planta chancadora de agregados es de suma importancia para poder mejorar la gestión de mantenimiento y así mejorar los indicadores de confiabilidad de los componentes de la chancadora y de la disponibilidad de las máquinas, también se busca anticipar los problemas que se presentan en las máquinas, tener listos los repuestos para cuando se realice la intervención en el mantenimiento preventivo y alargar la vida útil de los equipos.

En la empresa se cuenta con los equipos necesarios para la aplicación de las técnicas predictivas como termografía, pruebas eléctricas, pruebas de motor, ultrasonido, pruebas de aceite entre otras.

1.3.2. Justificación económica

La aplicación de las técnicas de mantenimiento predictivo va a permitir gestionar de mejor manera los recursos al momento de realizar una parada de planta teniendo listos los repuestos y así reduciendo el costo de mantenimiento en la empresa, también se busca mejorar la productividad de los procesos mantenimiento un elevado índice de disponibilidad y confiabilidad que hará que no se paralice de manera imprevista la producción, cumpliendo de esa manera con los requerimientos de los clientes.

1.3.3. Justificación social

Con la mejora de la gestión de mantenimiento en la planta chancadora de agregados se va a mantener de mejor manera las máquinas y equipos garantizando un ambiente de trabajo seguro para los colaboradores, también va a permitir a la empresa ser más competitiva en el sector y mantener los puestos de trabajo para el personal calificado y no calificado de la empresa Chapi 99 S.C.R.L.

1.3.4. Justificación personal

El desarrollo del estudio presenta una justificación personal debido a que se aplicarán herramientas de ingeniería que permitirán a la empresa ser más competitiva y también permitirá la titulación del autor de la investigación.

1.4. Limitaciones de la investigación

En la ejecución de la investigación no se presentan limitaciones, ya que se cuenta con la autorización de la empresa y con el apoyo del personal de la gerencia general y del área de mantenimiento para el uso de la información y para la aplicación de las técnicas de mantenimiento predictivo en la chancadora de agregados de la empresa.

1.5. Hipótesis

Con la aplicación de las técnicas de mantenimiento predictivo se mejorará la gestión de mantenimiento de la planta chancadora de agregados de la empresa Chapi 99 S.C.R.L. en la ciudad de Arequipa.

1.6. Variables

Se identificaron las variables para el estudio.

- a) Variable independiente
 - Técnicas de mantenimiento predictivo
- b) Variable dependiente
 - Gestión de mantenimiento

En la Tabla 1 se realiza la operacionalización de variables para el estudio.

Tabla 1*Operacionalización de variables*

Variables	Dimensión	Indicadores
Independiente: Técnicas de mantenimiento predictivo	- Confiabilidad	- % de confiabilidad de la técnica predictiva
	- Tiempo de aplicación	- Tiempo de duración de la técnica predictiva
	- Frecuencia de aplicación	- Tiempo de aplicación entre una prueba y otra
Dependiente: Gestión de mantenimiento	- Confiabilidad	$Confiabilidad = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100$ MTBF: Tiempo medio entre fallas MTTR: Tiempo medio para reparar
	- Disponibilidad	$Disponibilidad = \frac{HT - HPM}{HT} \times 100$ HT: Horas totales HPM: Horas de parada por mantenimiento

Nota. Elaboración propia.

En la operacionalización se muestran sus dimensiones e indicadores.

1.7. Marco metodológico

Se realiza la metodología de la investigación donde se identifican el tipo, diseño y nivel de investigación y la población y muestra como puntos principales:

1.7.1. Nivel de investigación

La investigación explicativa se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto (Fidias, 2012).

El nivel de investigación para aplicación de técnicas de mantenimiento predictivo para mejorar la gestión de mantenimiento de la planta chancadora de agregados de la empresa Chapi 99 S.C.R.L. de la ciudad de Arequipa, es explicativa.

1.7.2. Diseño de investigación

Según Fidias (2012), el diseño de investigación no experimental, consiste en la recolección de datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar variable alguna, es decir, se obtiene la información, pero no altera las condiciones existentes.

El trabajo de investigación presenta un diseño no experimental ya que no va a presentar modificaciones de la variable de gestión de mantenimiento.

1.7.3. Enfoque de investigación

El enfoque del estudio es cuantitativo ya que se van a realizar pruebas en la aplicación de las técnicas de mantenimiento predictivo en la chancadora de agregados de la empresa Chapi 99 S.C.R.L. de la ciudad de Arequipa, estos resultados se van a presentar en tablas y gráficos finales.

1.8. Población y muestra

El objeto de estudio es la planta chancadora de agregados de la empresa Chapi 99 S.C.R.L. de la ciudad de Arequipa, donde se consideran todos los componentes de la planta para su análisis.

Para realizar las pruebas en la aplicación de las técnicas de mantenimiento predictivo se consideran todos los componentes de la planta chancadora de agregados que hacen un total de 48 componentes.

1.9. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para poder obtener la información necesaria para la elaboración del estudio se aplicarán las siguientes técnicas e instrumentos.

a) Técnicas

Según Fidias (2012) las técnicas son el procedimiento o forma particular de obtener datos o información.

- **Trabajo de campo:** se aplica esta técnica para poder levantar la información sobre los valores requeridos en la aplicación de las técnicas de mantenimiento predictivo en la chancadora de agregados, los datos que se quieren obtener son la confiabilidad de la técnica, el tiempo de aplicación y la frecuencia que se va aplicar la técnica, también el modo de fallas y los componentes de las máquinas y equipos.

- **Análisis documental,** también se realiza esta técnica para conocer cómo se encuentra la gestión de mantenimiento y cuáles son las técnicas predictivas que se han aplicado a los componentes de la planta chancadora de agregados, se toma en cuenta la información del área de mantenimiento del año 2023.

b) Instrumentos

Según Fidias (2012) los instrumentos son cualquier recurso, dispositivo o formato, que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información.

- **Formato de mantenimiento:** se utiliza como instrumento para anotar los datos que se obtienen en el trabajo de campo para conocer la confiabilidad, tiempos de ejecución y resultados de la aplicación de las técnicas de mantenimiento predictivo en la planta chancadora de agregados.
- **Fichas técnicas y formatos:** Se utiliza este instrumento para conocer los daos relacionados a la gestión de mantenimiento actual y también para conocer los resultados y datos que se tiene cuando se han aplicado las técnicas predictivas a algunos componentes, este instrumento se utiliza para la técnica de análisis documental.

1.10. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Se utilizan técnicas de procesamiento de datos como el análisis estadístico y los instrumentos para esta técnica es el programa estadístico Microsoft Excel, que va a permitir elaborar tablas y gráficos donde se va a resumir la información recogida y ser convertida en información.

Capítulo II:

Marco teórico

2.1. Antecedentes de la investigación

Se presentan los antecedentes nacionales e internacionales.

2.1.1. Antecedentes nacionales

En el estudio de Rodriguez (2021), denominada “Implementación de un plan de mantenimiento para la planta de chancado Sojo a fin de aumentar la productividad de piedra triturada”, desarrollado en la ciudad de Trujillo, Perú, tiene como objetivo implementar un plan de mantenimiento que le permita a la empresa aumentar la producción en la planta de chancado donde se tiene como principal producto la piedra triturada. Para el inicio del análisis de la planta de producción se pudo identificar que no se producía las cantidades deseadas esto debido a la gran cantidad de fallas que presentaban los equipos de la planta lo que ocasiona una parada imprevista, para el levantamiento de la información se aplicaron indicadores de gestión y el análisis de criticidad tomando como factores de evaluación los costos, medio ambiente, producción, tiempo de reparación, operación y calidad, encontrándose así equipos críticos como el cargador frontal, la chancadora Pegson y la zaranda a los cuales se realizó un análisis más profundo analizando sus sub sistemas y las ocurrencias que presentaron en el último año, para poder mejorar los indicadores de la gestión de mantenimiento se aplicaron los programas de mantenimiento predictivo y preventivo en la planta chancadora consiguiendo resultados positivos, incrementando los indicadores de productividad, confiabilidad, MTBF, disponibilidad y el MTTR.

En el estudio de Huaman (2024), denominado, “Modelo de mantenimiento preventivo para incrementar la disponibilidad de las chancadoras en la industria minera Cusco, 2024”, el estudio tiene como objetivo elaborar un modelo que permita conocer como el mantenimiento aplicado a la empresa permite mejorar la disponibilidad que pueden presentar las máquinas de una planta chancadora. Como punto inicial se han considerado indicadores de mantenimiento que son vitales como la disponibilidad que presentan en la actualidad las máquinas de la planta, también la eficiencia y el tiempo de reparación entre fallas, también se han identificado los principales problemas que generan una mala gestión de mantenimiento, se tiene la falta de capacitación, el desgaste de las máquinas, la falta de seguimiento y control mediante formatos o fichas de trabajo, y la falta de producción que hace que algunas máquinas se encuentren paradas. Dentro de las mejoras y herramientas de gestión de mantenimiento utilizadas para elaborar el modelo se realizó un análisis de criticidad de los

equipos de la planta, obteniendo como resultado que la chancadora de mandíbula y la cónica son las más críticas. A ellas se planteó los indicadores propuestos como el MTBF y MTTR. Los resultados que se obtuvieron fueron positivos ya que con el modelo de mantenimiento que se aplicó basado en la criticidad de las máquinas se pudo mejorar la eficiencia de los indicadores que paso el de MTBF de 235 a 164 horas.

En el estudio de Melvin (2024), titulado “Implementación de un plan de mantenimiento predictivo en la gestión del mantenimiento de equipos críticos en el área de molienda de la Mina Tajus Perú 2021” se ha realizado el estudio con la finalidad de proporcionar un plan de mantenimiento predictivo que pueda aplicarse a las máquinas del área de molienda de una empresa que permita mejorar la gestión de mantenimiento. En el análisis realizado en el área de mantenimiento de la empresa se ha identificado que las máquinas presentan una disponibilidad de 80,66% y también se realizó un análisis de las fallas que presentan, donde el 55,31% corresponden a las máquinas de los procesos de molienda. Para las mejoras propuestas se partió con un análisis de criticidad donde se identificaron 5 máquinas críticas en donde se tiene el molino de bolas como uno de los principales. También se aplicaron indicadores que permitieron identificar que técnicas predictivas se pueden aplicar y que recursos se van a necesitar, se obtuvo como resultado que las mejores técnicas predictivas son el análisis de aceites, análisis de vibraciones, ultrasonido y termografía, para lo cual se necesita 107.770,56 dólares como inversión, debido al tamaño de la planta y de los equipos a medir. Con estas técnicas se obtuvo como resultado una disminución de fallas de 41,07% y una mejora en la disponibilidad de los equipos de 96,97%.

2.1.2. Antecedentes internacionales

En el estudio de Loya (2020), denominado “Diseño de un plan de mantenimiento predictivo para el área de abastecimiento corte térmico de la empresa Sedemi” desarrollado en la ciudad de Quito, Ecuador, el estudio tiene como objetivo, diseñar un plan de mantenimiento basado en técnicas predictivas como la termografía para poder mejorar disponibilidad y confiabilidad de la maquinaria que se encuentra en estado crítico en el área de abastecimiento y corte térmico. Se realiza un análisis situacional del área de corte térmico donde se procesa la materia prima, y se realiza el corte por plasma, los principales problemas se identificaron en esta área con bajos índices de confiabilidad y disponibilidad, también se aplica un análisis de criticidad para identificar cuáles son las máquinas más críticas y por último, se realiza un análisis de los datos del área de mantenimiento para conocer los problemas más críticos, en el análisis se identificaron los principales componentes de las

máquinas para aplicar las técnicas de mantenimiento predictivo. Como mejoras en la gestión de mantenimiento se identifica como principal técnica la termografía, ya que los principales procesos se basan al plasma y las máquinas que lo producen, el factor principal es la temperatura. Como resultados se tiene que se mejoró el tiempo medio de reparación que paso de 7 horas sin mantenimiento predictivo a 4 horas con mantenimiento predictivo, la disponibilidad paso del 92% al 97% y el indicador de confiabilidad paso de 60,7% sin mantenimiento predictivo a 87,0% con mantenimiento predictivo, mejorándose los indicadores de mantenimiento de manera considerable.

En el estudio de Vilches (2023) denominado “Modelo predictivo de fallas para chancadores de la planta de chancado secundario y terciario de división Chuquicamata de Codelco” tiene como objetivo, elaborar un modelo que permita conocer las fallas que se presentan en la planta chancadora en la Chuquicamata, específicamente trabajando con las máquinas chancadora secundaria y terciaria. Para el estudio se ha considerado la data histórica de la empresa y también el trabajo de campo realizado, se ha recogido información para elaborar indicadores como, tiempo entre fallas (TEF). El modelo aplicado en la empresa les permite obtener resultados positivos, con una precisión de 91.7%. Los resultados más importantes se obtuvieron en el chancador secundario MP1000, el chancador terciario 8 donde los valores de precisión de las fallas oscilan entre 90% y 95%.

2.2. Bases teóricas

Las bases teóricas que se desarrollan están en función a las dos variables identificadas en el estudio.

2.2.1. Gestión de mantenimiento

La gestión de mantenimiento se define como un servicio esencial que es parte del flujo de las actividades que se dan de manera diaria en la planta de producción de cualquier empresa. Más aun cuando en los trabajos diarios de una planta siempre se tiene la ayuda de una máquina o equipo (Morales, 2024).

2.2.1.1. Objetivos de mantenimiento

Según Perez (2021) los objetivos de realizar el mantenimiento en una planta son los siguientes:

- Maximizar la vida útil de todas las máquinas y quipos de una planta.
- Optimizar la disponibilidad de las máquinas y los equipos productivos.
- Optimizar los recursos del talento humano del área de mantenimiento.
- Disminuir los costos de mantenimiento.

2.2.1.2. Tipos de mantenimiento

Se desarrollan los principales tipos de mantenimiento que se tiene para la aplicación de una planta de producción.

a) Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo se define como un método de prevención que se ejecuta siguiendo un cronograma de mantenimiento que está orientado a evitar posibles interrupciones en la producción y averías en las máquinas (Morales, 2024).

Las principales acciones que se realizan para monitorear los equipos son las siguientes:

- Seguimiento de las acciones proporcionadas por el fabricante
- Inspecciones de rutina
- Sustitución de los componentes de las máquinas
- Reforma de equipamientos

El mantenimiento preventivo se fundamenta en una serie de labores o actividades planificadas que se llevan a cabo dentro de periodos definidos, se diseña con el objetivo de garantizar que los activos de las compañías cumplan con las funciones requeridas dentro del entorno de operaciones para optimizar la eficiencia de los procesos; para prevenir y adelantarse a las fallas de los elementos, componentes, máquinas o equipos; como también hace referencia a diferentes acciones, como cambios o reemplazos, adaptaciones, restauraciones, inspecciones, evaluaciones, etc., realizadas en períodos de tiempos por calendario o uso de estos (tiempos dirigidos) (Perez, 2021).

b) Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo en las plantas trata de una planificación de mantenimiento de las máquinas y equipos que está basado en datos o instrumentos específicos, los principales parámetros que se deben monitorear son muy importantes para tener buenos resultados (Morales, 2024).

- Temperatura
- Boroscopia
- Presión
- Intervalo de tiempo entre fallas
- Análisis de vibraciones mecánicas
- Análisis de ultrasonidos
- Control de espesores en equipos estáticos
- Termografía
- Análisis de aceites
- Luz ultravioleta
- Análisis del estado químico de aceites
- Ensayos por ultrasonido

El principal beneficio del mantenimiento predictivo es el hecho de la alta capacidad de prevenir puntualmente cuándo y dónde ocurrirá el próximo problema para evitar trastornos futuros (Morales, 2024).

Es un tipo de mantenimiento, donde se relacionan los parámetros físicos y los desgastes de las máquinas. En el mantenimiento predictivo se tiene en cuenta la medición, el seguimiento y el monitoreo de parámetros y las circunstancias de operación de un equipo-máquina o una instalación. A tal producto, se precisa y se gestionan valores de pre-alarma y de actuación de todas aquellas variables que se contemplan relevantes de medir y gestionar (Perez, 2021).

En la Figura 1 se muestran las principales técnicas de mantenimiento predictivo que se pueden utilizar.

Figura 1

Técnicas de mantenimiento predictivo



Nota. Perez, 2021.

Las técnicas de mantenimiento predictivo se van a utilizar de acuerdo a los resultados que se quieren obtener y a los materiales que se van a inspeccionar.

c) Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo consiste en realizar reparaciones solamente después de alguna falla inesperada. Este tipo de mantenimiento se da sin ningún reparo o planificación (Morales, 2024).

El mantenimiento correctivo posee menos costo de comparación a los tipos de mantenimiento planificados, por lo tanto, su potencial de pérdida es alto debido a la interrupción de la producción (Morales, 2024).

También se le denomina mantenimiento reactivo, que es utilizado en un alto porcentaje por la industria. El mantenimiento correctivo se aplica cuando la máquina deja de operar, porque se presenta la falla o avería y su objetivo es poner en marcha su funcionamiento, afectando lo menos posible la productividad (Perez, 2021).

2.2.1.3. Técnicas de mantenimiento predictivo

Las principales técnicas de mantenimiento predictivo se desarrollan a continuación:

a) Análisis de vibraciones

El análisis de las vibraciones mecánicas en el mantenimiento industrial, permite generar alarmas que se traducen, en el comportamiento de un componente o elemento vibrante en una máquina y, por lo tanto, la urgencia de la prevención de las fallas que traen este tipo de situaciones a corto y medio plazo.

b) Termografía

Es una de las técnicas que se apoya en la tecnología, que se ha convertido en una herramienta muy valiosa del diagnóstico para el mantenimiento predictivo. Aplicando termografía se descubren posibles fallas que suelen ser indetectables a simple vista, lo que facilita hacer los correctivos necesarios para evitar que se produzcan estas fallas que ocasionan altos costos en los procesos productivos industriales. En la Figura 2 se muestra como se aplica la técnica predictiva de termografía.

Figura 2

Aplicación de la técnica de termografía



Nota. Perez, 2021.

c) Boroscopia

Es una técnica de monitoreo o inspección no destructiva que se aplica en las superficies, empleado generalmente en soldaduras, para así validar que su integridad mecánica cumple con las especificaciones y estándares, también se puede aplicar a componentes, máquinas y equipos.

En la Figura 3 se muestra como se aplica la técnica predictiva de boroscopia.

Figura 3

Aplicación de la técnica de boroscopia



Nota. Perez, 2021.

Es una inspección visual que puede ser establecida como el examen de un objeto aplicando el sentido de la visión que se complementa con una mezcla de diferentes instrumentos de amplificación, grabación, registro, entre otros.

d) Análisis en aceites

Estas técnicas de estudio de aceites y lubricantes son muy importantes para establecer la degradación del lubricante o aceite, ocasionada por el ingreso de contaminantes que acelera su degradación y también por la presencia de partículas que generan desgaste. La contaminación y una baja calidad del aceite genera un mayor desgaste del componente o elemento, por lo tanto, el equipo acabará fallando.

El análisis del aceite detecta la contaminación y la degradación del lubricante antes que esas circunstancias ocasionen el fallo del equipo.

Capítulo III:

Descripción de la empresa

3.1. La empresa

La empresa Chapi 99 S.C.R.L. es una cantera en la ciudad de Arequipa, la cual se encuentra ubicada en Charcani s/n del distrito de Cayma, desarrolla sus actividades desde el año 2015, donde inicio produciendo materiales y agregados para la construcción, la empresa cuenta con una planta chancadora de agregados y tiene como principales productos, a la piedra chancada de diferentes tamaños, estos se producen de acuerdo a los requerimientos de los clientes, también cuenta con productos como la arena y arcilla, que son bien utilizados en el sector construcción, la planta chancadora cuenta con una capacidad de producción de 180 m³/día. Para alcanzar este nivel de producción se cuenta con promedio de 18 colaboradores que se encargan de las operaciones y mantenimiento de la planta chancadora y los equipos con los que se cuenta (Chapi 99 S.C.R.L., 2025).

La planta chancadora de la empresa Chapi 99 S.C.R.L. ha presentado un crecimiento bastante importante en sus inicios, contando con clientes estratégicos que solicitaban los productos con contratos de 6 meses como mínimo, lo que le permitió a la empresa crecer de manera rápida y poder contar con sus propios equipos como retroexcavadoras, camionetas y camiones de carga, sin embargo, en los últimos años no ha podido mantener sus niveles de producción constante, esto debido a los problemas que están presentando las máquinas y componentes de la chancadora de agregados, en el periodo 2024, presenta bajos niveles de productividad, no alcanzando los estándares de producción ya establecidos.

La empresa presenta problemas importantes en el mantenimiento de los equipos principalmente en la faja transportadora donde se ha presentado fallas frecuentes y repetitivas que han hecho que se paralizen las actividades de la línea de producción, en la actualidad se aplica un plan de mantenimiento preventivo, el cual no ha sido la solución para poder mantener los indicadores de mantenimiento en buenos niveles, la confiabilidad y disponibilidad que han presentado los últimos años son muy bajos siendo estos de 85% y 81% respectivamente (Chapi 99 S.C.R.L., 2025).

3.2. Cultura organizacional

La empresa Chapi 99 S.C.R.L. siendo una empresa Arequipeña, ha definido su cultura organizacional por medio de su dueño y Gerente general, que plasmado la Visión y Misión empresarial como cimientos de los objetivos que se quieren logran como empresa y también para el desarrollo de las iniciativas estratégicas que se han tomado a lo largo de los años.

El desarrollo de la cultura organizacional de la empresa Chapi 99 S.C.R.L. les permite a sus trabajadores poder identificarse con la empresa y trabajar alineado a los objetivos empresariales.

3.2.1. Visión de la empresa

La visión con la que cuenta la empresa Chapi 99 S.C.R.L. fue definida en el año 2019, cuando se establecieron los cimientos del plan estratégico empresarial.

“Ser la cantera más importante de la ciudad de Arequipa, líder en la producción de agregados para la construcción, brindando productos de alta calidad que cumplan con los estándares más exigentes de todos los sectores industriales” (Chapi 99 S.C.R.L., 2025).

3.2.2. Misión de la empresa

La Misión con la que cuenta la empresa Chapi 99 S.C.R.L. de la misma manera fue definida en el año 2019.

“Somos una empresa Arequipeña que trabaja de manera responsable con el medio ambiente, en la explotación de agregados para la construcción, con altos de calidad en todos sus productos, se trabaja de manera responsable con sus colaboradores buscando la rentabilidad y bienestar de sus Stakeholders” (Chapi 99 S.C.R.L., 2025).

3.2.3. Valores de la empresa

Los valores de la empresa Chapi 99 S.C.R.L. son la base para el trabajo diario por parte de los colaboradores y la relación que mantienen con los puestos jerárquicos superiores y con sus compañeros de trabajo, estos son promulgados y puestos en práctica por todos los integrantes de la empresa.

- **Respeto:** es uno de los principales valores establecidos por la empresa, la cual busca que exista un respeto mutuo entre todos los colaboradores de diferentes áreas y niveles jerárquicos.

- **Integridad:** en todo momento cuando, desde que se ingresa a las instalaciones de la empresa y se realizan las actividades diarias, se busca la integridad de los colaboradores sin importar donde se desempeñan, se quiere un trabajador que cumpla las políticas de la empresa y fomente la honestidad y respeto con su trabajo y compañeros.
- **Responsabilidad:** al momento de realizar las actividades que se le ha encomendado en el puesto de trabajo, y también cuando tiene personal y recursos de la empresa asignados a su mando, se busca que los colaboradores trabajen con responsabilidad.
- **Creatividad:** es un valor inculcado en todos los colaboradores de la empresa, para que puedan innovar nuevas formas de trabajo y ser cada vez más eficientes en su puesto de trabajo.
- **Trabajo en equipo:** se busca alcanzar los objetivos individuales planteados para cada colaborador, sin embargo, estos no están por encima de los objetivos empresariales, es por ello que se fomenta el trabajo en equipo que le permita a la empresa ser más competitiva.

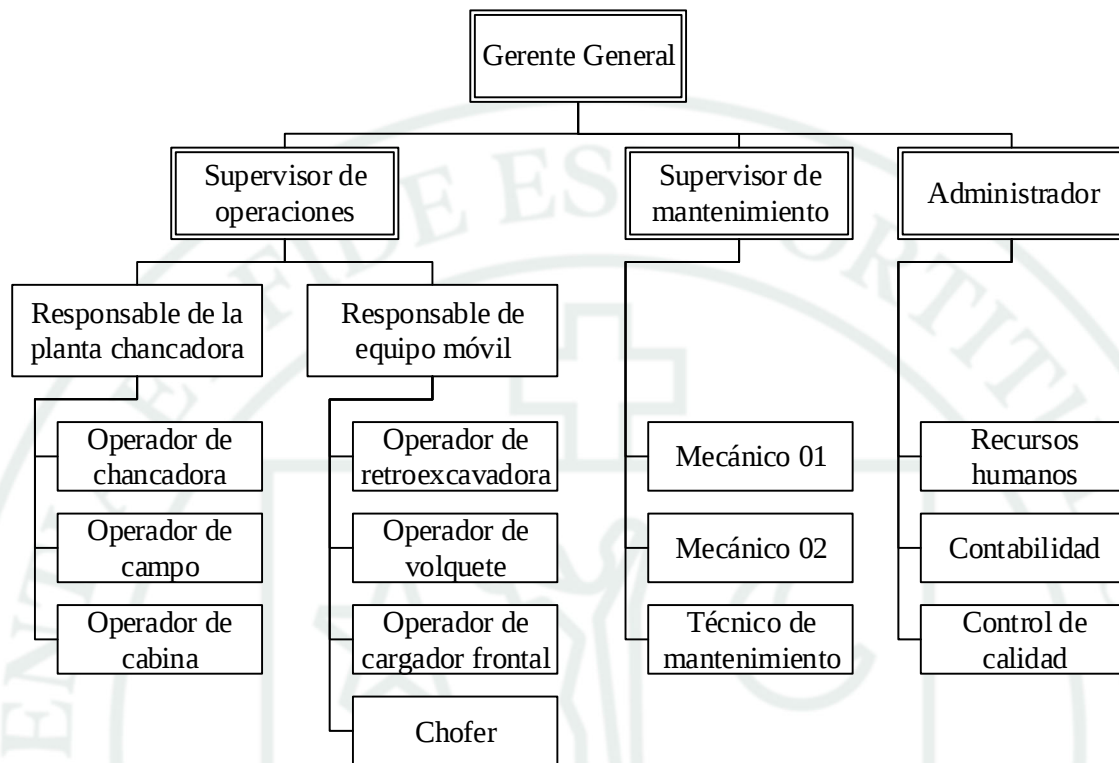
3.3. Estructura organizacional

La empresa Chapi 99 S.C.R.L. presenta una estructura organizacional, que no cuenta con muchos niveles jerárquicos, la mayor cantidad de sus colaboradores son de campo, están en el área de producción y mantenimiento siendo muy pocos de ellos los administrativos, en la actualidad la empresa cuenta con 13 colaboradores operativos y 5 administrativos, sin embargo, cuando se requiere de mayor cantidad de mano de obra se contrata personal por el periodo que puede durar un proyecto.

En la Figura 4 se desarrolla la estructura organizacional de la empresa Chapi 99 S.C.R.L.

Figura 4

Estructura organizacional de la empresa



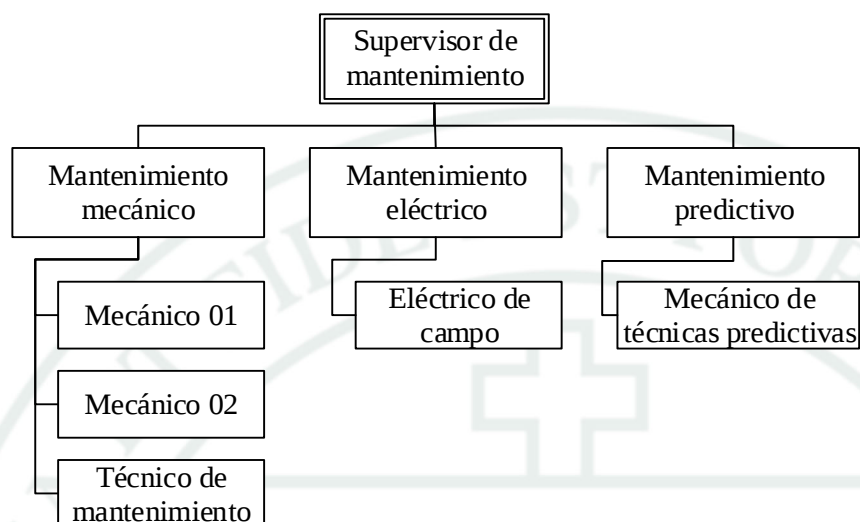
Nota. Recursos humanos de la empresa Chapi 99 S.C.R.L.

La empresa cuenta con personal calificado para las operaciones de la planta chancadora, el supervisor cuenta con años de experiencia el cual ha capacitado al personal de campo, en el área de mantenimiento se cuenta con personal calificado y especializado como el supervisor de mantenimiento, sin embargo, el personal técnico no cuenta con las capacidades para realizar los trabajos preventivos, por lo que se tiene que contratar en ocasiones a empresas contratistas en mantenimiento de equipos mineros.

El personal de mantenimiento está a cargo del supervisor de mantenimiento, la estructura organizacional del área sede muestra en la Figura 5.

Figura 5

Estructura organizacional del área de mantenimiento



Nota. Recursos humanos de la empresa Chapi 99 S.C.R.L.

El personal del área de mantenimiento tiene como máximo responsable al supervisor el cual cuenta con 05 personas a su cargo que se encargan del mantenimiento correctivo y preventivo de las máquinas y equipos de la planta chancadora, el mantenimiento del equipo móvil se realiza por medio de las concesionarias.

3.4. Maquinaria y equipos

La maquinaria con la que cuenta la empresa Chapi 99 S.C.R.L. se divide en dos grandes grupos, las máquinas y componentes de la planta chancadora de agregados y los equipos móviles para la producción.

En la Tabla 2 se presenta la maquinaria de la planta chancadora, la cual se encuentra codificada para llevar un mejor control sobre los mantenimientos realizados, tanto en mantenimiento correctivo y preventivo.

Tabla 2*Máquina y equipos de la planta chancadora*

Código	Cant.	Descripción	Marca	Capacidad (t/hr)
CHFT01	1	Faja transportadora 01	-	80
CHFT02	1	Faja transportadora 02	-	80
CHFT03	1	Faja transportadora 03	-	80
CHFT04	1	Faja transportadora 04	-	80
CHFT05	1	Faja transportadora 05	-	80
CHCH01	1	Chancadora 01	FF Mineral	250
CHZR01	1	Zaranda	Ludowici	320
CHZR02	1	Zaranda	-	250
CHVL01	1	Volquete 01	Volvo	20
CHVL02	1	Volquete 02	Volvo	20
CHVL03	1	Volquete 03	Volvo	20
CHVL04	1	Volquete 04	Volvo	20
CHRT01	1	Retroexcavadora	CAT	-
CHCF01	1	Cargador frontal 01	CAT	-

Nota. Elaboración propia / Chapi 99 S.C.R.L.

En la empresa Chapi 99 S.C.R.L. se cuenta con una chancadora de agregados siendo la máquina principal de la planta que trabaja de manera conjunta con las fajas transportadoras y las zarandas. También se cuenta con el equipo móvil a los cuales no se aplicarán las técnicas predictivas.

3.5. Productos y servicios

Los productos que oferta la empresa Chapi 99 S.C.R.L. son la piedra chancada, arena y arcilla como los principales, dentro de la piedra chancada que es uno de los principales productos se tiene diferentes tamaños.

3.5.1. Productos

Los productos ofrecidos por la empresa Chapi 99 S.C.R.L. están orientados al sector construcción, para lo cual tienen que contar con certificación para poder ser utilizados en cualquier proyecto.

a) Piedra chancada

La piedra chancada es una de las principales materias primas para la ejecución de los proyectos de todo tamaño, para la construcción, es por ello que en la planta chancadora se producen diferentes tamaños de piedra.

En la Figura 6 se muestra el principal producto de la planta chancadora que es la piedra chancada de 1/2”.

Figura 6

Piedra chancada de 1/2”



Nota. Cantera Chapi 99 S.C.R.L.

La producción que realiza la chancadora Chapi 99 S.C.R.L. es de piedra chancada de 1/2”; de 1” y de 3/4” como los principales productos, estos se producen de acuerdo a los requerimientos de los clientes.

b) Arena

La empresa Chapi 99 S.C.R.L. también produce arena, en la presentación de arena fina y arena gruesa, los niveles de producción son de acuerdo a lo que requiere el cliente.

En la Figura 7 se muestra uno de los principales productos de la planta chancadora.

Figura 7

Arena gruesa



Nota. Cantera Chapi 99 S.C.R.L.

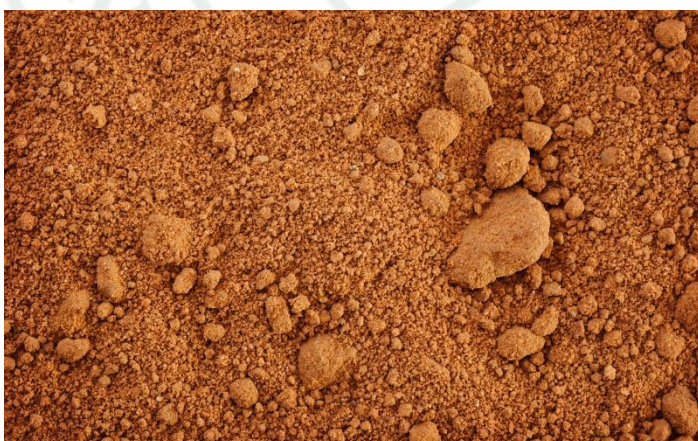
En la Figura anterior se muestra la arena gruesa que se produce en la planta chancadora.

c) Arcilla

La arcilla es uno de los productos que ofrece la planta chancadora de la empresa Chapi 99 S.C.R.L. es utilizado en los proyectos del sector construcción. Es característico por su color, en la Figura 8 se muestra la arcilla que se produce.

Figura 8

Arcilla



Nota. Cantera Chapi 99 S.C.R.L.

La arcilla es el producto menos comercializado en la cantera de la empresa Chapi 99 S.C.R.L.

3.5.2. Servicios

La empresa Chapi 99 S.C.R.L. ofrece a sus clientes todos los productos para el sector construcción como la piedra chancada, arena y arcilla principalmente, también ofrece servicios que son complementarios a los productos, es importante contar con el servicio de transporte y de certificación de acuerdo a los requerimientos de los clientes ya que algunos de ellos lo solicitan para poder garantizar la calidad de las materias primas e insumos en sus proyectos.

a) Transporte

El transporte es uno de los servicios ofrecidos por la empresa Chapi 99 S.C.R.L. para poder trasladar el producto a diferentes lugares, los volquetes con los que cuenta la empresa están implementados para llegar a los lugares más difíciles de la ciudad y de esta manera cumplir con la entrega a tiempo a los clientes:

En la Figura 9 se muestran los volquetes utilizados para el transporte del material de la planta chancadora hacia el proyecto de los clientes.

Figura 9

Volquetes de transporte



Nota. Empresa Chapi 99 S.C.R.L.

Se utilizan los volquetes marca CAT para el transporte del material.

b) Certificación de calidad

Se brinda el servicio de certificación para el control de calidad de los materiales como la arena fina y arena gruesa, en la mayoría de los proyectos mineros que desean construir instalaciones, se solicita el certificado de calidad, este se proporciona a un precio cómodo para los clientes.

3.6. Instalaciones

La planta chancadora de la empresa Chapi 99 S.C.R.L. se encuentra ubicada en la parte alta de la ciudad de Arequipa, específicamente en Acequia Alta del Distrito de Cayma. En estas instalaciones se cuenta con una chancadora de piedra, también con fajas transportadoras y zarandas, donde se realiza la producción. Se pueden identificar varios puntos de producción y carreteras diseñadas por la empresa.

En la Figura 10 se identifica donde se encuentra ubicada la planta chancadora de agregados.

Figura 10

Ubicación de la planta concentradora de la empresa Chapi 99 S.C.R.L.



Nota. Elaboración propia.

Capítulo IV:

Análisis situacional

4.1. Situación actual de la planta chancadora

La planta chancadora de agregados de la empresa Chapi 99 S.C.R.L. en la actualidad tiene buenos niveles de producción, que no se han podido mantener debido a los problemas de mantenimiento que presentan sus máquinas y componentes que han hecho que la productividad disminuya, la planta chancadora presenta en su conjunto indicadores de mantenimiento como la disponibilidad que alcanza un valor de 81% y la confiabilidad que alcanza un valor de 85%, estando por debajo de lo deseado.

La planta chancadora de agregados está compuesta principalmente por la chancadora de agregados, las fajas transportadoras y las zarandas, conjunto de máquinas donde se han evidenciado problemas importantes, incrementándose el mantenimiento correctivo, y donde ya no es suficiente realizar paradas de la planta para realizar el mantenimiento preventivo.

Para poder conocer más a detalle cómo se está llevando a cabo la gestión de mantenimiento de la planta chancadora de agregados de la empresa Chapi 99 S.C.R.L. se analizan cada una de las máquinas y sus componentes para poder plantear alternativas de solución en base a las técnicas de mantenimiento predictivo.

4.2. Estructura de las máquinas de la chancadora de agregados

Como punto de inicio para el análisis situacional se analiza la estructura de cada una de las máquinas de la planta chancadora para conocer cuáles son los componentes que la integran.

4.2.1. Máquina chancadora

En la máquina chancadora es donde se ejecuta el primer proceso por el que pasan los agregados, donde se realiza el chancado de la piedra para poder sacar el producto de diferentes tamaños y presentaciones, el chancado es un proceso vital para el proceso productivo y en la actualidad es donde se presentan la mayor cantidad de problemas en el mantenimiento por lo que se ha convertido en el cuello de botella.

Es por ello que los esfuerzos en mejorar los indicadores de disponibilidad y confiabilidad están enfocados en el inicio de las operaciones que es el chancado primario, de ahí la importancia de conocer cada uno de los componentes de la máquina para poder

proponer técnicas de mantenimiento predictivo que permitan mejorar los indicadores que se tiene.

En la Figura 11 se presenta la máquina chancadora de la planta de la empresa Chapi 99 S.C.R.L.

Figura 11

Máquina Chancadora



Nota. Empresa Chapi 99 S.C.R.L.

En la máquina se pueden observar sus componentes y equipos que la componen como las fajas transportadoras.

Es importante conocer cada uno de los componentes de la máquina chancadora de piedra para lo cual en la Tabla 3 se presentan cada uno de los componentes de acuerdo al fabricante y las fallas frecuentes que ha presentado en el ultimo periodo 2024.

Tabla 03*Fallas frecuentes de los componentes de la chancadora*

IT	Descripción	Fallas presentadas
1	Motor eléctrico principal	8
2	Main frame	3
3	Araña	4
4	Bomba lubricación	4
5	Enfriador	5
6	Manto	4
7	Líneas y accesorios de grasa	2
8	Transformador	7
9	Bomba lubricación	6
10	Reservorio de aceite	3
11	Tolva	2
12	Bomba de grasa	4
13	Bomba hidráulica	4
14	Cóncavos	2
15	Excéntrica	4
16	Bomba lubricación	4
17	Eje principal	5

Nota. Elaboración propia.

Se han identificado los principales componentes de la máquina chancadora de agregados, haciendo un total de 17 componentes, de los cuales los que han presentado mayores problemas son el motor eléctrico con 8 fallas y el transformador con 7 fallas, otro de los componentes críticos es la bomba hidráulica.

De acuerdo a las fallas presentadas las técnicas de mantenimiento predictivo que pueden detectar las fallas se presentan en Tabla 04.

Tabla 04

Técnicas de mantenimiento predictivo para identificar las fallas frecuentes de la chancadora

Componente	Ultrasonido phase array	Vibraciones	Inspección visual	Termografía	Análisis de aceites	Pruebas eléctricas	Escaneo láser	Líquidos penetrantes
Motor eléctrico principal		x		x		x		
Araña	x		x				x	x
Manto	x		x				x	
Transformador				x		x		
Cóncavo	x		x				x	
Excéntrica	x	x						
Sistema de lubricación					x			
Eje principal		x	x					

Nota. Elaboración propia.

Las técnicas de mantenimiento predictivo que puede analizar la mayor cantidad de componentes de la chancadora es el ultrasonido phase array seguido de análisis de vibraciones.

4.2.2. Fajas transportadoras

Las fajas transportadoras que son parte de la planta chancadora de agregados se encargan de trasladar el material, para las zarandas, en la actualidad vienen presentando problemas importantes en el mantenimiento que se les realiza, también presentan un desgaste natural por el trabajo diario que hace que se tenga un mantenimiento correctivo frecuente, sobre todo en el motor eléctrico.

Para poder identificar los problemas que se presentan en las fajas transportadoras es primordial conocer todos los componentes que son parte de la máquina, para poder evaluarlos cuando se realiza una parada, para realizar el mantenimiento preventivo, se tiene componentes críticos como los polines y bastidores; el transformador, la caja de engranajes, el variador de frecuencia, el chute y el motor eléctrico como los principales.

La faja transportadora de la empresa Chapi 99 S.C.R.L. se muestra en la Figura 12.

Figura 12

Faja transportadora



Nota. Empresa Chapi 99 S.C.R.L.

Las fajas transportadoras cumplen un papel muy importante para mejorar la productividad en la producción de agregados para la construcción, por lo que las paradas imprevistas retrasan los trabajos y las entregas a los clientes, es por ello de la importancia de

aplicar las técnicas predictivas para poder anticipar las fallas como el análisis vibracional entre otras.

También las fallas frecuentes tienen un impacto directo sobre la vida útil de las máquinas, las fajas transportadoras de la empresa presentan una antigüedad y un desgaste importante, es por ello que se monitorea de manera frecuente su funcionamiento para evitar las paradas imprevistas.

En la Tabla 5 se han identificado los principales componentes que son parte de la faja transportadora y a los cuales se aplica las técnicas de mantenimiento predictivo.

Tabla 5

Fallas frecuentes de los componentes de las fajas transportadoras

IT	Descripción	Fallas presentadas
1	Motor eléctrico	8
2	Polines y bastidores	3
3	Chute	6
4	Faja	4
5	Transformador	8
6	Acople de baja	6
7	Variador de frecuencia	6
8	Acople baja de traslación	4
9	Acople hidráulico	4
10	Caja engranajes de traslación	6
11	Poleas y chumaceras	4
12	Volante	3
13	Poleas de traslación	4
14	Caja de engranajes	6
15	Motor de traslación	7
16	Tensor	2

Nota. Elaboración propia.

En la Tabla anterior se han identificado los componentes de la faja transportadora, siendo 16 los principales a los cuales se realiza un seguimiento exhaustivo en las paradas de la planta, cuando se realiza el mantenimiento preventivo, también se debe aplicar las técnicas de mantenimiento predictivo para mejorar sus indicadores de confiabilidad y disponibilidad.

Con la aplicación de las técnicas predictivas se conoce como se encuentra cada componente de la máquina y así poder anticipar las fallas, conocer cuales los componentes que no están trabajando de buena manera y poder cambiarlos, realizar las compras de los repuestos, preparar la documentación necesaria para conocer los antecedentes del mantenimiento, priorizar las actividades y reparaciones de los puntos más críticos y planificar la mano de obra y los trabajos de mantenimiento.

De acuerdo a las fallas presentadas las técnicas de mantenimiento predictivo que pueden detectar las fallas en la faja transportadora se presentan en Tabla 6.

Tabla 6

Técnicas de mantenimiento predictivo para identificar las fallas frecuentes de la faja transportadora

Componente	Termografía	Líquidos penetrantes	Vibraciones	Pruebas eléctricas	Análisis de aceites	Ultrasonido phase array	Rayos X
Motor eléctrico	x		x	x			
Polines y bastidores	x						
Faja transportadora						x	x
Acople de baja	x		x				
Caja de engranajes	x		x		x	x	
Poleas varias	x		x		x	x	
Poleas de traslación	x						
Motor eléctrico	x		x	x			
Tensor		x					

Nota. Elaboración propia.

Las técnicas de mantenimiento predictivo que puede analizar la mayor cantidad de componentes de la faja transportadora es la termografía seguido de análisis de vibraciones.

4.2.3. Zarandas

Las zarandas son el grupo de máquinas que trabajan de manera conjunta con las fajas transportadoras que alimentan y distribuyen el producto intermedio como la piedra chancada de 1"; ½" y ¾"; las zarandas de la planta chancadora de agregados de la empresa Chapi 99 S.C.R.L., cuenta con tres niveles o gradas para la producción de los agregados finales. El mantenimiento aplicado en esta familia de máquinas es el preventivo y correctivo, son pocas veces y pocas técnicas predictivas que se han aplicado a la zaranda.

Los principales problemas que se han presentado están en el sistema eléctrico y en la estructura de la máquina, se presentan fallas debido a la fatiga mecánica que se presenta ocasionando fisuras. Para lo cual se aplica la técnica predictiva de análisis vibracional como una de las principales.

También se puede realizar el análisis de aceite en el sistema hidráulico, que le permite a los encargados del mantenimiento conocer el nivel de desgaste de los engranajes que son parte del sistema mecánico, de esta manera se puede anticipar a las paradas de la línea de producción que se puede presentar.

En la Figura 13 se muestra una imagen de la zaranda de agregados con la que se cuenta en la empresa Chapi 99 S.C.R.L.

Figura 13

Zaranda



Nota. Empresa Chapi 99 S.C.R.L.

De acuerdo a la información del periodo 2024 se realizó el análisis de las fallas que se presentaron en la máquina zaranda, en el mantenimiento correctivo y también las que se identificaron en el mantenimiento preventivo, las fallas de cada componente se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7

Fallas frecuentes de los componentes de la zaranda

IT	Descripción	Fallas presentadas
1	Motor eléctrico	07
2	Excitadores	03
3	Chute de descarga	02
4	Transformador	08
5	Estructura	04
6	Poleas, fajas, chumaceras, ejes	05
7	Elementos de desgaste de descarga	04

Nota. Elaboración propia.

Se presentan 7 componentes en la zaranda, a cada uno de ellos se puede aplicar una técnica de mantenimiento predictivo, lo principales problemas se presentan en el motor eléctrico.

Las técnicas predictivas que se aplican a los componentes de la máquina se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8

Técnicas de mantenimiento predictivo para identificar las fallas frecuentes de la zaranda

Componente	Termografía	Análisis de vibraciones	Análisis de aceites	Inspección visual	Pruebas eléctricas	Análisis modal	Líquidos penetrantes
Motor eléctrico	x	x			x		
Excitadores	x	x	x				
Chute de descarga				x			
Transformador					x		
Estructuras		x		x		x	x
Poleas, falas, eje	x	x		x			
Elementos de desgaste	x	x					

Nota. Elaboración propia.

Las técnicas de mantenimiento predictivo que puede analizar la mayor cantidad de componentes de la zaranda es el análisis de vibraciones y la termografía.

4.3. Análisis de las paradas de las máquinas por fallas de mantenimiento en la planta chancadora

Las fallas que se presentan en los componentes de la planta chancadora de agregados tiene como consecuencia la paralización completa de la planta cuando se malogra la chancadora o la paralización parcial cuando las fallas son en las falas transportadoras o zarandas, también se presentan problemas de mantenimiento en los equipos móviles.

Las paralizaciones de las máquinas generan pérdidas de producción que se cuantifican de manera económica, estas también se dan cuando se realiza algún mantenimiento correctivo o preventivo.

En la Tabla 9 se identifican las paradas del periodo 2024 que se han realizado por causa del mantenimiento que se realiza, también se hace un comparativo con las horas de parada que se tiene cuando se realiza el mantenimiento predictivo, eso sucede debido a que se puede anticipar las fallas.

Tabla 9

Comparativo de las horas de máquina parada con la aplicación de las técnicas predictivas (MPd)

Máquina	Equipo	Falla de mantenimiento	Técnica	Sin MPd	Con MPd	Variación (horas)
Faja transportadora	Motor 01	Rodamiento desgastado lado acople	Análisis vibracional	18	12	6
Faja transportadora	Motor 02	Rodamiento desgastado lado derecho	Análisis vibracional	18	12	6
Faja transportadora	Motor 03	Rodamiento desgastado lado acople	Análisis vibracional	18	12	6
Faja transportadora	Motor 04	Rodamiento desgastado lado acople	Análisis vibracional	18	12	6
Faja transportadora	Motor 05	Rodamiento desgastado lado derecho	Análisis vibracional	18	12	6
Faja transportadora	Polea 01	Desgaste lado derecho	Análisis vibracional	42	28	14
Faja transportadora	Polea 02	Desgaste lado derecho	Análisis vibracional	42	28	14
Faja transportadora	Polea 03	Desgaste lado derecho	Análisis vibracional	42	28	14
Faja transportadora	Polea 04	Desgaste lado derecho	Análisis vibracional	42	28	14
Faja transportadora	Polea 05	Desgaste lado derecho	Análisis vibracional	42	28	14
Faja transportadora	Reductor 01	Desgaste de hierro	Pruebas de laboratorio	22	12	10
Faja transportadora	Reductor 02	Desgaste de hierro	Pruebas de laboratorio	22	12	10
Faja transportadora	Reductor 03	Desgaste de hierro	Pruebas de laboratorio	22	12	10
Faja transportadora	Reductor 04	Desgaste de hierro	Pruebas de laboratorio	22	12	10
Faja transportadora	Reductor 05	Desgaste de hierro	Pruebas de laboratorio	22	12	10
Faja transportadora	T. Eléctrico 01	Temperatura alta	Pruebas eléctricas	20	14	6
Faja transportadora	T. Eléctrico 02	Temperatura alta	Pruebas eléctricas	20	14	6

Máquina	Equipo	Falla de mantenimiento	Técnica	Sin MPd	Con MPd	Variación (horas)
Faja transportadora	T. Eléctrico 03	Temperatura alta	Pruebas eléctricas	20	14	6
Faja transportadora	T. Eléctrico 04	Temperatura alta	Pruebas eléctricas	20	14	6
Faja transportadora	T. Eléctrico 05	Temperatura alta	Pruebas eléctricas	20	14	6
Zaranda	Poleas, ejes	Fisuras (05)	Ensayos no destructivos	48	32	16
Zaranda	Poleas, ejes	Fisuras (06)	Ensayos no destructivos	48	32	16
Zaranda	Poleas, ejes	Fisuras (03)	Ensayos no destructivos	48	32	16
Chancadora	Sist, Hidráulico	Fallas en sistema de lubricación	Pruebas de laboratorio	32	20	12
Chancadora	Sist, Hidráulico	Fallas en la bomba hidráulica	Pruebas de laboratorio	32	20	12
Chancadora	Motor 06	Rodamiento desgastado lado acople	Análisis vibracional	18	12	6
Chancadora	Motor 06	Rodamiento desgastado lado derecho	Análisis vibracional	18	12	6
Chancadora	Motor 07	Rodamiento desgastado lado acople	Análisis vibracional	18	12	6
Chancadora	Motor 07	Rodamiento desgastado lado derecho	Análisis vibracional	18	12	6
Chancadora	Motor 07	Rodamiento desgastado lado acople	Análisis vibracional	18	12	6

Nota. Elaboración propia.

Con la aplicación de técnicas predictivas en los distintos componentes de las máquinas chancadora, faja transportadora y zaranda se puede reducir el tiempo de mantenimiento al momento de programar una parada de la planta para realizar el mantenimiento preventivo, los principales componentes que reciben una mejora en el tiempo de ejecución son los motores de las tres máquinas, también el desgaste en las poleas, ejes, estructura, sistema hidráulico y otros.

4.4. Análisis de las 6m`S de la gestión de mantenimiento

Para complementar el análisis situacional de la gestión de mantenimiento de la planta chancadora de la empresa Chapi 99 S.C.R.L. es importante realizar un análisis descriptivo utilizando la herramienta de las 6M´s.

a) Mano de obra

En la actualidad la empresa Chapi 99 S.C.R.L. no cuenta con mano de obra calificada para aplicar las técnicas predictivas en los componentes de la planta chancadora, por lo que los resultados que se obtuvieron con anterioridad en el periodo 2024 fue cuando contrataron los servicios de técnicos de manera particular que llegaron a las instalaciones a aplicar las técnicas predictivas.

Para realizar el mantenimiento preventivo también se contrata a empresas terceras para realizar las actividades de mantenimiento en los diferentes sistemas de la planta chancadora, sistema hidráulico, neumático, mecánico, eléctrico, mantenimiento a la infraestructura entre otros sistemas, el mantenimiento preventivo se realiza con la coordinación de los técnicos de mantenimiento de la empresa Chapi 99 S.C.R.L. para poder realizar una buena gestión.

La empresa cuenta con personal en el área de mantenimiento que se encarga de realizar las actividades correctivas y de realizar las regulaciones para la producción de los distintos productos ofrecidos, los líderes del mantenimiento tanto mecánico como eléctrico cuentan con la experiencia necesaria para solucionar los problemas de mantenimiento, sin embargo, el personal que lo asiste muchas veces presenta un alto índice de rotación.

El personal de la empresa se encuentra motivado al momento de realizar sus funciones, recibe sus pagos a tiempo y cuentan con una capacitación constante, sin embargo, el sueldo que perciben está por debajo de lo que se dan en otros sectores como el de minería, por lo que los mecánicos y técnicos de la empresa están en constante búsqueda de cambiar de labores a empresas contratistas del sector minero, es por ello que se tiene un alto índice de rotación.

b) Materia prima

Para la ejecución de los diferentes tipos de mantenimiento de las máquinas de la planta chancadora, es necesario contar con la mano de obra adecuada para realizar un buen mantenimiento, pero también es importante contar con la materia prima, insumos, repuestos y equipos necesarios para la realización de un buen mantenimiento que sea eficiente, productivo y que garantice la disponibilidad de las máquinas como las fajas transportadoras, la chancadora y las zarandas. Es muy importante el abastecimiento de los materiales necesarios para el trabajo, lo cual no se viene realizando de buena manera debido a que no se planifica no se anticipan las fallas que se pueden dar, solo se consideran las fallas frecuentes y las recomendaciones de los trabajadores.

Para poder aplicar las técnicas de mantenimiento predictivo es importante contar con los materiales necesarios para que las técnicas sean eficientes, para ello se debe contar con un técnico de mantenimiento predictivo que pueda solicitar las compras de los insumos para el funcionamiento de los equipos especializados. Con estas técnicas, también se puede anticipar las compras que se requieren por parte de logística para poder tener listos los repuestos al momento de realizar el mantenimiento preventivo de las distintas máquinas.

No se planifican las compras de los materiales para el mantenimiento, no se cuenta con un stock de seguridad para poder tener a la mano los repuestos cuándo ocurre una falla de mantenimiento, ni siquiera de los más frecuentes o más críticos para la producción, es por ello que los niveles de productividad han disminuido y también no se cuenta con un buen indicador de confiabilidad y disponibilidad.

c) Medición

La empresa Chapi 99 S.C.R.L. cuenta con la data histórica del área de mantenimiento para poder realizar una estadística adecuada y formular indicadores de disponibilidad, tiempo medio de reparación y confiabilidad, también para conocer cuáles son las fallas frecuentes en las máquinas de distintos procesos y, por último, para conocer cuáles son los componentes más críticos. Esta información le va a permitir a los encargados del área, tomar mejores decisiones y también realizar un buen seguimiento y control.

El seguimiento y control de las actividades de mantenimiento son vitales para poder realizar una buena gestión de las máquinas y garantizar buenos indicadores, es por ello que se realizan algunas técnicas de mantenimiento predictivo para anticipar las fallas, sin embargo, son muy pocas e insuficientes.

En la información que se tiene en el área de mantenimiento se tiene un gran desorden, debido a la cantidad de información que no está codificada o seleccionada por cada máquina, en otra información falta la fecha o algunos datos de las ejecuciones de los mantenimientos, se tiene mayor estadística del mantenimiento correctivo y preventivos que de la aplicación de las técnicas predictivas.

d) Maquinaria

La maquinaria con la que cuenta la planta chancadora está en función a la producción de agregados y para ello cuenta con dos líneas de máquinas, en la planta chancadora de agregados cuenta con 05 fajas transportadoras, 01 chancadora de piedra y 02 zarandas, y en la línea de equipo móvil cuenta con una retroexcavadora y dos cargadores frontales, también cuenta con volquetes y con camionetas para el transporte.

Las máquinas que componen la planta chancadora de agregados presentan una antigüedad promedio de los años 2005, siendo los motores de cada máquina los más actualizados, las máquinas al comienzo de sus operaciones presentaban una disponibilidad confiabilidad cercanas al estándar de 92% sin embargo con el paso de los años estos indicadores han disminuido, llegando a ser poca productividad.

Para la aplicación de las técnicas de mantenimiento predictivo se tiene que adquirir equipo especializado para aplicar el ultrasonido, vibraciones entre otras, también se debe adquirir materiales y recursos para su utilización, actualmente la empresa no cuenta con los equipos necesarios para el mantenimiento predictivo, tampoco cuenta con maquinaria necesaria para la ejecución del mantenimiento predictivo por lo que se contrata algunas máquinas, y para el mantenimiento correctivo si se cuenta con los equipos menores necesarios.

En cuanto a la tecnología en sistemas de información la empresa Chapi 99 S.C.R.L. no cuenta con un módulo de mantenimiento o un SAP de producción, administración y área comercial donde se registre la información necesaria, en la actualidad se realiza por medio de

una hoja de cálculo donde se registran todas las incidencias que suceden en el área de mantenimiento.

e) Método de trabajo

En cuanto al método de trabajo que se realiza en el área de mantenimiento no se cuenta con los procedimientos de trabajo adecuados para realizar las actividades en el mantenimiento preventivo y predictivo, tampoco se cuenta con instructivos. La empresa si cuenta con políticas de trabajo como políticas de seguridad, medio ambiente y calidad que le permite a la empresa tener una ventaja competitiva con los clientes, es necesario brindar un certificado de calidad a los productos de construcción.

En el área de mantenimiento de la empresa no se cuenta con una forma de trabajo para realizar y aplicar las técnicas predictivas, es importante contar con un conjunto de técnicas que se puedan aplicar a cada componente de las máquinas para poder garantizar los indicadores de mantenimiento.

f) Medio ambiente

Los problemas que se presentan en la planta de agregados son la contaminación ambiental que se genera por la polución, que es parte del trabajo, para lo cual se proporciona a los colaboradores equipos de seguridad también se presentan problemas de vibración y ruido que exceden los límites permisibles. La empresa trabaja para poder disminuir el ruido y la vibración para lo cual elabora programa de mejora, que permiten identificar las fuentes.

En cuando al medio ambiente donde se trabaja, las vías de comunicación, las zonas de trabajo y las oficinas administrativas no cuentan con las condiciones necesarias para realizar un trabajo seguro, tampoco se cuenta con las condiciones adecuadas para la aplicación de las técnicas predictivas, ni para guardar los equipos necesarios que deben mantenerse en buenas condiciones y calibrados.

4.5. Análisis de Ishikawa de la gestión de mantenimiento

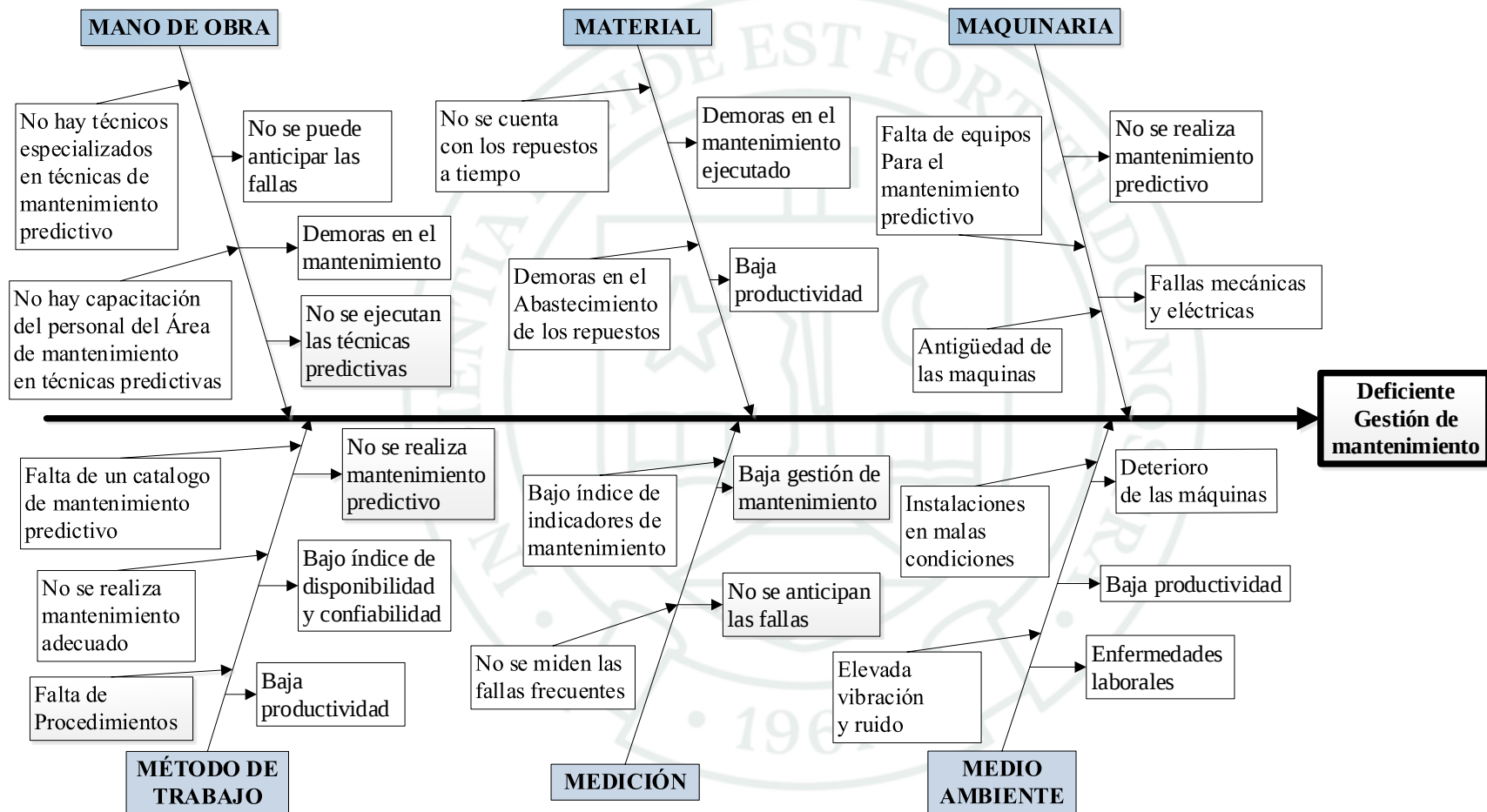
Una de las herramientas que permite identificar los problemas que se presentan en un análisis situacional es el diagrama Ishikawa, permite trabajar con la herramienta de las 6M's. para conocer cuáles son las causas y los efectos de la gestión de mantenimiento que se tiene en la planta de agregados de la empresa Chapi 99 S.C.R.L.

Se utiliza la información del análisis descriptivo y del análisis del área de mantenimiento para conocer cuáles son los principales problemas que se presentan en la gestión de mantenimiento, es por ello que en la Figura 14, se muestra el diagrama de Ishikawa.



Figura 14

Análisis de Ishikawa de la gestión de mantenimiento



Nota. Elaboración propia.

El diagrama de Ishikawa elaborado en el análisis situacional de la gestión de mantenimiento permite identificar los problemas que se presentan y también las causas que se provocan, las cuales se describen a continuación:

- No hay técnicos mecánicos especializados en técnicas de mantenimiento predictivo en la empresa Chapi 99 S.C.R.L. lo que no permita anticipar las fallas que se presentan en los componentes de las máquinas de la planta de agregados como las fajas transportadoras, la chancadora de agregados y las zarandas.
- No hay capacitación del personal del área de mantenimiento en técnicas predictivas, lo que no les permite conocer sobre algunos procedimientos o ejecución de las técnicas predictivas que se pueden utilizar en la planta de agregados, esto impide que alguno de los técnicos del área pueda realizarlas de manera frecuente y mejorar la gestión de mantenimiento.
- No se cuenta con los repuestos a tiempo, lo que genera demoras en la ejecución de los tres tipos de mantenimiento (Correctivo, preventivo y predictivo) y que no se pueda entregar a tiempo las máquinas, generando retraso en los tiempos de entrega de los productos.
- Demoras en el abastecimiento de los repuestos, materiales, contrataciones y reparación de los componentes de las máquinas, lo que genera una baja productividad en la ejecución del mantenimiento y demoras para poder culminar las actividades programadas.
- Falta de equipos para el mantenimiento predictivo para la ejecución de las técnicas que puedan ser utilizados de manera frecuente, tampoco se cuenta con un catálogo de técnicas predictivas.
- Antigüedad de las máquinas, que genera una baja productividad de los procesos y también una constante, de fallas en las máquinas, por lo que hace que se aumente el mantenimiento de las máquinas, esto ocasiona fallas mecánicas y eléctricas que se pueden anticipar con la aplicación de las técnicas predictivas.

- Falta de un catálogo de mantenimiento predictivo, que les permita a los responsables del área de mantenimiento poder decidir sobre que técnica utilizar para mejorar los indicadores de mantenibilidad de las máquinas como disponibilidad, tiempo medio de reparación y confiabilidad.
- No se realiza mantenimiento adecuado a las máquinas de la planta de agregados, el mantenimiento correctivo demora mucho en la ejecución, cuando se realiza el mantenimiento preventivo no se logra cumplir con la planificación de las actividades, y no se cuenta con la ejecución frecuente de las técnicas de mantenimiento predictivo.
- Falta de procedimientos de trabajo en la ejecución de las actividades de mantenimiento, no se tiene tampoco instructivos que puedan facilitar el trabajo, a lo largo de los años se realizan actividades repetitivas que ya se debieron incorporar a un procedimiento de trabajo, las personas responsables de las actividades del mantenimiento preventivo cuentan con toda la experiencia para poder implementar las formas de trabajo mediante un procedimiento, también se pueden elaborar para aplicar las técnicas de mantenimiento predictivo y para las actividades de abastecimiento de los repuestos cuando se necesitan y la reparación de los mismos por medio de los terceros.
- Bajo índice de indicadores de mantenimiento como el de confiabilidad con 85%, disponibilidad con 81% y el tiempo medio de reparaciones, estando por debajo de los estándares de la empresa Chapi 99 S.C.R.L., que es de 92% lo que permite tener una buena productividad de la planta de producción. Se cuenta con la información necesaria para poder tener los indicadores a tiempo, sin embargo, no se llevan a cabo y los responsables de gestionar el mantenimiento no pueden realizar un buen seguimiento y control.
- No se miden las fallas frecuentes que se tienen en cada uno de los componentes o al menos en los más críticos, este seguimiento y control no se realiza de manera frecuente por lo que no se puede tomar buenas decisiones o anticipar las compras de los repuestos.

- Instalaciones en malas condiciones para poder mantener las máquinas operativas, tampoco se cuenta con la infraestructura necesaria para poder almacenar los materiales y los equipos para la ejecución de los mantenimientos de la planta de agregados.
- Elevados niveles de ruido y vibraciones en la planta de agregados a los que están sometidos los trabajadores de la planta, esto está provocando enfermedades laborales que son perjudiciales para los colaboradores y la producción.



Capítulo V:

Propuesta de mejora

5.1. Introducción

La propuesta de mejora en la gestión de mantenimiento de la planta de agregados de la empresa Chapi 99 S.C.R.L. se desarrolla a partir del análisis situacional y la identificación de los principales problemas que afectan la gestión de mantenimiento, uno de ellos y el más importante es la ausencia de la aplicación de las técnicas de mantenimiento predictivo, que va a permitir trabajar de mejor manera en el área.

Como mejora se busca diseñar una clasificación de las mejores técnicas de mantenimiento predictivo para cada componente de las máquinas que integran la planta de agregados de la empresa Chapi 99 S.C.R.L., que son las fajas transportadoras, las zarandas y la chancadora de agregados, para ello es necesario conocer los principales parámetros como la confiabilidad de cada técnica a aplicar, el tiempo de duración del trabajo de campo en la ejecución de la técnica, y la frecuencia de aplicación de acuerdo al componente.

5.2. Metodología

Se realiza un trabajo de campo donde se recolecta la información necesaria de cada técnica predictiva aplicada a cada componente de las máquinas, de esta manera se puede obtener el dato de la confiabilidad de la técnica predictiva, también se utiliza la data histórica del periodo 2024 para conocer los resultados que se obtuvieron en cada una de las técnicas aplicadas.

El trabajo de campo se realizó con la autorización de la empresa Chapi 99 S.C.R.L. y en trabajo conjuntos con el personal del área de mantenimiento y la persona encargada y especialista de aplicar las técnicas predictivas. También se tomó en cuenta la opinión y criterios del personal del área de mantenimiento principalmente de los colaboradores más antiguos y responsables del área. Se aplicó los formatos de mantenimiento predictivo para cada técnica y cada componente.

5.2.1. Objetivos de la aplicación del mantenimiento predictivo

El objetivo principal de la aplicación de las técnicas predictivas es mejorar la gestión de mantenimiento de los equipos y máquinas de la planta chancadora de agregados de la empresa Chapi 99 S.C.R.L., para ello es necesario mejorar los indicadores de disponibilidad, tiempo medio de reparación y confiabilidad, de esta manera se puede también alargar la vida útil de las fajas transportadoras, zarandas y la chancadora de agregados.

La mejora de la gestión de mantenimiento por medio de la clasificación de las técnicas predictivas tiene como objetivo proporcionar a los responsables del área de mantenimiento de la empresa Chapi 99 S.C.R.L. una herramienta que le permita escoger de una a dos técnicas que se puedan aplicar a cada componente en el tiempo que se propone para poder anticipar las fallas de los componentes y tener todo preparado para cuando se vaya a realizar el mantenimiento preventivo de las máquinas o la parada de la planta de agregados.

5.2.2. Secuencia de procesos para la aplicación de las técnicas predictivas

Para realizar la aplicación de las técnicas predictivas en la planta chancadora de la empresa Chapi 99 S.C.R.L. se realiza la siguiente secuencia de actividades para poder clasificar las mejores técnicas para cada componente de las máquinas que integran la planta.

- Análisis de las máquinas de la planta chancadora
- Selección de los componentes de cada maquina
- Análisis de las fallas frecuentes
- Clasificación de las técnicas predictivas
- Trabajo de campo, frecuencia y tiempo
- Trabajo de campo, análisis de la confiabilidad
- Diseño para la aplicación de las técnicas predictivas

a) Análisis de las máquinas de la planta chancadora

La empresa Chapi 99 S.C.R.L. cuenta con dos tipos de máquinas que permiten la producción de los agregados como principales productos de la empresa, se tiene los equipos móviles donde el mantenimiento lo realiza una concesionaria y también se tienen las máquinas de la planta chancadora de agregados que está compuesta por 05 fajas transportadoras, una chancadora de piedra y dos zarandas de tres niveles.

b) Selección de los componentes de cada máquina

Las máquinas de la planta de agregados cuentan con sistemas de equipos, que a la vez están divididos en componentes, es fundamental identificar a los más críticos y también realizar un análisis sobre las fallas frecuentes que presentan en los últimos años, de esta manera se puede plantear la aplicación de las técnicas predictivas más eficientes, para realizar el análisis y clasificación de los componentes críticos se utiliza la información del año 2024, que se encuentra en los registros del área de mantenimiento, esta actividad se ha realizado en coordinación del responsable de mantenimiento.

c) Análisis de las fallas frecuentes

Una vez que se han identificado los componentes más importantes de cada máquina de la planta chancadora de agregados, se analizan las fallas más frecuentes que han sucedido, para poder conocer la fuente, la causa y poder plantear la solución mediante la aplicación de las técnicas de mantenimiento predictivo.

d) Clasificación de las técnicas predictivas

Se identifican y clasifican las técnicas predictivas que se pueden aplicar a los componentes de las máquinas de planta chancadora de agregados, para ello se toma en consideración los conocimientos del personal del área de mantenimiento para ver cuáles son las técnicas que conocen, pueden aplicar e interpretar para que sea eficiente, también se considera la utilización de los equipos necesarios y con los que cuenta la empresa Chapi 99 S.C.R.L.

- Ultrasonido phase array (UTPA)
- Ensayos no destructivos (NDT)
- Vibraciones (VIB)
- Termografía (IR)
- Análisis de aceites (OIL)
- Pruebas de motor (MOT TST)

- Pruebas eléctricas (ELE TST)

e) Trabajo de campo para determinar la frecuencia y tiempo

El trabajo de campo realizado con la aplicación de las técnicas predictivas en los componentes de las máquinas, permite validar los datos recogidos de los registros del área de mantenimiento donde se tiene una frecuencia de aplicación de algunas técnicas de mantenimiento predictivo y la duración que se tuvo, esta información se recogió al momento de tener una paralización de la planta para realizar el mantenimiento correctivo, también se aplicaron algunas técnicas predictivas.

f) Trabajo de campo para determinar la confiabilidad

Cuando se determina la frecuencia a realizar cada una de las técnicas predictivas y se controla el tiempo de ejecución de la técnica, también se puede determinar la confiabilidad de la aplicación de la técnica predictiva a cada componente, para ello también se recurre a la data histórica que se tiene en el área de mantenimiento de la empresa Chapi 99 S.C.R.L. y a la experiencia del equipo de trabajo del área de mantenimiento.

g) Diseño para la aplicación de las técnicas predictivas

Para poder diseñar el catalogo donde se clasifican las técnicas predictivas que se pueden utilizar en los componentes de las máquinas de la planta chancadora de agregados de la empresa Chapi 99 S.C.R.L. se consideran los siguientes parámetros:

- Máquinas de la planta chancadora de agregados
- Componentes críticos de cada una de las máquinas de la planta
- Técnicas predictivas que se pueden aplicar
- Tiempo de ejecución de la técnica predictiva
- Frecuencia de aplicación de cada técnica predictiva
- Confiabilidad de la técnica predictiva

5.3. Aplicación de las técnicas de mantenimiento predictivo en la planta chancadora de agregados

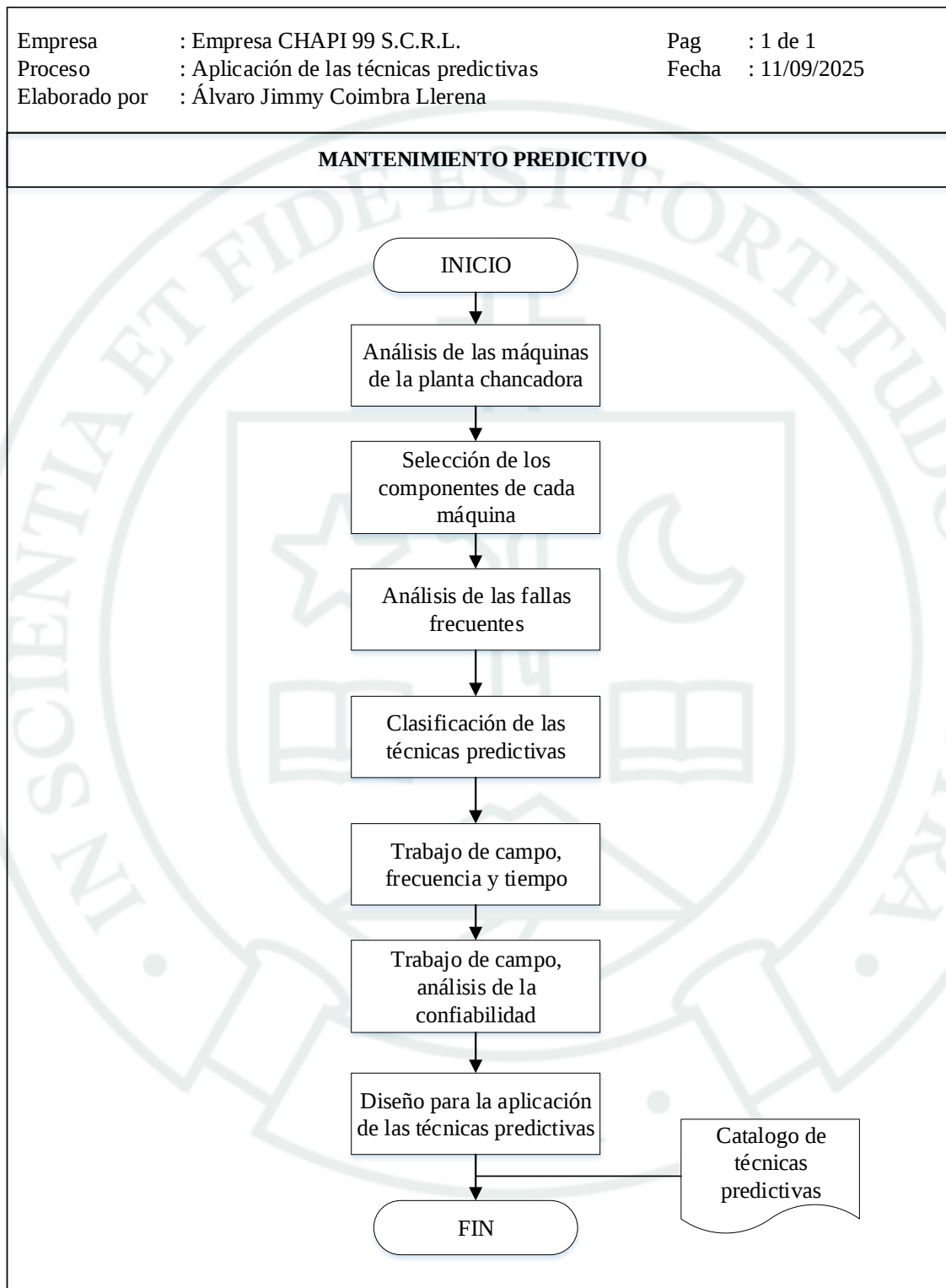
La aplicación de las técnicas predictivas en las máquinas de la planta chancadora es muy importante ya que se busca anticipar a las necesidades del mantenimiento preventivo y poder disminuir el mantenimiento correctivo que se presenta actualmente y que afecta de manera directa la disponibilidad de las máquinas, disminuye la productividad y afecta a la gestión de mantenimiento.

Para realizar la clasificación de las técnicas predictivas se hace uso de los conocimientos técnicos, teóricos y prácticos del personal del área de mantenimiento de la empresa Chapi 99 S.C.R.L. contando con colaboradores experimentados y con amplios conocimientos en la aplicación de las técnicas de mantenimiento predictivo, también se hace uso de los registros históricos de las técnicas ya utilizadas en los componentes de las máquinas y por último en el conocimiento del autor del presente estudio.

Para el desarrollo del estudio y poder clasificar las técnicas predictivas que se van aplicar a los componentes más críticos de cada máquina de la planta chancadora de agregados se presenta la siguiente metodología, que se muestra en la Figura 15.

Figura 15

Metodología para aplicación de las técnicas predictivas



Nota. Elaboración propia.

5.3.1. Análisis de las máquinas de la planta chancadora de agregados

La planta chancadora de agregados cuenta con máquinas para la producción de los principales productos comercializados a los clientes como son la piedra chancada en tres presentaciones, la arena fina y gruesa y la arcilla, para ello cuenta con máquinas de gran envergadura que presentan múltiples componentes.

Para poder seleccionar las máquinas más críticas de la empresa, se aplicaron criterios de selección por medio de la data histórica que los ultimo periodos, los criterios se muestran en el anexo 05. También se realizó el análisis de criticidad donde se obtuvo como resultado que las máquinas más críticas se muestran en la Tabla 10 y el análisis de criticidad se muestra en el Anexo 06.

Tabla 10

Máquina de la planta chancadora de agregados

Código	Cant.	Descripción	Marca	Capacidad (t/hr)
CHFT01	1	Faja transportadora 01	-	80
CHFT02	1	Faja transportadora 02	-	80
CHFT03	1	Faja transportadora 03	-	80
CHFT04	1	Faja transportadora 04	-	80
CHFT05	1	Faja transportadora 05	-	80
CHCH01	1	Chancadora 01	FF Mineral	250
CHZR01	1	Zaranda	Ludowici	320
CHZR02	1	Zaranda	-	250

Nota. Elaboración propia / Chapi 99 S.C.R.L.

Se aplicarán las técnicas predictivas a las tres familias de máquinas que se encuentran en la planta chancadora.

5.3.2. Selección de los componentes de cada máquina

Con la ayuda de los principales mecánicos y técnicos de la planta de chancado se identifican los principales componentes de cada máquina, a los cuales se van a identificar cuáles son las fallas más frecuentes que presentan, en la Tabla 11 se muestran los componentes a considerar para la faja transportadora.

Tabla 11*Clasificación de los componentes de la faja transportadora*

IT	Descripción
1	Motor eléctrico
2	Polines y bastidores
3	Chute
4	Faja
5	Transformador
6	Acople de baja
7	Variador de frecuencia
8	Acople baja de traslación
9	Acople hidráulico
10	Caja engranajes de traslación
11	Poleas y chumaceras
12	Volante
13	Poleas de traslación
14	Caja de engranajes
15	Motor de traslación
16	Tensor

Nota. Elaboración propia.

En la Tabla anterior se han clasificado 16 componentes que son parte de la faja transportadora, a los cuales se pueden aplicar técnicas predictivas para poder mejorar la gestión de mantenimiento de la planta.

En la Tabla 12 se han clasificado los componentes de la máquina chancadora de piedra, con esta lista se pueden identificar las principales fallas frecuentes por cada componente.

Tabla 12

Clasificación de los componentes de la máquina chancadora

IT	Descripción
1	Motor eléctrico principal
2	Main frame
3	Araña
4	Bomba lubricación
5	Enfriador
6	Manto
7	Líneas y accesorios de grasa
8	Transformador
9	Bomba lubricación
10	Reservorio de aceite
11	Tolva
12	Bomba de grasa
13	Bomba hidráulica
14	Cóncavos
15	Excéntrica
16	Bomba lubricación
17	Eje principal

Nota. Elaboración propia.

En la Tabla anterior se han clasificado 17 componentes que son parte de la máquina chancadora de piedra, a los cuales se pueden aplicar técnicas predictivas para poder mejorar la gestión de mantenimiento de la planta.

En la Tabla 13 se han clasificado los componentes de la máquina zaranda de piedra, con esta lista se pueden identificar las principales fallas frecuentes por cada componente.

Tabla 13*Clasificación de los componentes de la zaranda*

IT	Descripción
1	Motor eléctrico
2	Excitadores
3	Chute de descarga
4	Transformador
5	Estructura
6	Poleas, fajas, chumaceras, ejes
7	Elementos de desgaste de descarga

Nota. Elaboración propia.

En la Tabla anterior se han clasificado 07 componentes que son parte de la zaranda, a los cuales se pueden aplicar técnicas predictivas para poder mejorar la gestión de mantenimiento de la planta.

5.3.3. Análisis de las fallas frecuentes

El análisis de los componentes de cada máquina que es parte de la planta chancadora de agregados es muy importante porque con esa base, se realiza el análisis de las fallas más frecuentes que presenta cada componente, este trabajo se realizó mediante la revisión de los registros del área de mantenimiento de los periodos 2023 – 2024 de la empresa Chapi 99 S.C.R.L.

En la Tabla 14 se especifican cuáles son las fallas más frecuentes que se presentan en los componentes de la Faja transportadora.

Tabla 14*Análisis de las fallas frecuentes de la faja transportadora*

IT Motor eléctrico	
01	Falla en barra de rotor
02	Sobre carga
03	Falso contacto
04	Falla en el sist. de enfriamiento
05	Desplazamiento de núcleo
06	Falla en el rodamiento
07	Rotura de eje
IT Polines y bastidores	
08	Desgaste de Polín
09	Daño en el Bastidor
10	Rodamiento averiado
IT Chute	
11	Desgaste
12	Fisura/Rotura
IT Faja	
13	Desgaste
IT Transformador	
14	Fuga de aceite dieléctrico
15	Deformación de bobinado
16	Falso contacto
17	Falla aislamiento entre bobinas
18	Falla sistema de enfriamiento
19	Sobre carga
IT Acople de Baja	
20	Pernos rotos
21	Fisura acople / Rotura
22	Soltura de montaje
23	Chaveta rota

IT Variador de frecuencia

24 Falso contacto

IT Acople Baja de Traslación

25 Fisura Acople / Rotura

26 Perno roto

IT Acople Hidráulico

27 Problemas en el rodamiento

28 Desgaste

29 Fisura / Rotura

IT Caja engranajes

30 Avería en el engranaje

31 Fisura en la carcaza

32 Reten averiado

33 Fisura en el eje

34 Rodaje averiado

IT Poleas y chumaceras

35 Eje roto

36 Avería en el rodamientos

37 Polea desgastada

IT Volante

38 Rodamiento averiado

39 Eje roto

IT Poleas traslación

40 Eje roto

41 Rodamiento averiados

42 Rueda rota o desgastada

IT Tensor

43 Rotura de perno

Nota. Elaboración propia.

El análisis que se ha realizado sobre las fallas frecuentes de la faja transportadora de la planta chancadora de agregados ha dado como resultado que se han evaluado 14 componentes como el motor eléctrico, el tensor, poleas, cajas de engranaje entre otras y se

han identificado 43 fallas frecuentes de acuerdo a la data histórica de los periodos 2023 - 2024.

En la Tabla 15 se especifican cuáles son las fallas más frecuentes que se presentan en los componentes de la máquina chancadora.

Tabla 15

Análisis de las fallas frecuentes de máquina chancadora

IT Motor eléctrico	
01	Falla en barra de rotor
02	Sobre carga
03	Falso contacto
04	Falla en el sist. de enfriamiento
05	Desplazamiento de núcleo
06	Falla en el rodamiento
07	Rotura de eje
IT Main Frame	
08	Fisura de main frame
09	Rotura de perno de anclaje
IT Araña	
10	Bujes desgastados
IT Bomba lubricación	
11	Sellos dañados
12	Rodamiento dañado
13	Engranajes dañados
IT Enfriador	
14	Empaquetaduras en mal estado
15	Falla de motor
16	Ventilador desbalanceado
IT Manto	
17	Fisura / Rotura

IT Transformador
18 Fuga de aceite dieléctrico
19 Deformación de bobinado
20 Falso contacto
21 Falla aislamiento entre bobinas
IT Transformador
22 Falla sistema de enfriamiento
23 Sobre carga
IT Bomba hidráulica
24 Rodamiento en mal estado
IT Cóncavos
25 Fisura / Rotura
26 Desgaste
IT Excéntrica
27 Rotura de bujes
28 Rotura de excéntrica
29 Sellos dañados
IT Eje principal / Trompo
30 Platos suspensores eje con desgaste
31 Rotura / fisura eje
32 Rotura de bujes
33 Sellos en mal estado
34 Bujes desgastados
35 Rotura/fisura trompo

Nota. Elaboración propia.

El análisis que se ha realizado sobre las fallas frecuentes de la máquina chancadora de la planta de agregados ha dado como resultado que se han evaluado 11 componentes como el transformador, la bomba hidráulica, el enfriador entre otras y se han identificado 35 fallas frecuentes de acuerdo a la data histórica de los periodos 2023 - 2024.

En la Tabla 16 se especifican cuáles son las fallas más frecuentes que se presentan en los componentes de la zaranda.

Tabla 16*Análisis de las fallas frecuentes de máquina zaranda*

IT Motor eléctrico
01 Sobre carga
02 Falla sistema de enfriamiento
03 Eje roto
04 Falso contacto
IT Excitadores
05 Retén averiado
06 Engranaje averiado
07 Eje averiado
08 Rodaje averiado
09 Problemas de lubricación
IT Chute de descarga
10 Rotura/fisura
11 Desgaste
IT Transformador
12 Fuga de aceite dieléctrico
13 Bobinado deformado
14 Falso contacto
15 Falla aislamiento entre bobinas
16 Falla sistema de enfriamiento
17 Sobre carga
IT Estructura
18 Fisuras en la estructura
19 Resorte roto
IT Poleas, chumaceras, fajas, ejes
20 Problema en rodamiento
21 Rotura de faja
22 Ejes fisurados
23 Rotura de poleas

Nota. Elaboración propia.

El análisis que se ha realizado sobre las fallas frecuentes de la zaranda de la planta de agregados ha dado como resultado que se han evaluado 06 componentes como el chute de descarga, las poleas, la estructura, el motor eléctrico entre otras y se han identificado 24 fallas frecuentes de acuerdo a la data histórica de los periodos 2023 - 2024.

5.3.4. Trabajo de campo, frecuencia y tiempo

El trabajo de campo realizado para la recolección de la información en la planta de chancado de agregados se realizó analizando los tres tipos de máquinas, como las fajas transportadoras, la máquina chancadora y las zarandas, se hizo las pruebas necesaria para poder obtener el tiempo de ejecución de cada una de las técnicas predictivas clasificadas para cada componente de cada máquina y se utilizó la información histórica de los últimos dos periodos del área de mantenimiento para calcular la frecuencia de utilización, también se ha considerado la opinión del mecánico experto en la aplicación de las técnicas de mantenimiento predictivo. La frecuencia se muestra en la Tabla 17.

Tabla 17

Frecuencia de tiempo para la aplicación de las técnicas predictivas

Descripción	Frecuencia
Se realiza cada dos años	0.5
Se realiza 01 vez por año	1
Se realiza 02 veces por año	2
Se realiza 03 veces por año	3
Se realiza 04 veces por año	4
Se realiza 06 veces por año	6
Se realiza 09 veces por año	9
Se realiza 12 veces por año	12
Se realiza 18 veces por año	18
Se realiza 24 veces por año	24
Se realiza 36 veces por año	36

Nota. Elaboración propia.

En el trabajo de campo se asigna una frecuencia de ejecución de las técnicas predictivas para cada componente de las máquinas.

a) Trabajo de campo en relación a tiempo y frecuencia de las fajas transportadoras

Los factores importantes para aplicar las técnicas predictivas en los componentes de las máquinas, como la frecuencia de ejecución y el tiempo se muestran en la Tabla 18.

Tabla 18

Recolección de datos en el trabajo de campo de las fajas transportadoras

IT	Componente	Técnica	Frecuencia	Tiempo
01	Motor eléctrico	Pruebas de motor	6	40 min
		Termografía	6	120 min
		Ensayos no destructivos	0.5	40 min
		Ultrasonido phased array	0.5	120 min
		Vibraciones	9	10 min
		Pruebas eléctricas	1	120 min
		Análisis de aceite	6	120 min
02	Polines y bastidores	Ensayos no destructivos	6	300 min
		Termografía	9	40 min
03	Chute	Ensayos no destructivos	1	240 min
		Ultrasonido phased array	1	360 min
04	Faja	Ultrasonido phased array	6	120 min
05	Transformador	Ultrasonido phased array	6	15 min
		Análisis de aceite	2	120 min
		Termografía	6	30 min
06	Acople de baja	Vibraciones	9	1 min
		Análisis de aceite	6	40 min
		Ensayos no destructivos	0.5	120 min
		Ultrasonido phased array	1	40 min
07	Variador de frecuencia	Termografía	12	30 min
		Vibraciones	12	1 min
08	Acople baja de traslación	Ensayos no destructivos	0.5	120 min
		Ultrasonido phased array	1	40 min
		Termografía	6	1 min
		Vibraciones	12	1 min

IT	Componente	Técnica	Frecuencia	Tiempo
09	Acople hidráulico	Ensayos no destructivos	0.5	240 min
		Termografía	6	1 min
		Vibraciones	9	1 min
		Análisis de aceite	6	15 min
10	Caja de engranajes de traslación	Termografía	6	5 min
		Ultrasonido phased array	0.5	120 min
		Análisis de aceite	6	10 min
		Ensayos no destructivos	1	120 min
		Vibraciones	9	15 min
11	Poleas y chumaceras	Ensayos no destructivos	0.5	40 min
		Ultrasonido phased array	6	120 min
		Análisis de aceite	6	40 min
		Termografía	6	15 min
		Vibraciones	9	10 min
12	Volante	Ensayos no destructivos	0.5	120 min
		Ultrasonido phased array	0.5	40 min
		Análisis de aceite	6	15 min
		Termografía	9	5 min
		Vibraciones	9	1 min
13	Poleas de traslación	Termografía	6	15 min
		Ultrasonido phased array	6	120 min
		Análisis de aceite	6	40 min
		Vibraciones	9	10 min
		Ensayos no destructivos	0.5	40 min
14	Tensor	Vibraciones	6	40 min
		Ultrasonido phased array	6	300 min
		Termografía	6	15 min
		Ensayos no destructivos	6	120 min

Nota. Elaboración propia.

Para las fajas transportadoras se realizó el trabajo de campo donde se pudo clasificar las técnicas predictivas más adecuadas para utilizar en cada componente y se levantó información en relación a la frecuencia y a la duración de la aplicación de las técnicas, también se realizó el análisis documental donde se corroboró el tiempo de ejecución de cada técnica y cuales se habían utilizado para detectar las fallas frecuentes en cada componentes de las máquinas de la planta chancadora de agregados.

Se han considerado 14 componentes en las fajas transportadoras y se han aplicado técnicas como termografía, ultrasonido phased array, análisis de aceite, vibraciones, ensayos no destructivos entre otros, se han determinado frecuencias de aplicación de las técnicas desde 12 veces al año (mensual), como de 0.5 veces al año y tiempos de aplicación que van desde 1 minuto para el análisis de vibraciones como de 360 minutos para Ultrasonido phased array.

b) Trabajo de campo en relación a tiempo y frecuencia de la chancadora

Los factores importantes para aplicar las técnicas predictivas en los componentes de la máquina chancadora de piedra, como la frecuencia de ejecución y el tiempo se muestran en la Tabla 19.

Tabla 19*Recolección de datos en el trabajo de campo de la máquina chancadora*

IT	Componente	Técnica	Frecuencia	Tiempo
01	Motor eléctrico	Pruebas de motor	6	180 min
		Ultrasonido phased array	0.5	120 min
		Ensayos no destructivos	0.5	40 min
		Pruebas eléctricas	1	120 min
		Vibraciones	9	10 min
		Termografía	6	15 min
		Análisis de aceite	6	120 min
02	Main Frame	Ensayos no destructivos	4	720 min
		Ultrasonido phased array	2	480 min
		Vibraciones	2	10 min
03	Araña	Análisis de aceite	2	15 min
04	Bomba lubricación	Vibraciones	6	10 min
05	Enfriador	Termografía	6	10 min
		Vibraciones	6	10 min
06	Manto	Ensayos no destructivos	6	240 min
		Ultrasonido phased array	2	480 min
07	Transformador	Análisis de aceite	2	40 min
		Termografía	6	15 min
		Pruebas eléctricas	2	240 min
08	Bomba hidráulica	Vibraciones	6	10 min
09	Cóncaos	Ensayos no destructivos	6	120 min
		Ultrasonido phased array	2	480 min
10	Excéntrica	Análisis de aceite	12	15 min
		Ensayos no destructivos	1	360 min
11	Eje principal / Trompo	Vibraciones	9	15 min
		Ensayos no destructivos	1	360 min
		Ultrasonido phased array	1	180 min
		Análisis de aceite	12	15 min

Nota. Elaboración propia.

Para la máquina chancadora se realizó el trabajo de campo donde se pudo clasificar las técnicas predictivas más adecuadas para utilizar en cada componente y se levantó información en relación a la frecuencia y a la duración de la aplicación de las técnicas, otras de las técnicas utilizadas es el análisis documental donde se corroboró el tiempo de ejecución de cada técnica y cuales se habían utilizado para detectar las fallas frecuentes en cada componente de las máquinas de la planta chancadora de agregados.

Se han considerado 11 componentes en la máquina chancadora y se han aplicado técnicas como las pruebas de motor, termografía, ultrasonido phased array, análisis de aceite, vibraciones, entre otros, se han determinado frecuencias de aplicación de las técnicas desde 12 veces al año (mensual) para el eje principal (trompo), como de 0.5 veces al año como para el motor eléctrico y tiempos de aplicación que van desde 15 minutos para el análisis de vibraciones como de 480 minutos para Ultrasonido phased array.

c) Trabajo de campo en relación a tiempo y frecuencia de las zarandas

Los factores importantes para aplicar las técnicas predictivas en los componentes de la zaranda, como la frecuencia de ejecución y el tiempo se muestran en la Tabla 20.

Tabla 20*Recolección de datos en el trabajo de campo de las zarandas*

IT	Componente	Técnica	Frecuencia	Tiempo
01	Motor eléctrico	Ensayos no destructivos	0.5	60 min
		Ultrasonido phased array	2	120 min
		Termografía	6	15 min
		Vibraciones	9	10 min
02	Excitadores	Termografía	6	5 min
		Ultrasonido phased array	1	60 min
		Análisis de aceite	6	10 min
		Ensayos no destructivos	1	60 min
		Vibraciones	9	20 min
03	Chute de descarga	Ensayos no destructivos	1	240 min
		Ultrasonido phased array	1	240 min
04	Transformador	Pruebas eléctricas	2	240 min
		Análisis de aceite	2	120 min
		Termografía	6	30 min
05	Estructura	Ensayos no destructivos	1	240 min
		Ultrasonido phased array	1	360 min
		Termografía	6	10 min
		Vibraciones	9	30 min
06	Poleas, chumaceras y fajas	Ensayos no destructivos	2	120 min
		Ultrasonido phased array	2	120 min
		Vibraciones	9	10 min

Nota. Elaboración propia.

Se han considerado 6 componentes en la zaranda y se han aplicado técnicas como ensayos no destructivos, ultrasonido phased array, vibraciones, para las poleas y chumaceras, entre otros, se han determinado frecuencias de aplicación de las técnicas desde 9 veces al año para el motor eléctrico, como de 1 vez al año para el chute y tiempos de aplicación que van desde 10 minutos para el análisis de vibraciones como de 460 minutos para Ultrasonido phased array.

5.3.5. Trabajo de campo, análisis de la confiabilidad

Se realizó el trabajo de campo en la planta chancadora de la empresa Chapi 99 S.C.R.L. donde se compararon los resultados obtenidos en la aplicación de las técnicas predictivas a los componentes de cada máquina, con los datos que se registraron en la data histórica de los años 2023 – 2024 del área de mantenimiento, también se compararon con los resultados obtenidos en las paradas de planta donde se intervinieron las máquinas que la componen.

Se obtuvo la confiabilidad de cada una de las técnicas aplicadas a los componentes de las máquinas, con esta información se puede armar el catálogo de las técnicas predictivas que permite a los responsables de la empresa Chapi 99 S.C.R.L. tomar decisiones sobre el mantenimiento que pueden aplicar.

Se recolecta la información de la confiabilidad de las técnicas predictivas de las siguientes máquinas:

- Faja transportadora
- Máquina chancadora
- Zaranda

a) Trabajo de campo en relación a confiabilidad de las técnicas predictivas en las fajas transportadoras

En el trabajo de campo realizado y el análisis documental de la información del área de mantenimiento se obtuvo la confiabilidad de las técnicas predictivas aplicadas a los componentes de la faja transportadora, los resultados se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21

Recolección de datos en el trabajo de campo para la confiabilidad de las técnicas predictivas en la faja transportadora

IT	Componente	Técnica	Confiabilidad
01	Motor eléctrico	Pruebas de motor	70%
		Termografía	30%
		Ensayos no destructivos	40%
		Ultrasonido phased array	60%
		Vibraciones	75%
		Pruebas eléctricas	40%
		Análisis de aceite	70%
02	Polines y bastidores	Ensayos no destructivos	35%
		Termografía	60%
03	Chute	Ensayos no destructivos	30%
		Ultrasonido phased array	50%
04	Faja	Ultrasonido phased array	85%
05	Transformador	Ultrasonido phased array	70%
		Análisis de aceite	75%
		Termografía	70%
06	Acople de baja	Vibraciones	70%
		Análisis de aceite	75%
		Ensayos no destructivos	20%
		Ultrasonido phased array	50%
		Termografía	30%
07	Variador de frecuencia	Termografía	70%
		Vibraciones	50%
08	Acople baja de traslación	Ensayos no destructivos	30%
		Ultrasonido phased array	30%
		Termografía	60%
		Vibraciones	60%

IT	Componente	Técnica	Confiabilidad
09	Acople hidráulico	Ensayos no destructivos	70%
		Termografía	30%
		Vibraciones	40%
		Análisis de aceite	75%
10	Caja de engranajes de traslación	Termografía	50%
		Ultrasonido phased array	85%
		Análisis de aceite	85%
		Ensayos no destructivos	90%
		Vibraciones	85%
11	Poleas y chumaceras	Ensayos no destructivos	80%
		Ultrasonido phased array	85%
		Análisis de aceite	60%
		Termografía	40%
		Vibraciones	70%
12	Volante	Ensayos no destructivos	70%
		Ultrasonido phased array	80%
		Análisis de aceite	60%
		Termografía	40%
		Vibraciones	70%
13	Poleas de traslación	Termografía	40%
		Ultrasonido phased array	80%
		Análisis de aceite	60%
		Vibraciones	80%
		Ensayos no destructivos	40%
14	Tensor	Vibraciones	45%
		Ultrasonido phased array	30%
		Termografía	25%
		Ensayos no destructivos	30%

Nota. Elaboración propia.

Las fajas transportadoras presentan 14 componentes donde se ha establecido la confiabilidad de cada una de las técnicas predictivas aplicadas, en los componentes más críticos como el motor eléctrico se clasifican técnicas con una confiabilidad como pruebas de motor (70%); termografía (30%); ensayos no destructivos (40%); Ultrasonido phased array (60%); Vibraciones (75%); pruebas eléctricas (40%) y análisis de aceite (70%) dentro de estas técnicas se puede escoger 02 de ellas para poder aplicarlas y de esta manera poder anticipar las fallas y poder mejorar la gestión de mantenimiento de la planta de agregados.

b) Trabajo de campo en relación a confiabilidad de las técnicas predictivas en la máquina chancadora

En el trabajo de campo realizado y el análisis documental de la información del área de mantenimiento se obtuvo la confiabilidad de las técnicas predictivas aplicadas a los componentes de la máquina chancadora, los resultados se muestran en la Tabla 22.

Tabla 22

Recolección de datos en el trabajo de campo para la confiabilidad de las técnicas predictivas en la máquina chancadora

IT	Componente	Técnica	Confiabilidad
01	Motor eléctrico	Pruebas de motor	90%
		Ultrasonido phased array	65%
		Ensayos no destructivos	60%
		Pruebas eléctricas	60%
		Vibraciones	75%
		Termografía	50%
		Análisis de aceite	40%
02	Main Frame	Ensayos no destructivos	85%
		Ultrasonido phased array	85%
		Vibraciones	70%
03	Araña	Análisis de aceite	50%
04	Bomba lubricación	Vibraciones	60%
05	Enfriador	Termografía	70%
		Vibraciones	60%
06	Manto	Ensayos no destructivos	80%
		Ultrasonido phased array	90%
07	Transformador	Análisis de aceite	70%
		Termografía	70%
		Pruebas eléctricas	70%
08	Bomba hidráulica	Vibraciones	60%
09	Cóncaos	Ensayos no destructivos	80%
		Ultrasonido phased array	80%
10	Excéntrica	Análisis de aceite	85%
		Ensayos no destructivos	85%
11	Eje principal / Trompo	Vibraciones	40%
		Ensayos no destructivos	90%
		Ultrasonido phased array	80%

Nota. Elaboración propia.

La máquina chancadora presenta 11 componentes donde se ha establecido la confiabilidad de cada una de las técnicas predictivas aplicadas, en los componentes más críticos como el eje principal / trompo donde se puede aplicar la técnica de vibraciones (40%); ensayos no destructivos (90%); ultrasonido phased array (80%) y análisis de aceite (70%); dentro de estas técnicas se puede escoger 02 de ellas para poder aplicarlas y de esta manera poder anticipar las fallas y poder mejorar la gestión de mantenimiento de la planta de agregados.

c) Trabajo de campo en relación a confiabilidad de las técnicas predictivas en la zaranda

En el trabajo de campo realizado y el análisis documental de la información del área de mantenimiento se obtuvo la confiabilidad de las técnicas predictivas aplicadas a los componentes de la zaranda, los resultados se muestran en la Tabla 23.

Tabla 23

Recolección de datos en el trabajo de campo para la confiabilidad de las técnicas predictivas en la zaranda

IT	Componente	Técnica	Confiabilidad
01	Motor eléctrico	Ensayos no destructivos	60%
		Ultrasonido phased array	80%
		Termografía	50%
		Vibraciones	85%
02	Excitadores	Termografía	30%
		Ultrasonido phased array	80%
		Análisis de aceite	70%
		Ensayos no destructivos	80%
		Vibraciones	85%
03	Chute de descarga	Ensayos no destructivos	20%
		Ultrasonido phased array	40%
04	Transformador	Pruebas eléctricas	75%
		Análisis de aceite	75%
		Termografía	50%
05	Estructura	Ensayos no destructivos	75%
		Ultrasonido phased array	75%
		Termografía	45%
		Vibraciones	55%
06	Poleas, chumaceras y fajas	Ensayos no destructivos	80%
		Ultrasonido phased array	75%
		Vibraciones	60%

Nota. Elaboración propia.

La zaranda presenta 6 componentes donde se ha establecido, la confiabilidad de cada una de las técnicas predictivas aplicadas, en los componentes más críticos como los excitadores se clasifican técnicas con una confiabilidad, como la Termografía (30%); ultrasonido phased array (80%); análisis de aceite (70%); ensayos no destructivos (80%); y vibraciones (85%).

5.4. Clasificación de las técnicas predictivas para la planta de agregados

La clasificación de las técnicas predictivas, se aplicaron a las máquinas de la planta chancadora de agregados de la empresa Chapi 99 S.C.R.L., las cuales se presentan a continuación:

- Máquina chancadora de piedra
- Fajas transportadoras
- Zaranda

Los parámetros que se han considerado para poder clasificar las técnicas predictivas, están orientados a poder proponer al encargado del área de mantenimiento alternativas para escoger las que se acomoden más a condiciones que presentan las máquinas de la empresa Chapi 99 S.C.R.L., los parámetros son los siguientes:

- Sistemas de las máquinas
- Componentes de cada una de las máquinas
- Fallas frecuentes que presenta cada componente
- Confiabilidad de la aplicación de la técnica
- Tiempo de aplicación de cada técnica predictiva
- Frecuencia para la aplicación de la técnica predictiva

Con los datos recolectados en el trabajo de campo realizado en la planta de agregados y con la recolección de la información mediante el análisis de la data histórica del área de mantenimiento se logró clasificar las mejores técnicas predictivas para cada uno de los componentes de cada máquina, analizando las fallas frecuentes, también se considerado la opinión de los principales especialistas del área de mantenimiento que es el responsable, el cual es especialistas en mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo.

Uno de los principales factores a considerar es la confiabilidad que está referida a la utilización de la técnica predictiva sobre cada componente y como trabaja, se presenta de manera anual.

Otro de los factores a considerar es la frecuencia de la aplicación de las técnicas predictivas que va desde días, semanas, quincenalmente, mensualmente, trimestral, semestral, anual y cada dos años, esta frecuencia está determinada por la importancia de cada componente.

También se considera el tiempo de aplicación de cada técnica predictiva para poder planificar la intervención, el talento humano y los demás recursos que son necesarios para la aplicación de la técnica.

Los colores que se identifican en la clasificación de las técnicas predictivas son el anaranjado que contempla los parámetros para cada componente de las máquinas de la planta de agregados. También se tiene el color verde que identifica la principal técnica predictiva para cada falla frecuente que presentan los componentes de las máquinas.

En la Tabla 24 se muestra la clasificación de las técnicas predictivas de cada componente de las fajas transportadoras de la planta de agregados de la empresa Chapi 99 S.C.R.L.

Tabla 24

Clasificación de las técnicas predictivas para la faja transportadora

Fallas frecuentes	Ultrasonido Phase array		Ensayos No destructivos		Vibraciones		Termografía		Análisis de Aceites		Pruebas de Motor		Pruebas eléctricas	
	UTPA		NDT		VIB		IR		OIL		MOT TST		ELE TST	
Motor eléctrico	0,5	60%	0,5	40%	9	75%	6	30%	6	50%	6	70%	1	40%
Tiempo	120 min		40 min		10 min		120 min		120 min		40 min		120 min	
Modos de Falla	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF
Falla en barra de rotor					9	30%					6	70%	1	40%
Sobre carga							6	30%			6	70%		
Falso contacto													1	40%
Falla en el sist. de enfriamiento					9	75%	6	30%						
Desplazamiento de núcleo					9	75%					6	70%	1	40%
Falla en el rodamiento					9	75%	6	20%	6	50%	6	20%		
Rotura de eje	0,5	60%	0,5	40%	9	30%								
Polines y bastidores			6	35%			9	60%						
Tiempo			300 min				40 min							
Modos de Falla	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF
Desgaste de Polín			6	35%										
Daño en el Bastidor			6	35%										
Rodamiento averiado							9	60%						
Chute	1	50%	1	30%										
Tiempo	360 min		240 min											
Modos de Falla	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF
Desgaste	1	50%	1	30%										
Fisura/Rotura	1	50%	1	30%										
Faja	6	85%												
Tiempo	120													
Modos de Falla	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF
Desgaste	6	85%												

Fallas frecuentes	Ultrasonido Phase array		Ensayos No destructivos		Vibraciones		Termografía		Análisis de Aceites		Pruebas de Motor		Pruebas eléctricas	
	UTPA		NDT		VIB		IR		OIL		MOT TST		ELE TST	
Transformador	6	70%					6	70%	2	75%				
Tiempo	15 min						30 min		120 min					
Modos de Falla	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF
Fuga de aceite dieléctrico							6	70%						
Deformación de bobinado														
Falso contacto							6	50%	2	75%				
Falla aislamiento entre bobinas									2	75%				
Falla sistema de enfriamiento							6	70%	2	75%				
Sobre carga							6	70%	2	40%				
Acople de Baja	1	50%	0,5	20%	9	70%	6	30%						
Tiempo	40 min		120 min		1 min		1 min		40 min					
Modos de Falla	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF
Pernos rotos	1	50%	0,5	20%										
Fisura acople / Rotura					9	70%								
Soltura de montaje					9	70%								
Chaveta rota			0,5	20%	9	70%								
Variador de frecuencia					12	50%	12	70%						
Tiempo					1 min		30 min							
Modos de Falla	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF
Falso contacto					12	50%	12	70%						
Acople Baja de Traslación	1	30%	0,5	30%	12	60%	6	60%						
Tiempo	40 min		120 min		1 min		1 min							
Modos de Falla	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF
Rotura / Fisura Acople					12	60%	6	60%						
Perno roto	1	30%	0,5	30%										
Acople Hidráulico			0,5	70%	9	40%	6	30%	6	75%				
Tiempo			240 min		1 min		1 min		15 min					
Modos de Falla	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF
Problemas en el rodamiento					9	25%	6	30%	6	75%				
Desgaste			0,5	70%	9	40%	6	30%	6	75%				
Fisura / Rotura					9	25%			6	20%				

Fallas frecuentes	Ultrasonido Phase array		Ensayos No destructivos		Vibraciones		Termografía		Análisis de Aceites		Pruebas de Motor		Pruebas eléctricas	
	UTPA		NDT		VIB		IR		OIL		MOT TST		ELE TST	
Caja de engranajes	0,5	85%	1	90%	9	85%	6	50%	6	85%				
Tiempo	120 min		120 min		10 min		15 min		10 min					
Modos de Falla	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF
Avería en el engranaje	0,5	85%	0,5	90%	9	85%			6	85%				
Fisura en la carcaza			1	70%										
Reten averiado									6	30%				
Fisura en el eje	0,5	85%	0,5	90%	9	85%								
Rodaje averiado					9	85%	6	50%	6	85%				
Poleas y chumaceras	6	85%	0,5	80%	9	70%	6	40%	6	60%				
Tiempo	120 min		40 min		10 min		15 min		40 min					
Modos de Falla	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF
Eje roto	6	85%	0,5	80%	9	50%								
Avería en el rodamiento			0,5	30%										
Polea desgastada					9	70%	6	40%	6	60%				
Volante	0,5	80%	0,5	70%	9	70%	9	40%	6	60%				
Tiempo	40 min		120 min		1 min		5 min		15 min					
Modos de Falla	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF
Rodamiento averiado					9	70%	9	40%	6	60%				
Eje roto	0,5	80%	0,5	70%										
Poleas Traslación	6	80%	0,5	40%	9	80%	6	40%	6	60%				
Tiempo	120 min		40 min		10 min		15 min		40 min					
Modos de Falla	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF
Eje roto	1	80%	0,5	40%	9	40%								
Rodamiento averiados	6	80%			9	80%	6	40%	6	60%				
Rueda rota o desgastada			0,5	40%										
Tensor	6	30%												
Tiempo	300 min		120 min		40 min		15 min							
Modos de Falla	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF
Rotura de perno	6	30%												

Nota. Elaboración propia.

En las fajas transportadoras de la planta de agregados se han clasificado técnicas predictivas para sus componentes como para el motor eléctrico, se plantea utilizar el análisis de vibraciones que presenta una confiabilidad de 75%, técnica que se podría aplicar 9 veces al año y demora 10 minutos, es realizada por el encargado del mantenimiento predictivo.

En la faja, se plantea utilizar la técnica de ultrasonido phase array que presenta una confiabilidad de 85%, técnica que se podría aplicar 6 veces al año y demora 120 minutos, es realizada por el encargado del mantenimiento predictivo y los principales colaboradores.

En el transformador, se plantea utilizar la técnica de termografía que presenta una confiabilidad de 70%, técnica que se podría aplicar 6 veces al año y demora 30 minutos, es realizada por el encargado del mantenimiento predictivo.

En el variador de frecuencia, se plantea utilizar la técnica de termografía que presenta una confiabilidad de 70%, técnica que se podría aplicar 12 veces al año y demora 30 minutos, también se han considera técnicas como el análisis de vibraciones.

Entre otras técnicas predictivas se consideran las pruebas de motor, pruebas eléctrica y análisis de aceite.

En la Tabla 25 se muestra la clasificación de las técnicas predictivas de cada componente de la máquina chancadora de piedra de la planta de agregados de la empresa Chapi 99 S.C.R.L.

Tabla 25

Clasificación de las técnicas predictivas para la máquina chancadora

Fallas frecuentes	Ultrasonido Phase array		Ensayos No destructivos		Vibraciones		Termografía		Análisis de Aceites		Pruebas de Motor		Pruebas eléctricas	
	UTPA		NDT		VIB		IR		OIL		MOT TST		ELE TST	
Motor eléctrico	0,5	65%	0,5	60%	9	75%	6	50%	6	40%	6	90%	1	60%
Tiempo	120 min		40 min		10 min		15 min		120 min		180 min		120 min	
Modos de Falla	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF
Falla en barra de rotor					9	30%					6	90%	1	60%
Sobre carga							12	50%			6	90%		
Falso contacto													1	60%
Falla en el sist. de enfriamiento					9	75%	12	50%						
Desplazamiento de núcleo					9	75%					12	60%	1	50%
Falla en el rodamiento					9	75%	12	20%	12	40%	12	20%		
Rotura de eje	0,5	65%	0,5	60%	9	20%								
Main Frame	2	85%	4	85%	2	70%								
Tiempo	280 min		720 min		10 min									
Modos de Falla	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF
Fisura de main frame	2	85%	4	85%										
Rotura de perno de anclaje	2	85%	4	20%	2	70%								
Araña									2	50%				
Tiempo									15 min					
Modos de Falla	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF
Bujes desgastados									2	50%				
Bomba lubricación					6	60%								
Tiempo					10 min									
Modos de Falla	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF
Sellos dañados														
Rodamiento dañado					6	60%								
Engranajes dañados					6	60%								

Fallas frecuentes	Ultrasonido Phase array		Ensayos No destructivos		Vibraciones		Termografía		Análisis de Aceites		Pruebas de Motor		Pruebas eléctricas		
	UTPA		NDT		VIB		IR		OIL		MOT TST		ELE TST		
Enfriador					6	60%	6	70%							
Tiempo					10 min		10 min								
Modos de Falla	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	
Empaquetaduras en mal estado							6	70%							
Falla de motor					6	60%									
Ventilador desbalanceado							60%								
Manto	2	90%	6	80%											
Tiempo	480		240 min												
Modos de Falla	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	
Desgaste			6	80%											
Rotura/Fisura	2	90%	6	80%											
Desprendimiento			12	20%											
Transformador							6	70%	2	70%			2	70%	
Tiempo							15 min		40 min				240 min		
Modos de Falla	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	
Fuga de aceite dieléctrico							6	70%							
Deformación de bobinado													2	70%	
Falso contacto							6	50%	2	70%					
Falla aislamiento entre bobinas									2	70%			2	70%	
Falla sistema de enfriamiento							6	70%	2	20%					
Sobre carga							6	70%	2	70%					
Bomba hidráulica					6	60%									
Tiempo					10 min										
Modos de Falla	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	
Rodamiento en mal estado					6	60%									
Cóncavos	2	80%	6	80%											
Tiempo	480 min		120 min												
Modos de Falla	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	
Fisura/Rotura	2	80%	6	80%											

Fallas frecuentes	Ultrasonido Phase array		Ensayos No destructivos		Vibraciones		Termografía		Análisis de Aceites		Pruebas de Motor		Pruebas eléctricas	
	UTPA		NDT		VIB		IR		OIL		MOT TST		ELE TST	
Excéntrica			1	85%					12	85%				
Tiempo			360 min						15 min					
Modos de Falla	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF
Rotura de bujes									12	85%				
Rotura de excéntrica			1	85%					12	30%				
Sellos dañados									12	85%				
Eje principal / Trompo	1	80%	1	90%	9	40%			12	70%				
Tiempo	180 min		360 min		15 min				15 min					
Modos de Falla	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF
Platos suspensores eje con desgaste					9	40%			12	70%				
Rotura / fisura eje	1	80%												
Rotura de bujes					9	40%			12	10%				
Sellos en mal estado									12	70%				
Bujes desgastados					9	40%			12	70%				
Rotura/fisura trompo			1	90%										

Nota. Elaboración propia.

En la máquina chancadora de piedra de la planta de agregados se han clasificado técnicas predictivas para sus componentes como para el motor eléctrico, se plantea utilizar las pruebas de motor que presenta una confiabilidad de 90%, técnica que se podría aplicar 6 veces al año y demora 180 minutos, es realizada por el encargado del mantenimiento predictivo.

En el Main Frame, se plantea utilizar la técnica de ultrasonido phase array que presenta una confiabilidad de 85%, técnica que se podría aplicar 2 veces al año y demora 280 minutos, también se aplican las técnicas de ensayos no destructivos y análisis de vibraciones, estas técnicas son realizadas por el encargado del mantenimiento predictivo y los principales colaboradores.

En el enfriador, se plantea utilizar la técnica de análisis de vibraciones que presenta una confiabilidad de 60%, técnica que se podría aplicar 6 veces al año y demora 10 minutos, también se puede aplicar la técnica de termografía, estas técnicas son realizadas por el encargado del mantenimiento predictivo.

En los cóncavos, se plantea utilizar la técnica de ultrasonido phase array que presenta una confiabilidad de 80%, técnica que se podría aplicar 2 veces al año y demora 480 minutos, también se han considera técnicas como el análisis de vibraciones.

En la Tabla 26 se muestra la clasificación de las técnicas predictivas de cada componente de la zaranda de la planta de agregados de la empresa Chapi 99 S.C.R.L.

Tabla 26

Clasificación de las técnicas predictivas para la zaranda

Fallas frecuentes	Ultrasonido Phase array		Ensayos No destructivos		Vibraciones		Termografía		Análisis de Aceites		Pruebas de Motor		Pruebas eléctricas	
	UTPA		NDT		VIB		IR		OIL		MOT TST		ELE TST	
Motor eléctrico	2	80%	0,5	60%	9	85%	6	50%						
Tiempo	120 min		60 min		10 min		15 min							
Modos de Falla	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF
Sobre carga														
Falla sistema de enfriamiento					9	85%	6	50%						
Eje roto	2	80%	0,5	60%	9	20%								
Falso contacto							6	50%						
Excitadores	1	80%	1	80%	9	85%	6	30%	6	70%				
Tiempo	60 min		60 min		20 min		5 min		10 min					
Modos de Falla	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF
Retén averiado									6	10%				
Engranaje averiado	1	80%	1	80%	9	85%			6	70%				
Eje averiado	1	80%	1	80%	9	30%								
Rodaje averiado					9	85%	6	30%	6	70%				
Problemas de lubricación					9	30%			6	70%				
Chute de descarga	1	40%	1	20%										
Tiempo	240 min		240 min											
Modos de Falla	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF
Rotura/Fisura	1	40%	1	20%										
Desgaste	1	40%	1	20%										
Transformador							6	50%	2	75%			2	75%
Tiempo							30 min		120 min				240 min	
Modos de Falla	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF
Fuga de aceite dieléctrico							6	50%						
Bobinado deformado													2	75%
Falso contacto							6	50%	2	75%				

Fallas frecuentes	Ultrasonido Phase array		Ensayos No destructivos		Vibraciones		Termografía		Análisis de Aceites		Pruebas de Motor		Pruebas eléctricas	
	UTPA		NDT		VIB		IR		OIL		MOT TST		ELE TST	
Transformador							6	50%	2	75%			2	75%
Tiempo							30 min		120 min				240 min	
Modos de Falla	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF
Falla aislamiento entre bobinas									2	75%			2	75%
Falla sistema de enfriamiento							6	50%	2	20%				
Sobre carga							6	50%	2	75%				
Estructura	1	75%	1	75%	9	55%	6	45%						
Tiempo	360 min		240 min		30 min		10 min							
Modos de Falla	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF
Fisuras en la estructura	1	75%	1	75%	9	55%								
Resorte roto			1	75%	9	55%	6	45%						
Poleas, chumaceras, fajas Ejes	2	75%	2	80%	9	60%								
Tiempo	120 min		120 min		10 min									
Modos de Falla	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF	FREC	CONF
Problema en rodamiento					9	60%								
Rotura de faja					9	60%								
Ejes fisurados	2	75%	0,5	50%	9	20%								
Rotura de poleas	2	75%	2	80%	9	60%								
Cardán fisurado	2	75%	2	80%	9	20%								

Nota. Elaboración propia.

En las zarandas de la planta de agregados se han clasificado técnicas predictivas para sus componentes como para el motor eléctrico, se plantea utilizar el ultrasonido phase array que presenta una confiabilidad de 85%, técnica que se podría aplicar 2 veces al año y demora 120 minutos, es realizada por el encargado del mantenimiento predictivo.

En el transformador, se plantea utilizar la técnica de pruebas eléctricas que presenta una confiabilidad de 75%, técnica que se podría aplicar 2 veces al año y demora 240 minutos, es realizada por el encargado del mantenimiento predictivo.

En la estructura de la máquina se plantea utilizar la técnica de ensayos no destructivos que presenta una confiabilidad de 75%, técnica que se podría aplicar 1 vez al año y demora 240 minutos, también se han considera técnicas como el análisis de vibraciones.

Entre otras técnicas predictivas se consideran las pruebas de motor, pruebas eléctricas, análisis de aceite y termografía.

Capítulo VI:

Evaluación económica y técnica

6.1. Proyección de costos e ingresos

Uno de los primeros puntos para realizar la evaluación económica del estudio es determinar los costos que demanda la implementación de las técnicas predictivas y también calcular los ingresos que generan la mejora de la gestión de mantenimiento de la empresa Chapi 99 S.C.R.L.

6.1.1. Costo directo del estudio

Se determinan los costos directos del proyecto, para lo cual se han identificado los materiales directos y la mano de obra.

a) Materiales directos para el estudio

Para aplicar las técnicas predictivas es importante contar con los materiales e insumos que se utilizan para el mantenimiento predictivo, en la Tabla 27 se muestran los materiales necesarios.

Tabla 27

Costo de materiales directos para el estudio

IT	Descripción	Total (soles)
1	Pruebas de mantenimiento eléctrico	2.800,00
2	Pruebas de aceites	3.550,00
3	Pruebas de ensayos no destructivos	2.750,00
4	Pruebas de motor	4.800,00
5	Pruebas de vibraciones	3.100,00
6	Pruebas termograficas	3.500,00
TOTAL		20.500,00

Nota. Elaboración propia.

El costo que demanda la compra de los materiales necesarios para la aplicación de las técnicas predictivas es de 20.500,00 soles.

b) Costos de mano de obra directa

Para la aplicación de las técnicas predictivas es necesario la contratación de un mecánico especialistas y con conocimientos en técnicas de mantenimiento predictivo, el valor se muestra en la Tabla 28.

Tabla 28

Costo de mano de obra directa para el estudio

Puesto	Cant.	Rem. Mensual (soles)	Rem. Anual (soles)
Mecánico de técnicas predictivas	1	2.800,00	33.600,00
Sub – Total		2.800,00	33.600,00
Más 42.33% Beneficios sociales			14.224,00
		TOTAL	47.824,00

Nota. Elaboración propia.

El pago mensual para el mecánico de técnicas predictivas es de 2.800,00 soles, también se consideran los beneficios sociales, teniendo un costo de mano de obra de 47.824,00 soles.

c) Costo directo total

Se ha calculado el costo directo total que se necesita en la mejora de la gestión de mantenimiento con la aplicación de las técnicas predictivas, el valor se muestra en la Tabla 29.

Tabla 29

Costo directo total para el estudio

Años	Mano de obra directa	Material directo producción	Total (soles)
1	47.824,00	20.500,00	68.324,00
2	47.824,00	20.500,00	68.324,00
3	47.824,00	20.500,00	68.324,00

Nota. Elaboración propia.

Se ha calculado un costo directo total de 68.324,00 soles.

6.1.2. Gastos indirectos

Se determinan los costos indirectos del proyecto, para lo cual se han identificado los costos de materiales indirectos y gastos indirectos, para poder mejorar la gestión de mantenimiento no se considera mano de obra indirecta.

a) Material indirecto

Los materiales indirectos que se han considerado para el desarrollo del estudio se muestran en la Tabla 30.

Tabla 30

Costo de materiales indirectos

IT	Cantidad	Descripción	PU (soles)	Total (soles)
1	4	Camisa de campo	48,00	192,00
2	24	Protección auditiva	4,50	108,00
3	2	Casco de seguridad	32,00	64,00
4	6	Guantes de seguridad	12,00	72,00
5	2	Zapatos de seguridad	45,00	90,00
6	4	Pantalón	35,00	140,00
7	24	Lentes de seguridad	12,00	288,00
8	4	Polo	35,00	140,00
9	2	Mameluco	60,00	120,00
10	2	Chaleco	28,00	56,00
TOTAL				1.270,00

Nota. Elaboración propia.

El valor necesario para la compra de los materiales que son parte del uniforme de trabajo y accesorios de seguridad asciende a 1.270,00 soles.

b) Gastos indirectos

También se consideran gastos indirectos, los que se muestran en la Tabla 31.

Tabla 31*Gastos indirectos*

Rubros	Monto Anual (soles)
Servicios básicos	600,00
Depreciaciones	4.050,00
TOTAL	4.650,00

Nota. Elaboración propia.

Se requiere un valor de 4.650,00 soles para cubrir los gastos indirectos.

c) Costo indirecto total

Con el cálculo de los materiales indirectos y gastos que se utilizan en el proyecto se obtiene el costo indirecto total, el que se muestra en la Tabla 32.

Tabla 32*Costo indirecto total*

Años	M.I. (soles)	M.O.I (soles)	Gastos Indir. (soles)	Gastos Indirectos totales (soles)
1	1.270,00	0,00	4.650,00	5.920,00
2	1.270,00	0,00	4.650,00	5.920,00
3	1.270,00	0,00	4.650,00	5.920,00

Nota. Elaboración propia.

No se considera mano de obra indirecta para el estudio, por lo que el costo indirecto total es de 5.920,00 soles.

6.1.3. Gastos administrativos

Se requiere material administrativo y una capacitación interna y externa para el desarrollo del proyecto, el valor se muestra en la Tabla 33.

Tabla 33*Costos Administrativos*

IT	Cantidad	Descripción	Total (soles)
1	5	Material administrativo	600,00
2	1	Capacitación externa	5.000,00
3	1	Capacitación interna	1.110,58
TOTAL			6.710,58

Nota. Elaboración propia.

El costo administrativo tiene un valor de 6.710,58 soles, sin embargo, no se considera el costo de mano de obra administrativa.

6.1.4. Costos comerciales

La mejora en la gestión de mantenimiento de la empresa Chapi 99 S.C.R.L. no considera costos comerciales.

6.1.5. Costos totales del estudio

Se ha calculado el costo total requerido para el estudio es que se muestra en la Tabla 34.

Tabla 34*Costos totales*

IT	Costo Directo (soles)	Gastos Indirectos. (soles)	Costo Administrativo (soles)	Costo Total (soles)
1	68.324,00	5.920,00	6.710,58	80.954,58
2	68.324,00	5.920,00	6.710,58	80.954,58
3	68.324,00	5.920,00	6.710,58	80.954,58

Nota. Elaboración propia.

El costo total que va a requerir en el estudio es de 80.954.58 soles.

6.1.6. Determinación de ingresos

La mejora de la gestión de mantenimiento en la empresa Chapi 99 S.C.R.L. mediante la aplicación de las técnicas predictivas se calcula por medio del incremento de la producción y con el ahorro de las horas de mantenimiento perdidas por las actividades realizadas. Al utilizar técnicas predictivas se puede disminuir con las horas de mantenimiento utilizadas en la planta de agregados.

Tabla 35

Calculo de los ingresos

Descripción de los ingresos	Valor
Ingresos por la mejora de fajas transportadoras	58.100,00
Ingresos por la mejora de la chancadora de agregados	21.000,00
Ingresos por la mejora de la zaranda	13.440,00
Ingreso por incremento de producción	101.520,00
Total	194.060,00

Nota. Elaboración propia.

Los ingresos para el proyecto ascienden a 194.060,00 soles.

6.2. Inversión total

La inversión que se necesita para el estudio está formada principalmente por el activo tangible por la compra de los equipos para realizar la aplicación de las técnicas predictivas.

6.2.1. Activo tangible

Para la aplicación de las técnicas predictivas en la empresa Chapi 99 S.C.R.L. se requiere la compra de maquinaria y equipos que conforman los activos tangibles que se muestran en la Tabla 36.

Tabla 36*Activo Tangible*

Rubros	Monto estimado (soles)
Trabajos civiles	1.800,00
Maquinaria y equipos	20.250,00
Imprevistos 5%	1.102,50
TOTAL	23.152,50

Nota. Elaboración propia.

Para la compra de los equipos que permiten la aplicación de las técnicas predictivas se requiere un capital de 23.152,50 soles.

6.2.2. Activo intangible

Para la aplicación de las técnicas predictivas en la empresa Chapi 99 S.C.R.L. se requiere la adquisición de activos intangibles que se muestran en la Tabla 37.

Tabla 37*Activo Intangible*

Rubros	Monto Estimado (soles)
Elaboración del estudio	6.000,00
Gastos puesta en marcha 5%	300,00
TOTAL	6.300,00

Nota. Elaboración propia.

Para la compra del activo intangible se requiere un capital de 6.300,00 soles.

6.2.3. Capital de trabajo

Para poder implementar las técnicas predictivas se requiere un capital de trabajo considerado para un mes el cual se muestra en la Tabla 38.

Tabla 38*Capital de trabajo*

Rubros	Reserva	Totales (soles)
Mano de obra directa	1 mes	3.985,33
Materiales directos	1 mes	1.708,33
Gastos indirectos	1 mes	493,33
Gastos de administración	1 mes	559,21
TOTAL		6.746,21

Nota. Elaboración propia.

Se requiere un monto de 6.746,21 soles como capital de trabajo,

6.3. Indicadores económicos

Los indicadores económicos que se han desarrollado en el estudio son el Periodo de recuperación de la inversión, el Valor actual Neto, el costo de oportunidad y el Beneficio/Costo.

6.3.1. Estado de flujo de caja

Para poder calcular los indicadores económicos del estudio es importante estructural el flujo de caja, que se muestra en la Tabla 39.

Tabla 39*Flujo de caja*

Rubro	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
Ingresos (Cobranzas)		194.060,00	194.060,00	194.060,00
Actividades de Operación				
(-) Costo de producción				
(-) Materiales directos		20.500,00	20.500,00	20.500,00
(-) Mano de obra		47.824,00	47.824,00	47.824,00
(-) Gastos indirectos		5.920,00	5.920,00	5.920,00
(-) Gastos de administración		6.710,58	6.710,58	6.710,58
(-) Gastos de ventas		0,00	0,00	0,00
(-) Impuesto a la renta		33.366,10	33.366,10	33.366,10
(-) Participaciones		11.310,54	11.310,54	11.310,54
(aumento ó disminución de caja)		68.428,78	68.428,78	68.428,78
Menos:				
Actividades de Inversión				
(-) Adquisición de Activo Fijo	-36.198,71			
(aumento ó disminución de caja)				
Menos:				
Actividades de Financiamiento				
Ingreso de préstamo para adquis A.F		0,00		
Devolución de préstamo A.F.		0,00	0,00	0,00
Intereses del Financiamiento		0,00	0,00	0,00
(aumento ó disminución de caja)		0,00	0,00	0,00
Saldo inicial de caja		0,00	32.230,07	100.658,85
Variación de caja del período		32.230,07	68.428,78	68.428,78
Saldo final de caja		32.230,07	100.658,85	169.087,63

Nota. Elaboración propia.

El flujo que se ha calculado al tercer periodo es de 1.654.617,41 soles.

6.3.2. VAN, B/C, PRI y costo de oportunidad

El resultado de los indicadores económicos como el VAN, B/C, PRI y costo de oportunidad se muestran en la Tabla 40.

Tabla 40

Valor Actual Neto Económico (VAN_E)

Indicadores económicos	Valor	Interpretación
$VAN_E =$	128.155,67	El VAN de estudio es de 128.155,67 soles, siendo mayor a 0, indicado que es buen indicador ya que se trabajó con una inversión de 36.198,71 soles.
$B/C =$	1,54	El B/C del estudio es favorable con un valor de 1,54 indicando que se estaría ganado 54 céntimos por sol invertido.
$PRI =$	1 Año	La inversión requerida se recupera en el primer periodo
$K_c =$	12%	Para el cálculo de los indicadores se trabaja con un costo de capital de 12%, por políticas de la empresa.

Nota. Elaboración propia.

6.4. Evaluación técnica

La mejora de la gestión de mantenimiento en la empresa Chapi 99 S.C.R.L. se da mediante la evaluación de los indicadores del área de mantenimiento, que han mejorado con la aplicación de las técnicas predictivas en los componentes de las máquinas de la planta chancadora de agregados. Para ello se propone implementar el indicador de MTTR, ya que se va a disminuir el tiempo de realización del mantenimiento que se aplica a las máquinas, puede ser el preventivo o correctivo, de esta manera se tiene una mayor disponibilidad de los equipos.

El indicador de MTTR – que mide el tiempo medio de reparación, permite analizar el tiempo de intervención que presentan las máquinas como la máquina chancadora de piedra, la faja transportadora y las zarandas, en cuanto tiempo resuelven los problemas de mantenimiento que presentan o en cuanto tiempo se entrega la máquina después de una intervención.

Se presentan los resultados del indicador MTTR, para la faja transportadora de acuerdo a los datos levantados.

Tabla 41*Indicador MTTR de la faja transportadora*

Mantenimiento de la Planta Chancadora de agregados				
Objetivo del indicador	Determinar el tiempo que la faja transportadora ha estado inoperativa por mantenimiento.			
Indicador	MTTR - Tiempo medio de reparación			Unidad: Horas
				Frecuencia: Mensual
Formula	MTTR	=	Tiempo total de mantenimiento en la faja transportadora Numero de reparaciones de la faja transportadora	
Sistema	Base de datos del área de mantenimiento			
Rangos de desempeño	Bajo	56 a 80 horas	Bueno	26 a 40 horas
	Medio	41 a 55 horas	Excelente	10 a 25 horas
Responsable	Área de Mantenimiento de la planta chancadora de Agregados			

Nota. Elaboración propia.

Las fajas transportadoras presentan 510 horas de mantenimiento cuando no se aplican las técnicas de mantenimiento predictivo, para poder anticipar las fallas, conocer los defectos que se deben atacar, para poder adquirir los repuestos y tener listos los recursos necesarios para el mantenimiento, y cuando se aplican las técnicas predictivas se realizan en 330 horas teniendo una reducción del 35,29%, aplicando el indicador MTTR se obtiene un valor de 26 horas que es el tiempo que en promedio las fajas transportadoras se encuentran en reparación, siendo los principales problemas los que presenta el motor eléctrico, el tablero eléctrico con temperaturas altas, problemas en el reducto con desgaste de hierro, desgaste en las poleas y rodamientos gastados en el motor eléctrico, también se presentan fisuras en los ejes y otros problemas.

En la actualidad el MTTR con un valor de 26 horas se encuentra en un nivel bueno, sin embargo, con la aplicación de las técnicas predictivas se puede alcanzar un valor de 17 horas estando en un nivel excelente, mejorando 9 horas en la atención del mantenimiento de las fajas transportadoras.

Se presentan los resultados del indicador MTTR, para la máquina chancadora de agregados de acuerdo a los datos levantados.

Tabla 42

Indicador MTTR de la máquina chancadora

Mantenimiento de la Planta Chancadora de agregados				
Objetivo del indicador	Determinar el tiempo que la máquina chancadora ha estado inoperativa por mantenimiento.			CHAPI 99 S.C.R.L.
Indicador	MTTR - Tiempo medio de reparación			Unidad: Horas
				Frecuencia: Mensual
Formula	MTTR	=	<u>Tiempo total de mantenimiento en la máquina chancadora</u> Numero de reparaciones de la máquina chancadora	
Sistema	Base de datos del área de mantenimiento			
Rangos de desempeño	Bajo	56 a 80 horas	Bueno	26 a 40 horas
	Medio	41 a 55 horas	Excelente	10 a 25horas
Responsable	Área de Mantenimiento de la planta chancadora de Agregados			

Nota. Elaboración propia.

La máquina chancadora presentan 154 horas de mantenimiento cuando no se aplican las técnicas de mantenimiento predictivo, para poder anticipar las fallas, conocer los defectos que se deben atacar, mejorar la logística adquiriendo los repuestos anticipadamente y tener listos los recursos necesarios para el mantenimiento, y cuando se aplican las técnicas predictivas se realizan en 100 horas teniendo una reducción del 35,06%, aplicando el indicador MTTR se obtiene un valor de 28 horas, que es el tiempo que en promedio la máquina chancadora se encuentran en reparación, siendo los principales problemas los que presenta el sistema hidráulico con problemas en el sistema de lubricación y fallas en el motor con rodamientos desgastados en el lado del acople y del lado derecho, también presenta problemas en el eje de motor, el transformador y desgaste y fisuras en el eje principal.

En la actualidad el MTTR con un valor de 28 horas se encuentra en un nivel bueno, sin embargo, con la aplicación de las técnicas predictivas se puede alcanzar un valor de 14 horas estando en un nivel excelente, mejorando 14 horas en la atención del mantenimiento de la máquina chancadora.

Se presentan los resultados del indicador MTTR, para la zaranda de agregados de acuerdo a los datos levantados.

Tabla 43

Indicador MTTR de las zarandas

Mantenimiento de la Planta Chancadora de agregados					
Objetivo del indicador	Determinar el tiempo que las zarandas han estado inoperativas por mantenimiento. CHAPI 99 S.C.R.L.				
Indicador	MTTR - Tiempo medio de reparación			Unidad: Horas	Frecuencia: Mensual
Formula	MTTR	=	<u>Tiempo total de mantenimiento en la zaranda</u> Numero de reparaciones de la zaranda		
Sistema	Base de datos del área de mantenimiento				
Rangos de desempeño	Bajo	56 a 80 horas	Bueno	26 a 40 horas	
	Medio	41 a 55 horas	Excelente	10 a 25 horas	
Responsable	Área de Mantenimiento de la planta chancadora de Agregados				

Nota. Elaboración propia.

Las zarandas presentan 144 horas de mantenimiento cuando no se aplican las técnicas de mantenimiento predictivo, para poder anticipar las fallas, conocer los defectos que se deben atacar, para poder hacer las compras anticipadas de los repuestos y los recursos necesarios para el mantenimiento, y cuando se aplican las técnicas predictivas se realizan en 96 horas teniendo una reducción del 33,33%, aplicando el indicador MTTR se obtiene un valor de 48 horas que es el tiempo que en promedio las zarandas se encuentran en reparación, siendo los principales problemas los que presentan las poleas y los ejes con fisuras en los ejes.

En la actualidad el MTTR con un valor de 48 horas se encuentra en un nivel medio, sin embargo, con la aplicación de las técnicas predictivas se puede alcanzar un valor de 32 horas estando en un nivel bueno, mejorando 16 horas en la atención del mantenimiento de las zarandas.

Conclusiones

- Primera: Con la clasificación de las técnicas predictivas que se pueden aplicar a los componentes de las máquinas de la planta chancadora se puede mejorar la gestión de mantenimiento obteniendo indicadores de disponibilidad y confiabilidad de la planta chancadora de agregados por encima de 92%, también se puede mejorar el indicador MTTR de las fajas transportadoras, máquina chancadora y zarandas, logrando así ser más productivos.
- Segunda: Se realizó el análisis situacional de la gestión de mantenimiento de la planta chancadora de agregados con herramientas como el análisis de las 6M's y el análisis de la información de los mantenimientos realizados como el correctivo y preventivo, se han identificado problemas importantes como la falta de técnicos especializados en técnicas predictivas, no se cuenta con los repuestos a tiempo para los mantenimiento programados alargando la intervención de las máquinas, se tiene un indicador de disponibilidad de las máquinas de 81% y confiabilidad de 85%, y se presentan fallas frecuentes que atacan de manera directa la productividad de los procesos al paralizar las maquinas.
- Tercera: Se clasificaron las técnicas predictivas más importantes que pueden ser aplicadas en los componentes de las máquinas de la planta chancadora como, Ultrasonido phase array (UTPA), Ensayos no destructivos (NDT), Vibraciones (VIB), Termografía (IR), Análisis de aceites (OIL), Pruebas de motor (MOT TST) y Pruebas eléctricas (ELE TST), las cuales componen un catálogo de técnicas que son proporcionadas al jefe del área de mantenimiento para que pueda escoger dos de ellas que se puedan aplicar y mejorar los indicadores de disponibilidad, MTTR y confiabilidad, estas técnicas presentan un confiabilidad de la técnica, el tiempo de aplicación y la frecuencia.

Cuarta: En la evaluación técnica se ha mejorado los indicadores de disponibilidad y confiabilidad de las máquinas a un 92%. También se ha mejorado el indicador de MTTR en las fajas transportadoras en un 35,29%, en la máquina chancadora en un 35,06% y en la zaranda en un 34,90%; también se han obtenido resultados económicos importantes con indicadores como un VAN de 128.155,67; un B/C de 1,54 y un PRI de 1 año.



Recomendaciones

- Primera: Aplicar la metodología para identificar las técnicas predictivas en las otras líneas de máquinas, como el equipo pesado que se tiene en la empresa, donde se pueden aplicar técnicas predictivas que puedan anticipar las fallas y utilizar eficientemente los recursos.
- Segunda: Se plantea la capacitación de todo el personal del área de mantenimiento de la empresa Chapi 99 S.C.R.L. en técnicas predictivas para poder realizarlos en el momento adecuado, haciendo así que se tenga mayor disponibilidad de mano de obra calificada.
- Tercera: Se recomienda proporcionar los recursos necesarios para la aplicación de las técnicas predictivas principalmente en el talento humano, materiales e insumos y los equipos y máquinas especiales para la aplicación de las técnicas.
- Cuarta: Con los resultados de manera técnica y económica favorable se recomienda formar los equipos de trabajo liderados por el responsable del área de mantenimiento para poder aplicar las técnicas predictivas clasificadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Abreu, J. (2021). *Propuesta de Mejora al Sistema de Gestión de Mantenimiento de los Activos de Planta Física en la UCAB Extensión Guayana*. Caracas, Venezuela.
- Arias, F. (22 de Junio de 2024). INFOBAE. Obtenido de El sector construcción en Perú registra un crecimiento del 3,8 % durante el primer trimestre del año:
<https://www.infobae.com/peru/2024/05/06/el-sector-construccion-en-peru-registra-un-crecimiento-del-38-durante-el-primer-trimestre-del-ano/>
- CAPECO. (2024). *Camara de comercio e industria de Arequipa*. Obtenido de Construcción registra expansión de 1.3% en el primer semestre del año: <https://www.camara-arequipa.org.pe/erpccia/boletin/noticia/7697>
- Chapi 99 S.C.R.L. (2025). *Cultura organizacional*. Arequipa.
- Fidias, G. (2012). *El proyecto de investigación, introducción a la metodología científica*. Caracas, Venezuela: Editorial Episteme.
- Garcia. (2009). *Ingeniería de mantenimiento*. Madrid, España.
- Grupo Tice. (2023). *La influencia del ruido en la producción industrial*. <https://www.grupo-tice.com/las-inspecciones-no-dejan-de-ser-un-mantenimiento-preventivo-lo-que-se-intenta-evitar-es-que-ocurran-accidentes/>.
- Huaman, M. (2024). *Modelo de mantenimiento preventivo para incrementar la disponibilidad de las chancadoras en la industria minera Cusco, 2024*. Cusco, Perú: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/17260/1/IV_FIN_108_TE_Huaman_Vergara_2024.pdf.
- Loya, D. (2020). *Diseño de un plan de mantenimiento predictivo para el área de abastecimiento corte térmico de la empresa Sedemi*. Quito, Ecuador:
<https://repositorio.uti.edu.ec/bitstream/123456789/1612/1/PROYECTO%20DE%20INVESTIGACI%C3%93N%20LOYA%20%C3%91ATO%20DAR%C3%8DO%20ROLANDO.pdf>.

- Melvin, D. (2024). *Implementación de un plan de mantenimiento predictivo en la gestión del mantenimiento de equipos críticos en el área de molienda de la Mina Tajus Peru 2021*. Lima, Perú: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core/bitstreams/76ba48f8-6a11-42fa-b95d-f36c95ca8f13/content.
- Morales, C. (2019). *Desarrollar un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria de la empresa Imprenta Morales de la ciudad de Ambato*. Ambato, Ecuador.
- Morales, G. (22 de Mayo de 2024). Auvo. Obtenido de Gestión de mantenimiento: <https://www.blog.auvo.com/latam/post/gestion-de-mantenimiento-que-es>
- Parra. (2010). *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC)*. Lima, Perú: IPEMAN.
- Perez, F. (2021). *Conceptos generales en la gestión del mantenimiento industrial*. Bogota, Colombia: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/33276/9789588477923.pdf>.
- Riquelme, M. (2022). *¿Qué son los costos de mantenimiento?*
- Rodriguez, J. (2021). *Implementación de un plan de mantenimiento para la planta de chancado Sojo a fin de aumentar la productividad de piedra triturada*. Trujillo, Perú: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/72823/Rodriguez_HJC-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Silva, P. (2009). *Mantenimiento en la práctica*. Barranquilla.
- Torres. (2009). *Mantenimiento, su implementación y gestión*. Madrid, España.
- Valdivia, G. (2024). CAPECO. Obtenido de CAPECO: El 2024 será un año retador para la industria de la construcción (y para el Perú) – Proyecciones sectoriales: <https://capeco.org/el-2024-sera-un-ano-retador-para-la-construccion-y-para-el-peru/>
- Vilches, F. (2023). *Modelo predictivo de fallas para chancadores de la planta de chancado secundario y terciario de división Chuquicamata de Codelco*. Santiago de Chile: DOI: 10.58011/rafd-sf07.

WTW. (10 de Marzo de 2023). WTW. Obtenido de Informe global de tendencias de tasas de construcción: <https://www.wtwco.com/es-pe/insights/2023/03/informe-global-de-tendencias-de-tasas-de-construccion>



The background of the page features a large, faint watermark of the University of the Philippines seal. The seal is circular with the Latin motto "IN SCIENTIA ET FIDE EST FORTITUDO NOSTRA" around the top and "1961" at the bottom. The central shield contains a cross, a star, a crescent, two books, and a mountain range.

Anexos

Anexo 01: Requerimiento de máquinas y equipos para el mantenimiento predictivo

IT	Cantidad	Máquina	Precio (soles)	Total (soles)
1	1	CSI2140	7.200,00	7.200,00
2	1	Ultrasonido	4.500,00	4.500,00
3	1	Analizador dinámico de motores	3.800,00	3.800,00
4	1	Analizador estático de motores	4.750,00	4.750,00
TOTAL				20.250,00

Anexo 02: Calculo de los ingresos por mantenimiento de las máquinas

Máquina	Equipo	Sin MPd	Con MPd	Variación (horas)	Valor por hora	Total
Faja transportadora	Motor 01	18	12	6	300	1800
Faja transportadora	Motor 02	18	12	6	300	1800
Faja transportadora	Motor 03	18	12	6	300	1800
Faja transportadora	Motor 04	18	12	6	300	1800
Faja transportadora	Motor 05	18	12	6	300	1800
Faja transportadora	Polea 01	42	28	14	280	3920
Faja transportadora	Polea 02	42	28	14	280	3920
Faja transportadora	Polea 03	42	28	14	280	3920
Faja transportadora	Polea 04	42	28	14	280	3920
Faja transportadora	Polea 05	42	28	14	280	3920
Faja transportadora	Reductor 01	22	12	10	350	3500
Faja transportadora	Reductor 02	22	12	10	350	3500
Faja transportadora	Reductor 03	22	12	10	350	3500
Faja transportadora	Reductor 04	22	12	10	350	3500
Faja transportadora	Reductor 05	22	12	10	350	3500
Faja transportadora	T. Eléctrico 01	20	14	6	400	2400
Faja transportadora	T. Eléctrico 02	20	14	6	400	2400
Faja transportadora	T. Eléctrico 03	20	14	6	400	2400
Faja transportadora	T. Eléctrico 04	20	14	6	400	2400
Faja transportadora	T. Eléctrico 05	20	14	6	400	2400
Zaranda	Poleas, ejes	48	32	16	280	4480
Zaranda	Poleas, ejes	48	32	16	280	4480
Zaranda	Poleas, ejes	48	32	16	280	4480
Chancadora	Sist, Hidráulico	32	20	12	500	6000
Chancadora	Sist, Hidráulico	32	20	12	500	6000
Chancadora	Motor 06	18	12	6	300	1800
Chancadora	Motor 06	18	12	6	300	1800
Chancadora	Motor 07	18	12	6	300	1800
Chancadora	Motor 07	18	12	6	300	1800
Chancadora	Motor 07	18	12	6	300	1800

Anexo 03: Base de datos para el cálculo de los indicadores económicos

Años	Beneficio	Costo	Beneficio neto	Factor de actualización	Beneficio	Costo	Beneficio actual
0	-36.198,71	0,00	-36.198,71	1,000000	-36.198,71	0,00	-36.198,71
1	194.060,00	125.631,22	68.428,78	0,892857	173.267,86	112.170,73	61.097,13
2	194.060,00	125.631,22	68.428,78	0,797194	154.703,44	100.152,44	54.551,01
3	194.060,00	125.631,22	68.428,78	0,711780	138.128,07	89.421,82	48.706,25
	582.180,00	376.893,66	205.286,34		466.099,38	301.744,99	164.354,39



Anexo 04: Protocolo para la aplicación de las técnicas predictivas

CHAPI 99	SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN	Código:PR-GR-01 Revisión: 01 Página: 01 de 04
	Procedimiento de trabajo para la aplicación de las técnicas predictivas	

1. OBJETIVO

Establecer un procedimiento detallado de aplicación de las técnicas predictivas en la planta chancadora de agregados, de modo que el trabajo a ejecutar se realice de manera segura.

2. ALCANCE

Este procedimiento aplica para la planta chancadora de agregados, donde se encuentran, las fajas transportadoras, la máquina chancadora, zarandas y otros equipos que se puedan aplicar las técnicas de mantenimiento predictivo.

3. RESPONSABILIDADES

3.1. Del supervisor

Es el responsable de tomar toda precaución para proteger a los trabajadores, verificando y analizando que se haya dado cumplimiento de los todos los procesos, actividades o tareas que se ejecuten cumplan con los lineamientos de los estándares.

Estándar de bloqueo	SSO01
Estándar de inspección de herramientas y equipos.	SGI01
Estándar selección distribución y uso de epps	SSO01
Identificación de peligros, evaluación y control de riesgos.	SSO02
Manejo de productos químicos	SGI02

- Informar a los trabajadores acerca de los nuevos peligros identificados.

- Monitorear el buen desempeño en seguridad y productividad de la labor.

- Es el responsable de la coordinación y dirección del trabajo

- Asegurar el orden y limpieza de las diferentes áreas de trabajo

- Tomar toda precaución para proteger a los trabajadores, verificando y analizando que se haya dado cumplimiento a la IPERC.

CHAPI 99	SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN	Código:PR-GR-01
	Procedimiento de trabajo para la aplicación de las técnicas predictivas	Revisión: 01 Página: 02 de 04

3. RESPONSABILIDADES

- Informar a los trabajadores acerca de los peligros en el lugar de trabajo.
- Verificar que los trabajadores usen máquinas con las guardas de protección colocadas en su lugar.
- Ser responsable por su seguridad y la de los trabajadores que laboran en el área a su mando.
- Verificar que se cumplan el estándar de bloqueo y señalización de las maquinarias.
- Paralizar las operaciones o labores en situaciones de alto riesgo hasta que se haya eliminado o minimizado dichas situaciones riesgosas

4. REQUERIMIENTOS

4.1. De personal

Cantidad	Descripción
01 colaborador	Supervisor de mantenimiento
01 colaborador	Técnico de mantenimiento predictivo
01 colaborador	Mecánico 01

4.2. De equipo de protección personal

Cantidad	Descripción
03 unidades	Casco de seguridad
03 unidades	Lentes de seguridad
03 pares	Zapatos de seguridad (pares)
03 unidades	Chaleco reflectivo
03 unidades	Tapones de oído

4.3. De equipos y herramientas

Cantidad	Descripción
01 unidad	Equipo Ultrasonido Epoch 650
01 unidad	Analizador dinámico de motores
01 unidad	Analizador estático de motores

CHAPI 99	SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN	Código:PR-GR-01
	Procedimiento de trabajo para la aplicación de las técnicas predictivas	Revisión: 01 Página: 03 de 04

5. PROCEDIMIENTO

5.1. Descripción

El personal inspeccionará el área de trabajo y accesos para eliminar los obstáculos o materiales que puedan hacer caer al personal, ésta condición se deberá mantener durante todo el trabajo.

5.2. Bloqueo de equipo

- Se aplicará el estándar de bloqueo para los siguientes equipos a inspeccionar, y aplicar las técnicas predictivas, según corresponda.
- Todas las personas que van realizar trabajos en estos equipos, deben verificar en la tarjeta de auditoría del bloqueo, que los equipos indicados están bloqueados.
- Se aplicará el estándar de bloqueo, para bloquear los siguientes motores de las Fajas y chancadora.

5.3. Aplicación de la técnica predictiva

- Se realizará la limpieza a las zonas a inspeccionar con ayuda de trapo industrial y limpiador de piezas hasta lograr una superficie adecuada para la aplicación de la técnica predictiva.
- Se realiza la calibración del equipo de ultrasonido con la longitud del tambor de la polea y se procede a realizar la inspección.
- Se inspecciona el equipo haciendo un barrido y se coloca el equipo como se muestra a continuación.



CHAPI 99	SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN		Código:PR-GR-01
	Procedimiento de trabajo para la aplicación de las técnicas predictivas		Revisión: 01 Página: 04 de 04

5. PROCEDIMIENTO

5.3. Aplicación de la técnica predictiva

- Se debe tener un registro fotográfico de las zonas analizadas y las discontinuidades relevantes encontradas (fisuras).
- Culminada la Inspección el personal se retira de la zona del mismo modo que ingreso.
- Se registra los datos de la inspección y de encontrarse una indicación relevante se comunica al supervisor de mantenimiento.

PREPARADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
TÉCNICO DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO	SUPERVISOR DE MANTENIMIENTO	GERENTE DE LA EMPRESA
Fecha de Elaboración:		Fecha de Aprobación:

Anexo 05: Criterios de evaluación del análisis de criticidad

Puntaje	Frecuencia de fallas	
4	Alto	Mayor a 21 fallas
3	Promedio	15 a 21 fallas por año
2	Buena	08 a 14 fallas por año
1	Excelente	01 a 07 fallas por año

Puntaje	Impacto operacional	
10	Parada inmediata de toda la planta	
6	Parada inmediata de una parte de la línea de producción	
3	Impacto sobre los niveles de producción y calidad	
1	No genera mayor efecto en la producción	

Puntaje	Flexibilidad operacional	
5	No existe opción de producción, ni respaldo	
4	Existe opción de repuesto compartida	
3	Existe opción de respaldo/repuesto disponible	

Puntaje	Costo de mantenimiento	
3	Mayor a 10.000,00 soles	
2	Entre 5.000,00 a 10.000,00 soles	
1	Inferior a 5.000,00 soles	

Puntaje	Impacto de seguridad y medio ambiente	
9	Afecta la seguridad del trabajador	
8	Provoca daños mayores y/o afecta el medio ambiente	
6	Provoca daños mayores/ afecta las instalaciones	
3	Provoca daños menores	
1	No provoca ningún daño al trabajador ni a la infraestructura	

Anexo 06: Análisis de criticidad

CÓDIGO	Cantidad	Descripción	Marca	Análisis de Criticidad					ISMA	Criticidad
				Frecuencia de fallas	Impacto operacional	Flexibilidad operacional	Costo de mantenimiento			
CHFT01	1	Faja transportadora 01	-	3	6	3	3	6	972	
CHFT02	1	Faja transportadora 02	-	3	6	3	3	6	972	
CHFT03	1	Faja transportadora 03	-	3	6	3	3	6	972	
CHFT04	1	Faja transportadora 04	-	3	6	3	3	6	972	
CHFT05	1	Faja transportadora 05	-	4	6	3	3	6	1296	
CHCH01	1	Chancadora 01	FF Mineral	4	10	5	2	8	3200	
CHZR01	1	Zaranda	Ludowici	3	6	3	2	6	648	
CHZR02	1	Zaranda	-	3	6	3	2	6	648	
CHVL01	1	Volquete 01	Volvo	2	3	3	2	6	216	
CHVL02	1	Volquete 02	Volvo	2	3	3	2	6	216	
CHVL03	1	Volquete 03	Volvo	1	3	3	2	6	108	
CHVL04	1	Volquete 04	Volvo	2	3	3	2	3	108	
CHRT01	1	Retroexcavadora	CAT	2	6	4	3	3	432	
CHCF01	1	Cargador frontal 01	CAT	2	6	4	3	3	432	