

NOMBRE DEL TRABAJO

**TRABAJO DE SUFICENCIA - BRYAM LAZ  
O v36.docx**

AUTOR

**BRYAM LAZO SALDAÑA**

RECUENTO DE PALABRAS

**19330 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**109982 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**111 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**2.6MB**

FECHA DE ENTREGA

**Mar 18, 2024 6:56 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Mar 18, 2024 6:57 PM GMT-5****● 4% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 4% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 0% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

**● Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)



**FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN PARA LA  
PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN EN  
EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTELS**  
(Art. 45° de la ley N° 30220 – Ley)

Autorización de la propiedad intelectual del autor para la publicación de tesis en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur (<https://repositorio.unfels.edu.pe>), de conformidad con el Decreto Legislativo N° 822, sobre la Ley de los Derechos de Autor, Ley N° 30035 del Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, Art. 10° del Rgto. Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales en las universidades – RENATI Res. N° 084-2022-SUNEDU/CD, publicado en El Peruano el 16 de agosto de 2022; y la RCO N° 061-2023-UNTELS del 01 marzo 2023.

**TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

- 1). TESIS ( )      2). TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL ( X )

**DATOS PERSONALES**

Apellidos y Nombres: BRYAM STEVEN LAZO SALDAÑA
D.N.I.: 71711647
Otro Documento:
Nacionalidad: PERUANA
Teléfono: 936500360
e-mail: BRYAMLAZO16@GMAIL.COM

**DATOS ACADÉMICOS**

**Pregrado**

Facultad: FACULTAD DE INGENIERIA Y GESTION
Programa Académico: TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
Título Profesional otorgado: INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**Postgrado**

Universidad de Procedencia:
País:
Grado Académico otorgado:

**Datos de trabajo de investigación**

Título: DISEÑO DE UN PROCEDIMIENTO OPERACIONAL PARA EJECUTAR EL MANTENIMIENTO DEL ÁREA DE MOLIENDA EN UN COMPLEJO MINERO
Fecha de Sustentación: 15 DE DICIEMBRE DEL 2023
Calificación: APROBADO POR UNANIMIDAD
Año de Publicación: 2024

### AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN VERSIÓN ELECTRÓNICA

A través de la presente, autorizo la publicación del texto completo de la tesis, en el Repositorio Institucional de la UNTELS especificando los siguientes términos:

Marcar con una X su elección.

- 1) Usted otorga una licencia especial para publicación de obras en el REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR.

Si autorizo ( X )      No autorizo ( )

- 2) Usted autoriza para que la obra sea puesta a disposición del público conservando los derechos de autor y para ello se elige el siguiente tipo de acceso.

Derechos de autor		
TIPO DE ACCESO	ATRIBUCIONES DE ACCESO	ELECCIÓN
ACCESO ABIERTO 12.1(*)	<b>info:eu-repo/semantics/openAccess</b> (Para documentos en acceso abierto)	(X)

- 3) Si usted dispone de una **PATENTE** puede elegir el tipo de **ACCESO RESTRINGIDO** como derecho de autor y en el marco de confiabilidad dispuesto por los numerales 5.2 y 6.7 de la directiva N° 004-2016-CONCYTEC DEGC que regula el Repositorio Nacional Digital de CONCYTEC (Se colgará únicamente datos del autor y el resumen del trabajo de investigación).

Derechos de autor		
TIPO DE ACCESO	ATRIBUCIONES DE ACCESO	ELECCIÓN
ACCESO RESTRINGIDO	<b>info:eu-repo/semantics/restrictedAccess</b> (Para documentos restringidos)	( )
	<b>info:eu-repo/semantics/embargoedAccess</b> (Para documentos con períodos de embargo. Se debe especificar las fechas de embargo)	( )
	<b>info:eu-repo/semantics/closedAccess</b> (para documentos confidenciales)	( )

(\*) <http://renati.sunedu.gob.pe>



Rellene la siguiente información si su trabajo de investigación es de acceso restringido:

Atribuciones de acceso restringido:

---

---

Motivos de la elección del acceso restringido:

---

---

---

---

---

BRYAM STEVEN LAZO SALDAÑA

APELLIDOS Y NOMBRES

71711746

DNI

Firma y huella:



Lima, 22 de Marzo del 2024

**UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y**  
**ELÉCTRICA**



**“DISEÑO DE UN PROCEDIMIENTO OPERACIONAL PARA  
EJECUTAR EL MANTENIMIENTO DEL ÁREA DE  
MOLIENDA EN UN COMPLEJO MINERO”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Para optar el Título Profesional de

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**

LAZO SALDAÑA, BRYAM STEVEN  
ORCID: 0009-0001-1722-1454

**ASESOR**

FLORES CÁCERES, RICHARD  
ORCID: 0000-0001-6773-3872

**Villa el Salvador  
2023**



VI Programa de Titulación por la Modalidad de Trabajo de Suficiencia Profesional  
Decanato de la Facultad de Ingeniería y Gestión

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OBTENER EL  
TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

En Villa El Salvador, siendo las 17:40 horas del día viernes 15 de diciembre del 2023, se reunieron en las instalaciones de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, los miembros del Jurado Evaluador del Trabajo de Suficiencia Profesional integrado por:

Presidente	: CARLOS VIDAL DAVILA IGNACIO	C.I.P. N° 96353
Secretario	: JORGE AUGUSTO SANCHEZ AYTE	C.I.P. N° 110166
Vocal	: SOLIN EPIFANIO PUMA CORBACHO	C.I.P. N° 224387

Designados con Resolución de Decanato N° 984-2023-UNTELS-R-D, de fecha 13 de diciembre del 2023.

Se da inició al acto público de sustentación y evaluación del Trabajo de Suficiencia Profesional, para obtener el Título Profesional de **INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**, bajo la modalidad de Titulación por Trabajo de Suficiencia Profesional (Resolución de Consejo Universitario N° 065-2023-UNTELS-CU de fecha 08 de agosto del 2023), en la cual se APRUEBA el "Reglamento, Directiva, Cronograma y Presupuesto del VI Programa de Titulación por la Modalidad de Trabajo de Suficiencia Profesional de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur" ; siendo que el Art. 4º del precitado Reglamento establece que: "La Modalidad de Titulación prevista consiste en la presentación, aprobación y sustentación de un Trabajo de Suficiencia Profesional que dé cuenta de la experiencia profesional y además permita demostrar el logro de las competencias adquiridas en el desarrollo de los estudios de pregrado que califican para el ejercicio de la profesión correspondiente. Quienes participen en esta modalidad no podrán tramitar simultáneamente otras modalidades de titulación. Además, los participantes inscritos en esta modalidad, deberán acreditar un mínimo de dos (02) años de experiencia laboral, de acuerdo a lo establecido en la Resolución N° 174-2019- SUNEDU/CD y al anexo 1 sobre Glosario de Términos en el punto veinte (20)...", en el cual;

El Bachiller: **BRYAM STEVEN LAZO SALDAÑA**

Sustentó su Trabajo de Suficiencia Profesional: "DISEÑO DE UN PROCEDIMIENTO OPERACIONAL PARA EJECUTAR EL MANTENIMIENTO DEL ÁREA DE MOLIENDA EN UN COMPLEJO MINERO"

Concluida la Sustentación del Trabajo de Suficiencia Profesional, se procedió a la calificación correspondiente según el siguiente detalle:

Condición Aprobada por Unanimitad Equivalencia Buena de acuerdo al Art. 65º del Reglamento General para el Otorgamiento de Grado Académico y Título Profesional de la UNTELS vigente.

Siendo las 19:50 del día 15 de diciembre del 2023 se dio por concluido el acto de sustentación del Trabajo de Suficiencia Profesional, firmando la presente acta los miembros del Jurado.

  
SECRETARIO  
JORGE AUGUSTO SANCHEZ AYTE  
C.I.P. N° 110166  
INGENIERO MECÁNICO  
Reg. CIP N° 110166

PRESIDENTE  
CARLOS VIDAL DAVILA IGNACIO  
C.I.P. N° 96353  
  
CARLOS VIDAL DAVILA IGNACIO  
INGENIERO MECANICO  
Reg. CIP: N° 96353

  
VOCAL  
SOLIN EPIFANIO PUMA CORBACHO  
C.I.P. N° 224387

## **DEDICATORIA**

A mis padres Oswaldo y Silvia por su apoyo incondicional y cariño a lo largo de mi vida, a mi esposa y a mis 3 hermanos que son las personas más importantes, y en especial a mi abuela Flor.

B.S.L.S.

### **AGRADECIMIENTO**

A la “Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, en especial a mis docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica por brindarme todas sus enseñanzas y las herramientas necesarias para desarrollarme en el ámbito profesional.

B.S.L.S.

## ÍNDICE

RESUMEN .....	x
INTRODUCCIÓN .....	xi
CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES .....	13
1.1. Contexto .....	13
1.2. Delimitación temporal y espacial de trabajo .....	14
1.2.1. Delimitación temporal .....	14
1.2.2. Delimitación espacial de trabajo .....	14
1.3. Objetivos .....	15
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	16
2.1. Antecedentes .....	16
2.1.1. Antecedentes nacionales .....	16
2.1.2. Antecedentes internacionales .....	19
2.2. Bases teóricas .....	22
2.2.1. Mantenimiento .....	22
2.2.2. Gestión del mantenimiento .....	22
2.2.3. Tipos de mantenimiento .....	23
2.2.3.1. Mantenimiento preventivo .....	23
2.2.3.2. Mantenimiento correctivo .....	23
2.2.3.3. Mantenimiento predictivo .....	23
2.2.4. Estrategias del mantenimiento .....	24
2.2.5. Parada de planta .....	24
2.2.6. Overhaul .....	25
2.2.7. Flujo productivo de la compañía minera .....	25
2.2.7.1. Perforación y voladura .....	25
2.2.7.2. Carguío y acarreo .....	26
2.2.7.3. Chancado .....	26

2.2.8. Tipos de chancadoras.....	27
2.2.8.1. Chancadora de mandíbula .....	27
2.2.8.2. Chancadora giratoria:.....	27
2.2.9. Molienda.....	28
2.2.9.1. Stockpiles.....	29
2.2.9.2. Apron Feeder .....	29
2.2.9.3. Faja transportadora .....	30
2.2.9.4. Molino SAG.....	31
2.2.9.5. Molino de bolas .....	31
2.2.9.6. Zaranda vibratoria .....	32
2.2.9.7. Nido de ciclones.....	33
2.2.9.8. Bomba Warman .....	34
2.2.10. Flotación.....	35
2.2.11. Transporte al mineroducto .....	36
2.2.12. Filtrado .....	36
2.2.13. (TPM) .....	36
2.2.13.1. Mantenimiento Autónomo.....	37
2.2.13.2. Mantenimiento Planificado .....	39
2.2.13.3. Mejora Específica.....	40
2.2.13.4. Educación y entrenamiento .....	42
2.2.13.5. Mantenimiento de calidad .....	43
2.2.13.6. TPM en oficinas .....	45
2.2.13.7. Seguridad, salud y medio ambiente .....	46
2.2.13.8. TPM en toda la Empresa.....	48
2.3. Definición de términos básicos .....	50
CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO PROFESIONAL.....	53
3.1. Determinación y análisis del problema .....	53

3.1.1. Situación actual de los equipos .....	54
3.1.1.1. Diagnostico .....	54
3.1.1.2. Árbol de problemas de los equipos .....	54
3.1.1.3. Análisis FODA.....	55
3.1.2. Situación actual de los procesos .....	56
3.1.2.1. Diagnostico .....	56
3.1.2.2. Árbol de problemas .....	57
3.1.2.3. Análisis FODA.....	58
3.1.3. Situación actual de la cultura organizacional .....	60
3.1.3.1. Diagnostico .....	60
3.1.3.2. Árbol de problemas .....	60
3.1.3.3. Análisis FODA.....	62
3.1.4. Situación actual de los indicadores de gestión .....	63
3.1.4.1. Diagnóstico .....	63
3.1.4.2. Árbol de problemas .....	64
3.1.4.3. Análisis FODA.....	65
3.2 Modelo de solución propuesto .....	66
3.2.1. Implementación del Modelo (TPM).....	66
3.2.2. Conformación del equipo de implementación .....	68
3.2.3. Diagnóstico de la situación actual.....	70
3.2.4. Elaboración del plan de implementación .....	72
3.2.5. Implementación del plan de actividades .....	74
3.2.5.1. Fase 1.....	74
3.2.5.2. Fase 2.....	75
3.2.5.3. Fase 3.....	76
3.2.5.4. Fase 4.....	78
3.2.6. Monitoreo y evaluación.....	79

3.2.6.1. Monitoreo .....	79
3.2.6.2. Evaluación .....	82
3.3 Resultados .....	84
3.3.1. Línea de proceso operacional .....	84
3.3.2. Análisis de procura de insumos y herramientas .....	88
3.3.3. Diseño de gestión de atención operacional .....	91
3.3.3.1. Indicadores Propuestos .....	93
3.3.4. Nivel de satisfacción del cliente .....	98
3.3.5. Proyección Retorno de Inversión .....	101
CONCLUSIONES .....	105
RECOMENDACIONES .....	106
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	107
ANEXOS .....	110
Anexo 1. Proforma .....	110

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Ubicación de las instalaciones de trabajo .....	14
Figura 2	Camión minero.....	26
Figura 3	Chancadora giratoria primaria.....	28
Figura 4	Circuito de Molienda.....	29
Figura 5	Apron feeder.....	30
Figura 6	Molino SAG .....	31
Figura 7	Manual de Molienda y Clasificación .....	32
Figura 8	Zaranda vibratoria .....	33
Figura 9	Nido de ciclones .....	34
Figura 10	Bomba Warman .....	35
Figura 11	Celda de flotación.....	36
Figura 12	Pilares del mantenimiento TPM.....	37
Figura 13	Análisis FODA equipos .....	56
Figura 14	Análisis FODA procesos .....	59
Figura 15	Análisis FODA cultura organizacional .....	62
Figura 16	Análisis FODA indicadores de gestión .....	65
Figura 17	Marco de trabajo TPM.....	66
Figura 18	Implementación del plan de actividades .....	74
Figura 19	Conformación de equipo de gestión a atención operacional.....	91
Figura 20	Mejora de la disponibilidad de equipos en 6 meses.....	95
Figura 21	Incremento del tiempo medio entre fallas .....	96
Figura 22	Reducción del costo de mantenimiento .....	97
Figura 23	Aumento de la productividad en 6 meses .....	98
Figura 24	Aumento de la satisfacción del cliente .....	99

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Personal trabajando actualmente licitación .....	68
Tabla 2	Personal trabajando actualmente preparativos.....	69
Tabla 3	Personal trabajando actualmente ejecución .....	70
Tabla 4	Plan de implementación .....	72
Tabla 5	Orden de trabajo .....	79
Tabla 6	Registro de fallas.....	80
Tabla 7	Informe de mantenimiento.....	81
Tabla 8	Procedimientos .....	82
Tabla 9	Línea de proceso operacional etapa licitación. ....	85
Tabla 10	Línea de proceso operacional etapa preparativos. ....	86
Tabla 11	Línea de proceso operacional etapa ejecución.....	87
Tabla 12	Línea de proceso operacional etapa adicionales.....	88
Tabla 13	Análisis de procura de insumos y herramientas.....	89
Tabla 14	Equipos y herramientas.....	94
Tabla 15	Nivel actual de satisfacción del cliente. ....	99
Tabla 16	Flujo de caja.....	102

## RESUMEN

El presente estudio titulado "Diseño de un procedimiento operacional para ejecutar el mantenimiento del área de molienda en un complejo minero " aborda la problemática de la gestión inadecuada del mantenimiento en dicha área, que se evidencia en improvisaciones, falta de recursos, incidentes y baja satisfacción del cliente.

El objetivo es optimizar la gestión de la atención en paradas de planta mediante la estandarización de procesos, el fortalecimiento logístico y la implementación de la metodología TPM. La metodología consistió en el análisis del proceso actual, la identificación de brechas y una propuesta de mejora apoyada en buenas prácticas.

Los resultados del estudio indican que la implementación del nuevo modelo de gestión incrementaría la disponibilidad de los equipos de 85% a 90%, la productividad en 5% y la satisfacción del cliente de 75% a 85%. Además, se estima un VAN de S/153,262, una TIR de 45% y una relación beneficio/costo de 2.67, lo que sustenta la viabilidad económica.

En conclusión, el proyecto fortalecería integralmente la gestión del mantenimiento en molienda, con mejoras en rentabilidad, eficiencia operacional y satisfacción del cliente. Se recomienda su implementación estandarizando procesos, optimizando la logística, reforzando la planificación y ejecución del mantenimiento, y midiendo formalmente la satisfacción del cliente.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como objetivo principal optimizar la gestión de atención en paradas de planta, identificando oportunidades de mejora en todas las áreas involucradas que participan en los preparativos, en la ejecución y post parada que amenazan el éxito del servicio.

Como objetivos específicos se busca identificar la línea de proceso de gestión frente a una parada de planta, satisfacer la procura de insumos y herramientas requeridos para el servicio, así como ejecutar eficientemente el mantenimiento mecánico de los equipos de molienda; por otro lado, también se busca reducir y mitigar los incidentes de seguridad y finalmente medir el nivel de satisfacción del cliente al término de la parada.

El presente trabajo está estructurado en 3 capítulos, los cuales se detallan de la forma siguiente:

En el capítulo I se despliega un panorama exhaustivo de la Empresa Metalmecánica S.A. Aquí se delinearán los principios orientadores de la organización, articulando explícitamente su visión y misión, y se define con precisión el ámbito de su actuación dentro del sector metalmeccánico. Este capítulo se propone sentar las bases para una comprensión holística de la entidad empresarial, detallando los mercados en los que opera y el papel que desempeña en el tejido industrial.

En el capítulo II se procede a una inmersión en la profundidad de los conceptos teóricos que son piedras angulares de la gestión y el mantenimiento dentro del ámbito profesional. Este segmento está dedicado a desglosar y examinar meticulosamente las teorías, modelos y prácticas que constituyen el fundamento intelectual del campo en estudio. Se aborda una exploración minuciosa de las metodologías y las estrategias vigentes, estableciendo así un marco teórico robusto.

En el capítulo III se desarrolla una exposición detallada del contexto analítico, delineando las circunstancias específicas que engloban el problema en cuestión. Este análisis situacional se diseña meticulosamente para comprender la complejidad y las particularidades del asunto abordado. Se identifican y se examinan los factores críticos que contribuyen a la problemática, proporcionando una evaluación exhaustiva que sirve de fundamento para el argumento del estudio; además, se articula una discusión profunda sobre la problemática central,

examinando sus dimensiones, su impacto en el contexto relevante y las implicaciones que conlleva para las partes interesadas. Este análisis crítico pretende desentrañar las raíces y las ramificaciones del problema, ofreciendo una visión integral que es crucial para la comprensión cabal de los desafíos presentes.

Posteriormente, el capítulo avanza hacia una propuesta de solución bien fundamentada, donde se esbozan estrategias y recomendaciones destinadas a abordar los desafíos identificados. Esta propuesta es el resultado de una deliberación cuidadosa y de la síntesis de datos y teorías pertinentes, con el propósito de ofrecer un enfoque pragmático y viable para mitigar la problemática. La solución propuesta se presenta con el rigor analítico necesario, anticipando posibles obstáculos y considerando los recursos y las capacidades requeridas para su implementación efectiva.

En última instancia, se concluye con un capítulo dedicado a consolidar las conclusiones y a esbozar las recomendaciones pertinentes. Este apartado recapitula los descubrimientos clave y las interpretaciones deducidas a lo largo de la investigación, proporcionando una síntesis concisa de los resultados y su relevancia para el campo de estudio. Asimismo, se articulan recomendaciones detalladas, que emergen de los datos analizados y las teorías examinadas, dirigidas a mejorar la práctica de gestión y mantenimiento en la Empresa Metalmecánica S.A.

## **CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES**

### **1.1. Contexto**

Empresa Metal Mecánica S.A. con medio siglo de experiencia en el mercado peruano, ha consolidado su presencia en la industria metalmecánica y, con el tiempo, ha diversificado su actividad empresarial asumiendo nuevas representaciones comerciales. La empresa se extiende sobre una superficie de más de 20,000 metros cuadrados de instalaciones, dotadas de maquinaria de vanguardia, lo que le permite operar según los estándares más elevados de calidad y seguridad. Su operación abarca una gama de sectores que incluyen la industria, construcción, minería, automoción, ferretería y cerrajería.

La visión de Empresa Metal Mecánica SA es consolidarse como un actor de referencia en el ámbito latinoamericano, manteniéndose como un proveedor fiable y constante en todos los sectores en los que opera. En cuanto a su misión, se centra en comprender y atender las demandas de sus clientes para contribuir a su éxito, fundamentándose en la mejora continua de procesos y en la formación continua de su capital humano. Todo esto, con el propósito de garantizar la rentabilidad y el desarrollo sostenido del negocio.

La empresa tiene constantes servicios de mantenimiento en paradas de planta en unidades mineras y debido las características propias del trabajo, los plazos de atención, planificación y programación son extremadamente cortos para cubrir la necesidad que requiere el cliente, es por ello que este trabajo de suficiencia tiene abocado plantear mejoras viables.

## 1.2. Delimitación temporal y espacial de trabajo

### 1.2.1. Delimitación temporal

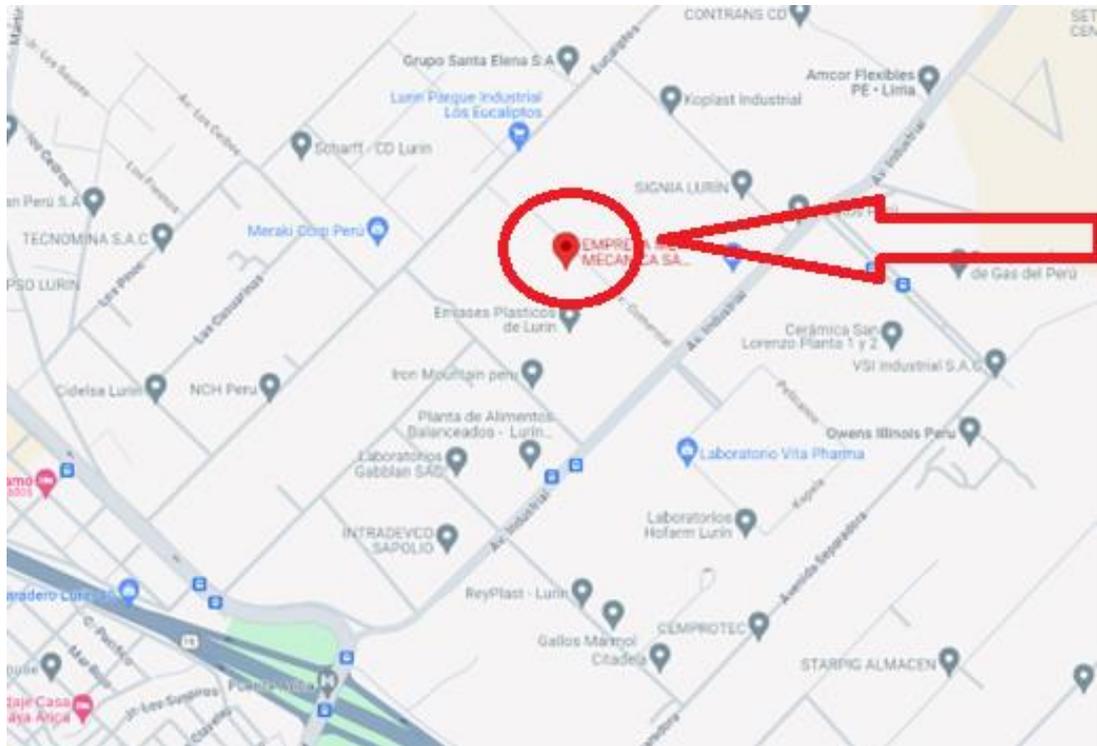
El período de realización del trabajo de suficiencia profesional se estableció comenzando el 26 de agosto de 2023 y finalizó el 10 de diciembre de 2023.

### 1.2.2. Delimitación espacial de trabajo

El trabajo de suficiencia profesional que se informa se llevó a cabo en la empresa Metalmecánica S.A. que brinda servicio a compañías mineras, situada en el distrito de Lurín, perteneciente a la Provincia de Lima, Perú.

#### Figura 1

*Ubicación de las instalaciones de trabajo*



Nota: (Google, 2023)

### **1.3. Objetivos**

- O1. Identificar la línea de proceso operacional y su impacto en el Mantenimiento del área de Molienda en un complejo Minero.
- O2. Analizar la procura de insumos y herramientas en el procedimiento operacional para ejecutar el mantenimiento del área de molienda en un complejo minero.
- O3. Diseñar la gestión de atención en el procedimiento operacional para realizar el mantenimiento en el área de molienda en un complejo minero.
- O4. Determinar el nivel de satisfacción del cliente cumpliendo el procedimiento operacional durante el mantenimiento del área de molienda en un complejo minero.
- O5. Evaluar el retorno de inversión de la implementación de la metodología TPM en el mantenimiento del área de molienda en un complejo minero.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

#### 2.1.1. Antecedentes nacionales

Meléndez (2021) en su trabajo de suficiencia profesional, aplica el *Total Productive Maintenance* (TPM) en la línea de la máquina extrusora continua de Tecnofil S.A. El objetivo es disminuir las interrupciones inesperadas en la producción, optimizar el desempeño de la línea extrusora y reducir las incidencias de averías mecánicas y eléctricas, con la finalidad de elevar la eficacia operativa de la línea en su totalidad y, por extensión, de sus ocho componentes principales. La investigación adopta un enfoque aplicado y tecnológico, con una naturaleza descriptiva y un diseño experimental. Se emprendieron medidas correctivas en respuesta a los problemas recurrentes en la línea de producción, iniciando con un análisis de causa raíz y la identificación de fallos en los componentes críticos, seguido de la aplicación de las fases de implementación del TPM. Se enfocó en fomentar la sensibilización y compromiso del personal de Tecnofil S.A., especialmente aquellos directamente relacionados con la operación de la línea extrusora, para que internalicen la relevancia del TPM basado en sus ocho pilares fundamentales durante la fase de prueba piloto del año 2020, y así mejorar la gestión y priorización de las fallas según su gravedad. Se diseñó un programa de actividades específicas para la implementación del TPM. Es importante resaltar que el enfoque de este estudio se centra en la implementación del TPM y no en el desarrollo de soluciones específicas a problemas individuales de la maquinaria, lo cual podría constituir el núcleo de futuras investigaciones. Para concluir, se evaluó la Efectividad Global de los Equipos (OEE) tras la aplicación del TPM, comparando los resultados con los obtenidos en años previos.

Nakazaki y Ysamo, (2021), en su disertación académica, se propuso como meta principal la implementación del (TPM) con el fin de potenciar la productividad en la Compañía Minera Antamina S.A.

El abordaje metodológico de la investigación fue cuantitativo y de carácter descriptivo, con un diseño preexperimental. Se trabajó con una población y muestra coincidentes de 14 miembros del área de mantenimiento, seleccionados mediante un muestreo no probabilístico de conveniencia. Para la recolección de datos se recurrió a técnicas de encuesta y observación. La aplicación de la metodología TPM se llevó a cabo como respuesta a los desafíos operativos identificados en la empresa. Los hallazgos obtenidos post implementación del TPM indicaron una disminución significativa en los retrasos de los equipos móviles y en la frecuencia de paradas. Asimismo, se identificó una carencia en la realización de mantenimiento autónomo y preventivo, lo cual se destacó como un aspecto crítico dentro de las operaciones de la minera. Consecuentemente, los datos revelaron una mejora en la productividad, evidenciada por incrementos del 11.2% y 16.1% en la disponibilidad de la flota de equipos móviles durante los meses de abril y mayo, respectivamente. Además, la relación beneficio/costo de 1.97 corroboró la viabilidad económica de la aplicación del TPM en la Compañía Minera Antamina S.A.

Vittor y Simón (2020), En el marco de su proyecto de suficiencia profesional, desarrollaron un plan de mantenimiento basado en los principios del (TPM), con el objetivo de optimizar la disponibilidad mecánica del triturador METSO C-110 en la Compañía Minera Alpayana S.A., situada en la región de Huarochirí. Se comenzó con un análisis de criticidad de los componentes del triturador, asignando un nivel de alta criticidad a partes fundamentales como el eje principal, el spider (armazón), la estructura principal, la excéntrica y el sistema de accionamiento, mientras que el sistema hidráulico y el sistema de sellado de polvo se consideraron de criticidad media. Este análisis crítico sirvió como base para el diseño de un esquema de mantenimiento que integró tanto las paradas no planificadas como el estado actual de los equipos. Este esquema incorporó estrategias como el mantenimiento autónomo y la implementación de la metodología 5S, resultando en una mejora significativa de la

disponibilidad mecánica del triturador METSO C110. La implementación de este plan de mantenimiento se tradujo en una disponibilidad mecánica promedio del 93.11% durante el periodo de enero a julio de 2020. Estos resultados confirmaron que el esquema de mantenimiento propuesto contribuyó a una optimización notable de la disponibilidad mecánica del equipo, con un incremento del 40.33% entre los años 2018 y 2020, y un aumento del 56.32% de 2019 a 2020. Estos hallazgos subrayan la eficacia del mantenimiento inspirado en TPM para mejorar la eficiencia operativa en el contexto de la industria minera.

Espititu y Junior (2020) plantea que el mantenimiento representa un conjunto de actividades interrelacionadas que, al ser ejecutadas adecuadamente, proporcionan a la organización un nivel de confiabilidad destacado. El estudio que se presenta se concentra en la valoración de investigaciones efectuadas en el ámbito latinoamericano, otorgando especial atención a aquellas tesis que se consideran de trascendental importancia para el progreso en este campo. Específicamente, se explora cómo la implementación del (TPM) en la industria de maquinaria pesada puede inducir avances significativos en su funcionamiento. Además, se examinan los pilares fundamentales del TPM y su integración más efectiva en la industria, así como el impacto económico positivo que conlleva su aplicación. Se aborda igualmente cómo se implementa el TPM en la industria de manera eficiente, en concordancia con la adopción de sus pilares en los procesos sectoriales. Los resultados del estudio reflejan una tendencia positiva en la adopción del TPM en la industria, con repercusiones directas en la productividad, la estructura organizativa y las prácticas de seguridad. En suma, el análisis culmina con la determinación de que la aplicación del TPM tiene un efecto beneficioso en la industria, marcando mejoras significativas en el mantenimiento, los procesos, la organización y la seguridad, lo que se traduce en elementos esenciales para el avance empresarial en diversos sectores.

### **2.1.2. Antecedentes internacionales**

Antomarioni et al (2023) sostienen que el Total Productive Maintenance (TPM) se ha consolidado como una metodología preeminente para incrementar la disponibilidad de equipos existentes. Esto se logra mediante la minimización de interrupciones operativas, detenciones no programadas y defectos, así como la optimización de los procedimientos de manufactura y el manejo del equipo de mantenimiento. En el contexto de la ingente cantidad de datos generados por la digitalización inherente a la Industria 4.0, se vuelve pertinente la expansión del análisis convencional del TPM a través de la integración de técnicas y herramientas innovadoras. En particular, este estudio aplica la metodología de Minería de Reglas de Asociación (ARM) para descubrir vínculos latentes entre diversos incidentes de fallos, lo cual facilita su seguimiento y predicción, y consecuentemente, incrementa la continuidad y resiliencia de los flujos de producción. El propósito esencial de la metodología propuesta es forjar una estrategia de mantenimiento que potencie la Efectividad Global de los Equipos (OEE) del proceso en cuestión. Para ilustrar la metodología, se emplea un estudio de caso basado en datos empíricos provenientes de una compañía del sector automotriz, lo que permite la extracción de conocimientos significativos derivados de su aplicación.

Teles et al (2023) El propósito de este artículo es mostrar los resultados de una investigación bibliográfica que recogió información sobre el tema del (TPM), centrándose en el tema de los principales obstáculos y beneficios de su implementación. Por lo tanto, se seleccionaron y revisaron 30 artículos que presentaron correlación con respecto al objetivo de esta investigación, es decir, abordaron los obstáculos y beneficios de la implementación de TPM. Entre los principales obstáculos, se destacan: el error humano, producto de la falta de habilidades y la capacitación ineficiente; resistencia al cambio; y la falta de confianza en el método. En cuanto a los beneficios señalados en los artículos, se pueden destacar los siguientes:

conciencia sobre la reducción de pérdidas resultantes de fallas en los equipos; reducción de costos al reducir el tiempo de inactividad y la eficiencia general de uso; y la posibilidad de aplicar nuevas tecnologías, como la robótica y la industria 4.0, mejorar la seguridad de los operarios e identificar mejor los fallos, entre otros. Sin embargo, la plena participación y el compromiso efectivo de los empleados durante el proceso de implementación de TPM es esencial para obtener los beneficios generados por este método y apuntar a nuevas alturas.

Bhushan et al. (2022) indica que la minería a cielo abierto es la industria más costosa del mundo debido a sus enormes gastos. La reducción de la producción está obligando a las empresas mineras a automatizar sus equipos, predominantemente maquinaria pesada para minería de tierra (HEMM), por ejemplo, camiones volquete, palas y topadoras. La columna vertebral de la minería a cielo abierto es la topadora sobre orugas, comúnmente conocida como topadora. Los bulldozers sobre orugas son máquinas de movimiento de tierras sobre orugas con cuchillas metálicas colocadas en la parte delantera para empujar materiales como rocas, tierra, etc. Para sobrevivir a la dura competencia, las topadoras deben ser duraderas y tener un mantenimiento adecuado. Las topadoras sobre orugas funcionan en condiciones difíciles para evitar retrasos en la producción que provocan pérdidas como averías, fallos en la transmisión y otros problemas en las operaciones mineras. Las fallas en la transmisión, entre otros problemas con las topadoras, son uno de los más difíciles de resolver. Este estudio evalúa la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad (RAM) de una transmisión de topadora sobre orugas BD155 utilizando datos de fallas y reparaciones y el método de Markov. Se ha realizado un estudio de caso realista sobre el fallo de transmisión (BD155) y los subsistemas asociados. También se identifican posibles enfoques y alternativas para aumentar la confiabilidad y el rendimiento. En este artículo también se analizan las mejores prácticas de mantenimiento para minimizar las fallas de la transmisión y aumentar la productividad. La disponibilidad del BD155

aumenta del 62% al 71% con la planificación y el mantenimiento adecuados.

Vaz E. et al (2021) realizaron un análisis exhaustivo del efecto del (TPM) en el rendimiento operativo del sector industrial en Portugal, examinando cómo esta metodología contribuye a una disminución sistemática de los desperdicios asociados al mantenimiento. Mediante la aplicación de un cuestionario estructurado, se recabaron datos de 472 entidades empresariales portuguesas, obteniendo así 84 respuestas válidas. Utilizando una escala de Likert de cinco puntos, se pudo cuantificar el impacto del TPM en cinco dimensiones clave de desempeño operativo: calidad, flexibilidad, productividad, seguridad y costes. Los hallazgos revelaron que las prácticas de mantenimiento programado, así como la educación y formación, ostentan los más altos niveles de implementación en la industria portuguesa, con una adopción que excede el 70% en ambos casos. Se destaca que la productividad experimentó el mayor mejoramiento como resultado de la adopción del TPM, mientras que los costes fueron la dimensión menos afectada. Este estudio proporciona un análisis detallado del estado actual de la adopción del TPM en la industria portuguesa, ofreciendo una herramienta valiosa para profesionales de mantenimiento, investigadores y otros interesados en el ámbito del mantenimiento industrial, facilitando la comprensión de los efectos del TPM sobre el rendimiento operativo en el contexto industrial portugués.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Mantenimiento**

(Montilla, 2019) en su libro *Mantenimiento Industrial y su Administración* conceptualiza el “mantenimiento” como una parte de la ingeniería que con su intervención ayuda a la conservación de los elementos en cualquier área de una empresa, teniendo como resultado la menor cantidad de fallas imprevistas y se obtendrá una economía, seguridad y eficiencia elevada dentro de la organización.

Por otro lado (Tavares L. , 2000), en el prefacio del libro “*Administración Moderna de Mantenimiento*” el autor expuso que el mantenimiento es una tarea crítica que demanda grandes esfuerzos, muchas veces de forma individual que deben realizar los ingenieros y técnicos encargados a esta actividad. Así mismo indica que “mantener” significa perdurar en el tiempo, continuar con la misma condición, en otras palabras “conservar”, sin embargo, mantener implica mucho más que simplemente eso y solamente los que se dedican a la mejora continua pueden garantizar la rentabilidad y eficiencia en su empresa.

### **2.2.2. Gestión del mantenimiento**

La gestión del mantenimiento según señala (Markets, 2018) hace referencia al conjunto técnicas, metodologías, integración multidepartamentales, que permitan la planificación, coordinación y control eficiente de las actividades relacionadas al mantenimiento de equipos, maquinarias, activos y sistemas dentro de la organización con la finalidad de reducir costos asociados a la interrupción de la producción debido a las fallas imprevistas en los equipos, garantizar la seguridad de los colaboradores en sus jornadas diarias; así mismo busca reducir el desperdicio de recursos, energía y optimizar el presupuesto asignado al mantenimiento de los mismos; por otro lado se busca prolongar la vida útil de los equipos cumpliendo los más altos estándares de seguridad mantenimiento un estricto control y supervisión de las actividades realiza en el departamento de mantenimiento.

### **2.2.3. Tipos de mantenimiento**

A lo largo del tiempo la función del mantenimiento ha experimentado cambios sustanciales de acuerdo con las necesidades requeridos en distintos contextos y sectores asegurando así el correcto funcionamiento de los equipos y maquinas. Los tipos de mantenimiento utilizados en la industria más comunes son:

#### **2.2.3.1. Mantenimiento preventivo**

(Montilla, 2019) Señala que el Mantenimiento Preventivo (PM) tiene como objetivo principal prevenir que ocurran fallas dentro de un sistema de producción y el más utilizado por las grandes empresas dentro de ellas las actividades más comunes que se ejecutan son: la observación, inspección de componentes, calibración, lubricación, reparaciones, etc. A fin de conocer el comportamiento y rendimiento de la maquina o equipo para programar de manera adecuada.

#### **2.2.3.2. Mantenimiento correctivo**

(Castillo , Prieto, & Zambrano, 2013) sostiene que debe existir un problema o fallo en el equipo o máquina para ejecutar el Mantenimiento Correctivo (CM), tiene como función principal intervenir y mejorar la mantenibilidad, confiabilidad, seguridad y deficiencias en los equipos, utilizando estrategias que están orientadas el deterioro y las fallas, con la finalidad de conservar o mantener dichos equipos sin la necesidad de realizar mantenimiento, además es de gran utilidad puesto que permite obtener valiosa información para el mantenimiento de equipos de nueva generación y mejora de los equipos existentes.

#### **2.2.3.3. Mantenimiento predictivo**

(Montilla, 2019) sostiene que el Mantenimiento Predictivo está enfocado en la predicción de posibles fallas en un equipo industrial analizando el comportamiento y señales tempranas en el deterioro o desviaciones que se manifiesta en el equipo o maquina industrial, a través de la medición de variables como la vibración, temperatura, vibraciones, análisis de aceite en uso, ensayos no destructivos, entre

otros con ayuda de sensores, cámaras termográficas y tecnologías avanzadas que permiten el monitoreo en tiempo real.

#### **2.2.4. Estrategias del mantenimiento**

(Montilla, 2019) advierte que el TPM no centra su enfoque en los equipos o maquinas en primera instancia; en su lugar inicia enfocándose en las personas a fin de generar conciencia, capacitarlas y mejorar sus aptitudes frente al trabajo y su perspectiva de la vida; posteriormente estos colaboradores centrarán su atención hacia la producción, las instalaciones, procesos, equipos y maquinarias, con el objetivo principal de aumentar su productividad resultando así una mejora significativa en los resultados individuales y a nivel organizacional.

(Enrique, 2000) señala que la filosofía del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) tiene un enfoque sistemático que ayuda a realizar un plan de mantenimiento planificado conformado por actividades o tareas rentables conservando las funciones críticas de una planta; una parte importante de esta filosofía consiste en priorizar los sistemas y elaborar niveles de prioridad en función a las posibles consecuencias ante un posible fallo de tal manera que se pueda identificar, analizar y realizar adaptaciones operativas y de diseño necesario, conjuntamente con las estrategias de mantenimiento como respaldo, de este modo se logra una rentabilidad eficaz al dirigir los recursos a las actividades críticas.

#### **2.2.5. Parada de planta**

Según (Tavares L. , 2000), una parada de planta es una interrupción planificada o no planificada de la producción en una planta industrial. Se realiza para realizar tareas de mantenimiento, reparación, actualización o cambio de equipos, o para realizar cambios en el proceso de producción; las paradas de planta pueden tener un impacto significativo en la producción y las operaciones de una empresa. Por lo tanto, es importante planificar y ejecutar las paradas de planta de manera eficiente y efectiva.

Las paradas de planta se pueden clasificar en dos tipos principales:

- Paradas planificadas: Son aquellas que se realizan de manera programada, con anticipación. Las paradas planificadas suelen ser necesarias para realizar mantenimiento o reparaciones de equipos, o para realizar cambios en el proceso de producción.
- Paradas no planificadas: Son aquellas que se realizan de manera inesperada, como resultado de una falla o una emergencia. Las paradas no planificadas pueden tener un impacto significativo en la producción y las operaciones de una empresa.

### **2.2.6. Overhoul**

Según (Montilla, 2019) es un proceso de reparación y mantenimiento completo de un motor de combustión interna. El objetivo de un *Overhoul* es restaurar el motor a su condición original o incluso mejorarla.

El proceso de un *Overhoul* suele incluir las siguientes etapas:

- Desmontaje del motor: El motor se desmonta por completo, pieza por pieza.
- Inspección de las piezas: Cada pieza se inspecciona cuidadosamente para detectar daños o desgaste.
- Reparación o reemplazo de las piezas: Las piezas dañadas o desgastadas se reparan o reemplazan según sea necesario.
- Montaje del motor: El motor se monta nuevamente, pieza por pieza.
- Pruebas del motor: El motor se prueba para garantizar su funcionamiento adecuado.

### **2.2.7. Flujo productivo de la compañía minera**

#### **2.2.7.1. Perforación y voladura**

Mediante la utilización de equipos de perforación se extraen muestras de roca que son posteriormente examinadas en laboratorio para determinar la presencia de minerales. Una

vez confirmada la existencia de yacimientos minerales, se procede con las operaciones de minado y voladura para fragmentar la roca. Seguidamente, se lleva a cabo la carga del material y se procede con la programación de las siguientes etapas del proceso minero (Gálvez, 2003).

#### **2.2.7.2. Carguío y acarreo**

Según el (Minero, 2023) El proceso de carguío es responsable de trasladar con ayuda de los camiones mineros las rocas fragmentadas hacia la chancadora primaria, sin embargo, pueden ser transportados también a zonas de stock de acuerdo con la planificación y los niveles en los que se encuentran el stock pile.

#### **Figura 2**

*Camión minero.*



Nota: (Minero, 2023)

#### **2.2.7.3. Chancado**

(Gálvez, 2003) El proceso principal es el chancado o trituración de minerales, constituye la tercera etapa del proceso productivo de Antamina luego del proceso de voladura en el tajo abierto y transporte del mineral hacia la chancadora primaria con apoyo de los camiones mineros. El proceso minero incluye una etapa de conminución, en la que se disminuye el tamaño de los grandes bloques de roca a dimensiones que no superan el tamaño de un casco de

seguridad, asegurando una granulometría adecuada para las fases subsiguientes del tratamiento del mineral.

### **2.2.8. Tipos de chancadoras**

En la chancadora primarias los tipos más utilizados son:

- Chancador de Mandíbula.
- Chancador Giratorio.

#### **2.2.8.1. Chancadora de mandíbula**

La chancadora de mandíbula, también conocida como trituradora de mandíbula o quijada, es una máquina utilizada en la minería y construcción para romper rocas y otros materiales duros en piezas más pequeñas. Funciona mediante la compresión del material entre una mandíbula fija y una móvil que se aproxima y aleja de la fija en un movimiento oscilatorio. La granularidad de salida se puede ajustar modificando la distancia entre las dos mandíbulas en la cámara de trituración. Este equipo es esencial para reducir el tamaño de los minerales antes de su procesamiento, producir agregados para la industria de la construcción y triturar materiales reciclables para su reutilización. Las chancadoras de mandíbula son apreciadas por su simplicidad de diseño, durabilidad y eficiencia en la reducción de tamaño de materiales (Gálvez, 2003).

#### **2.2.8.2. Chancadora giratoria:**

La chancadora giratoria primaria es el equipo que inicia el proceso de reducción de mineral. Está conformada por un eje principal el cual constituye la parte fundamental de la chancadora que se apoya en la parte superior en una bocina de araña soportada por el Spider(araña) y en la parte inferior esta soportada por la excéntrica y el eje axial del sistema hydroset (Gálvez, 2003).

La reducción en el tamaño del mineral en la chancadora giratoria se produce cuando la carga que ingresa a la cámara de chancado es atrapada por el giro excéntrico que realiza el

manto cónico y las paredes de la cámara. En este proceso la reducción del mineral es debido principalmente a las fuerzas de compresión y fricción.

**Figura 3**  
*Chancadora giratoria primaria.*

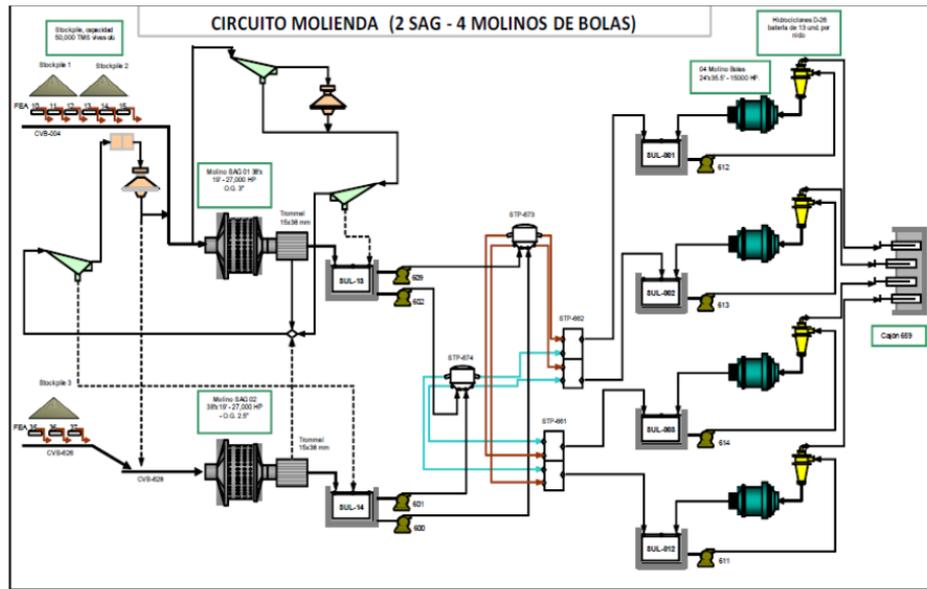


Nota: (Gálvez, 2003)

### **2.2.9. Molienda**

En la planta concentradora, el mineral es recibido y sometido a un proceso de molienda juntamente con agua, formando una pulpa. Este procedimiento tiene como finalidad la reducción adicional del tamaño del mineral para prepararlo para las siguientes etapas de concentración y refinación. (Gálvez, 2003)

**Figura 4**  
Circuito de Molienda



Nota: (Gálvez, 2003)

### 2.2.9.1. Stockpiles

El acopio de minerales en pilas (*stock piles*) brinda una forma de almacenar grandes cantidades minerales triturados provenientes de la chancadora primaria. En estos almacenes se acopian de forma estratégica los minerales de acuerdo con la granulometría con ayuda de las fajas transportadoras elevadas llamadas *trippers* y generan una forma una pila de forma cónica (Markets, 2018).

El objetivo principal de los stocks piles es mantener un flujo continuo de alimentación al área de molienda.

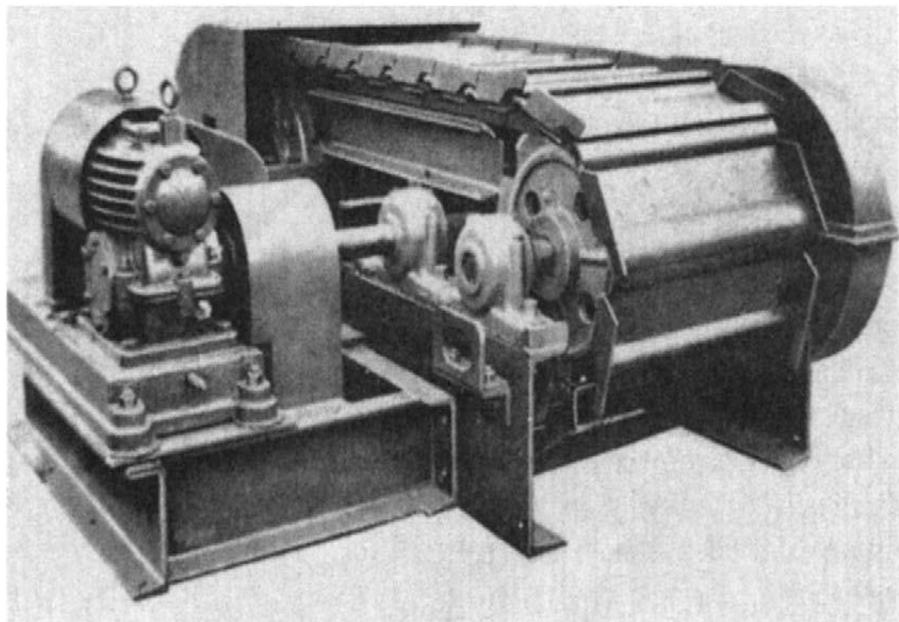
### 2.2.9.2. Apron Feeder

Según (Rondón, 2021) en su libro señala que el *Apron feeder* es uno de los equipos más utilizados en las unidades mineras para la manipulación de minerales de trituración gruesa y tiene bandejas de acero de alto contenido al carbono o manganeso las cuales se encuentran atornilladas a cadenas de alta resistencia que se desplazan sobre ruedas dentadas de acero.

El *Apron feeder* (alimentador de placas) es un equipo robusto, utilizado para transporte de material voluminoso y pesado. Estos equipos permiten soportar y manejar mineral de gran tamaño y así como el material arcilloso (Canpos, 2000).

Su ubicación en el flujo de trabajo gracias a su diseño resistente es la recepción del material de triturado grueso de la chancadora primaria y debajo del stock pile para alimentar una faja transportadora. (Gálvez, 2003)

**Figura 5**  
*Apron feeder*



Notal: (Gálvez, 2003)

### **2.2.9.3. Faja transportadora**

Las cintas o fajas transportadoras desempeñan un papel fundamental en la movilización de materiales granulados y productos a granel en el ámbito agrícola e industrial, facilitando el manejo de bienes como cereales, carbón y minerales. Además, estas instalaciones no solo se limitan al transporte de mercancías, sino que también pueden adaptarse para el traslado de personas, especialmente en entornos cerrados y extensos como hospitales de gran tamaño y complejos sanitarios (Castillo , Prieto, & Zambrano, 2013).

#### **2.2.9.4. Molino SAG**

Un molino SAG (siglas de *Semi-Autogenous Grinding mill*) es un tipo de molino de bolas que se utiliza para reducir el tamaño de las rocas y minerales. Los molinos SAG se caracterizan por su gran tamaño y su alta capacidad de procesamiento. (Gálvez, 2003)

**Figura 6**  
*Molino SAG*



Nota: (Gálvez, 2003)

#### **2.2.9.5. Molino de bolas**

(Gálvez, 2003) El molino de bolas recibe su nombre debido a que contiene bolas de acero en su interior que permiten el proceso de conminución, precisa que generalmente se encuentran dentro de un circuito cerrado juntamente con los hidrociclones, sin embargo, es posible su operación en circuitos abiertos. Así mismo señala que el volumen de la alimentación es variable y dependerá mucho del tamaño y dureza del material; sostiene también que el proceso de conminución es efectuado por el contacto del material y las bolas de acero a través de 2 efectos principales, el efecto

cascado y el efecto catarata produciéndose golpes y fricción entre ellos.

**Figura 7**  
Manual de Molienda y Clasificación

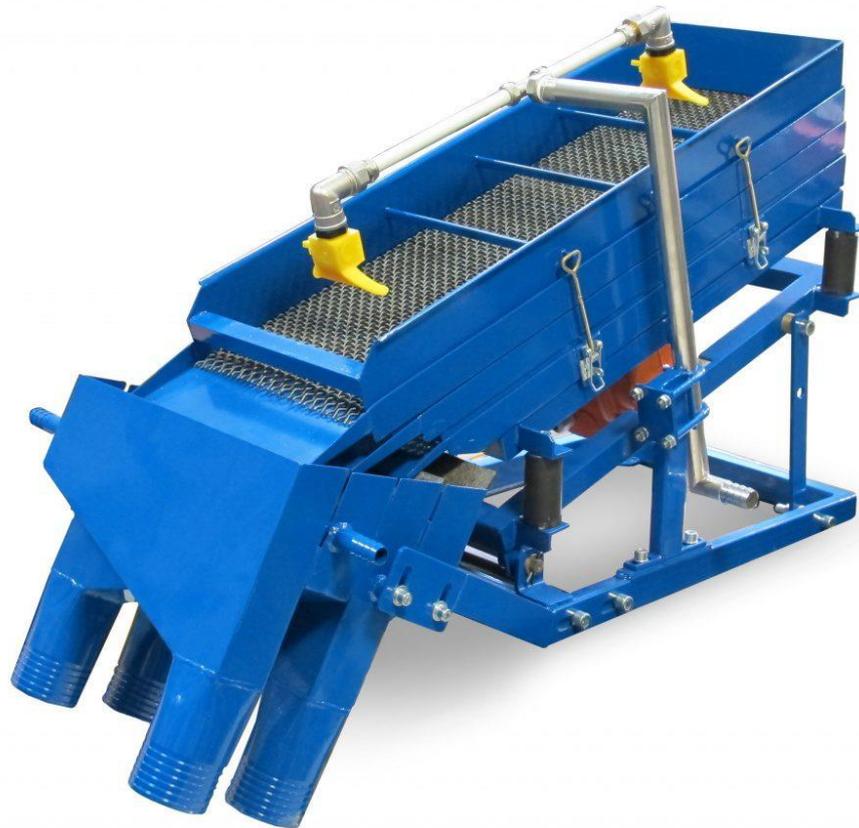


Nota: (Gálvez, 2003)

#### **2.2.9.6. Zaranda vibratoria**

Una zaranda vibratoria es un equipo que se utiliza para clasificar materiales sólidos por tamaño. El equipo consta de una plataforma vibratoria, una pantalla o tamiz y un sistema de alimentación y descarga. El material para clasificar se introduce en la plataforma vibratoria, donde el movimiento vibratorio hace que el material se mueva a través de la pantalla. El material de menor tamaño pasa a través de la pantalla y se descarga, por un lado, mientras que el material de mayor tamaño se descarga por el otro lado. (Montilla, 2019)

**Figura 8 .**  
*Zaranda vibratoria*



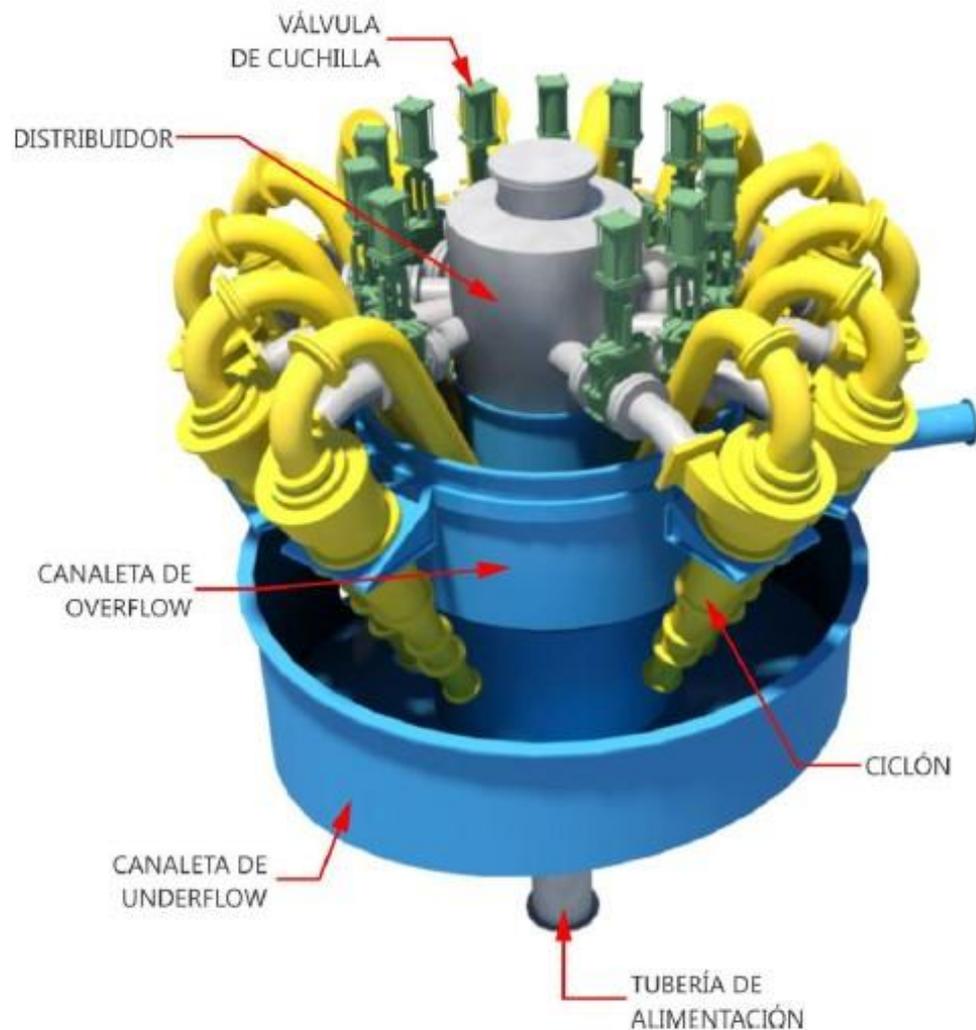
Nota: (Gálvez, 2003)

#### **2.2.9.7. Nido de ciclones**

(Markets, 2018) conceptualiza el hidrociclón como una maquina estática que permite la clasificación de los sólidos de la pulpa de un mineral molido de acuerdo con su tamaño utilizando fluidos (agua). Señala también que se generan dos flujos, el flujo inferior arrastra el mineral grueso hacia el vértice inferior (ápex) y el flujo superior el mineral de granulometría fina es arrastrado por el por vórtex.

El nido de ciclones es un equipo mecánico compuesto por varios ciclones, se encuentra ubicado dentro del proceso productivo en el área de molienda, su función es separar o clasificar las partículas finas de las más gruesas del mineral triturado o pulpa.

**Figura 9**  
*Nido de ciclones*



Nota: (Gálvez, 2003)

#### **2.2.9.8. Bomba Warman**

Una bomba Warman es una bomba centrífuga de alta resistencia que está diseñada para manejar lodos abrasivos y densos. Las bombas Warman se utilizan en una amplia gama de aplicaciones, incluyendo la minería, la construcción, la energía y la industria química; las bombas Warman se caracterizan por su diseño robusto y su alta capacidad de procesamiento. Las bombas Warman también son conocidas

por su fiabilidad y su bajo costo de mantenimiento. (Enrique, 2000)

**Figura 10**  
*Bomba Warman*



Nota: (Gálvez, 2003)

#### **2.2.10. Flotación**

La pulpa obtenida del proceso de molienda es conducida hacia las celdas de flotación, un componente esencial en la planta concentradora. En estas celdas, mediante la adición de reactivos químicos y la inyección de aire, se facilita la separación de los minerales valiosos —como el cobre, zinc, plata, plomo y molibdeno— de la ganga o material no deseado. Este proceso aprovecha las propiedades fisicoquímicas de los minerales para recuperar y concentrar los metales de interés. (Montilla, 2019)

**Figura 11**  
*Celda de flotación*



Fuente: (Gálvez, 2003)

#### **2.2.11. Transporte al mineroducto**

La infraestructura descrita hace uso de tecnología avanzada y se beneficia de un sistema automatizado de monitoreo basado en fibra óptica, lo cual se emplea para el transporte eficiente y seguro de los concentrados de cobre y zinc. Este tipo de sistema garantiza un seguimiento constante y en tiempo real de las condiciones de traslado, asegurando la integridad del material y la eficacia logística del proceso. (Montilla, 2019)

#### **2.2.12. Filtrado**

El producto transportado por el mineroducto mantiene un porcentaje de sólidos del 65%. Tras someterse a un proceso de filtrado, la humedad del material se reduce a un 9.5%, asegurando así un resultado de alta calidad que cumple con las especificaciones requeridas para la siguiente fase de procesamiento o para la venta y distribución del concentrado. (Tavares L. , 2000)

#### **2.2.13. (TPM)**

Según Nakajima, S. (1988) conceptualiza el (TPM) como una estrategia integral de mantenimiento que apunta a incrementar la

eficiencia productiva y la calidad del producto a través de la prevención anticipada de fallos, y la eliminación de ineficiencias y desperdicios en los procesos productivos. Esta filosofía aboga por un enfoque colaborativo que involucra a todos los niveles de la organización, desde la dirección hasta el personal de planta, y pone énfasis en el mantenimiento de equipos para prevenir fallas, detenciones no programadas y defectos en la producción.

El TPM está estructurado sobre varios pilares fundamentales que, en su conjunto, tienen como objetivo la mejora continua de la eficiencia de los procesos de producción y mantenimiento. Suzuki, T. (1994) identifica estos pilares esenciales en la implementación del TPM, los cuales son clave para su correcta aplicación y éxito. Estos pilares representan las áreas focales de atención y acción dentro de la metodología del TPM y forman la base sobre la cual se construyen las prácticas y procesos de mantenimiento productivo.

**Figura 12**  
*Pilares del mantenimiento TPM*



### **2.2.13.1. Mantenimiento Autónomo**

El primer pilar del (TPM), el "Mantenimiento Autónomo", es fundamental ya que busca involucrar directamente a los operarios de las máquinas en las tareas diarias de mantenimiento. El objetivo es que los operarios desarrollen una comprensión más profunda de sus

máquinas, sean capaces de identificar y prevenir problemas antes de que ocurran y realicen pequeñas reparaciones y ajustes por sí mismos. Aquí hay más detalles sobre este pilar (Shirose, K., 1996).

Objetivos del Mantenimiento Autónomo:

- Fomentar la responsabilidad y la propiedad de las máquinas por parte de los operarios.
- Mejorar la comprensión de las máquinas y los procesos por parte del personal operativo.
- Capacitar a los operarios para que realicen inspecciones y servicios básicos, como la lubricación, la limpieza y el ajuste.
- Detectar anomalías en el equipo temprano y prevenir fallas antes de que ocurran.
- Incrementar la colaboración entre los departamentos de mantenimiento y producción.

Fases del Mantenimiento Autónomo:

- Inicialización: Se introduce el concepto de TPM a los operarios y se les capacita en las actividades básicas de mantenimiento y en la importancia de mantener su equipo.
- Eliminación de fuentes de suciedad y lugares de difícil acceso: Se modifican las máquinas si es necesario para hacerlas más fáciles de limpiar y mantener.
- Elaboración de estándares de limpieza y lubricación: Los operarios desarrollan y comienzan a seguir estándares para la limpieza, inspección y lubricación de las máquinas.
- Inspección general: Los operarios aprenden a inspeccionar sus equipos y a identificar problemas comunes.
- Inspección autónoma: Se lleva a cabo una formación más especializada para permitir que los operarios realicen inspecciones más detalladas.
- Organización y orden: Se establecen y mantienen las normas de limpieza y organización en el área de trabajo.

- Mantenimiento autónomo completo: Los operarios asumen la responsabilidad completa de las rutinas de mantenimiento de sus equipos.

Beneficios del Mantenimiento Autónomo:

- Mejora de la fiabilidad y disponibilidad de las máquinas.
- Reducción de los defectos de calidad y de las paradas de máquina.
- Incremento de la moral y el compromiso de los empleados.
- Mejora de las habilidades y conocimientos de los operarios.

### **2.2.13.2. Mantenimiento Planificado**

El pilar de "Mantenimiento Planificado" dentro del contexto del (TPM) es fundamental para asegurar la confiabilidad y eficiencia de los equipos en la producción. Wireman, T. (1990), al abordar los aspectos cruciales del Mantenimiento Planificado, destaca que esta práctica consiste en desarrollar un programa de mantenimiento proactivo, con procedimientos bien definidos que buscan prevenir las fallas antes de que estas ocurran. Este enfoque se traduce en una serie de acciones y estrategias clave:

- Minimizar las paradas no programadas y los tiempos muertos de las máquinas.
- Aumentar la fiabilidad y disponibilidad de los equipos.
- Optimizar la frecuencia del mantenimiento para evitar el exceso o la insuficiencia de intervenciones.
- Establecer procedimientos y programaciones para intervenciones de mantenimiento regulares y predecibles.

Fases del Mantenimiento Planificado:

- Evaluación del Equipo Actual: Se realiza un diagnóstico completo del estado actual de los equipos para entender su historial de fallas y rendimiento.

- Restauración del Equipo a su Estado Ideal: Se llevan a cabo reparaciones necesarias para devolver el equipo a su condición óptima de funcionamiento.
- Desarrollo del Plan de Mantenimiento: Se crean programaciones y procedimientos de mantenimiento basados en la condición actual del equipo, su frecuencia de uso y su importancia en el proceso de producción.
- Capacitación del Personal: El personal de mantenimiento y producción se capacita en los procedimientos y técnicas adecuadas de mantenimiento.
- Implementación y Optimización del Plan de Mantenimiento: Se lleva a cabo el plan de mantenimiento y se realiza un seguimiento continuo para ajustar y mejorar las intervenciones basadas en la retroalimentación y los datos de rendimiento del equipo.

Beneficios del Mantenimiento Planificado:

- Reducción de costos de mantenimiento al evitar reparaciones de emergencia y al optimizar los recursos.
- Mejora en la calidad de los productos al mantener los equipos en óptimas condiciones.
- Extensión de la vida útil de los equipos.
- Creación de un entorno de trabajo más seguro al reducir la posibilidad de fallas inesperadas de los equipos.

### **2.2.13.3. Mejora Específica**

Según Imai, M. (1986). El pilar de "Mejora Específica", también conocido como "Mejora Focalizada" o "Kaizen", dentro del (TPM), se centra en la identificación y eliminación sistemática de las pérdidas graves que afectan a la eficiencia de la producción. Se dirige a problemas específicos y busca soluciones concretas que resulten en mejoras medibles. A continuación, se detallan los aspectos clave de la Mejora Específica:

### Objetivos de la Mejora Específica:

- Identificar y priorizar las áreas con mayores pérdidas o potencial de mejora.
- Eliminar las ineficiencias y aumentar la productividad de los equipos.
- Reducir o eliminar los seis grandes tipos de pérdidas en los equipos: averías, tiempos de configuración y ajustes, pequeñas paradas, velocidad reducida, defectos de inicio y defectos en el proceso.
- Fomentar la innovación y la mejora continua a través de la participación de todos los empleados.

### Fases de la Mejora Específica:

- Selección del Área de Enfoque: Se elige un área o equipo específico con alto potencial de mejora basado en su impacto en los procesos de producción.
- Análisis de las Pérdidas: Se analizan las causas de las pérdidas utilizando herramientas como el análisis de Pareto, el diagrama de Ishikawa (causa-efecto) y el 5 ¿Por qué?
- Planificación de la Mejora: Se desarrolla un plan de acción detallado para abordar las causas raíz identificadas.
- Implementación: Se llevan a cabo las acciones de mejora, que pueden incluir modificaciones en el equipo, cambios en los procesos o la formación del personal.
- Evaluación y Estabilización: Se evalúan los resultados de las mejoras implementadas para asegurar que son sostenibles y se estabilizan las mejoras a través de la estandarización.
- Consolidación de la Mejora: Se comparten los aprendizajes y resultados con el resto de la

organización y se promueve la replicación de las mejoras en otras áreas.

Beneficios de la Mejora Específica:

- Incremento de la eficiencia y la productividad al reducir las pérdidas.
- Mejora en la calidad del producto y consistencia en los procesos de producción.
- Mayor compromiso de los empleados al involucrarlos en procesos de resolución de problemas.
- Desarrollo de una cultura de mejora continua dentro de la organización.

#### **2.2.13.4. Educación y entrenamiento**

Según Leflar, J. A. (2001) El pilar de "Educación y Entrenamiento" en el (TPM) tiene una importancia crítica, ya que apunta a desarrollar las competencias de todos los miembros de la organización para realizar su trabajo de manera efectiva y eficiente. Este pilar asegura que todos los empleados tengan las habilidades necesarias para operar y mantener el equipo adecuadamente y para identificar oportunidades de mejora en los procesos de producción.

Objetivos de Educación y Entrenamiento:

- Proporcionar a los empleados el conocimiento y las habilidades necesarias para llevar a cabo sus tareas de manera competente.
- Asegurar que el personal de mantenimiento esté plenamente capacitado en técnicas avanzadas de mantenimiento preventivo y predictivo.
- Fomentar una cultura de aprendizaje continuo y mejora de habilidades.
- Establecer una base de conocimiento común entre los trabajadores, técnicos y gerentes.

Componentes de Educación y Entrenamiento:

- Evaluación de Habilidades: Determinar las habilidades actuales de los empleados y las brechas de competencia que necesitan ser abordadas.
- Desarrollo del Plan de Entrenamiento: Crear un plan de entrenamiento estructurado que cubra tanto las habilidades técnicas (hard skills) como las habilidades interpersonales y de gestión (soft skills).
- Implementación de Programas de Entrenamiento: Llevar a cabo programas de entrenamiento internos y externos para mejorar las habilidades operativas, de mantenimiento y de gestión.
- Aplicación Práctica y Coaching: Fomentar la aplicación práctica de las habilidades aprendidas y proveer coaching para mejorar la ejecución de las tareas.
- Evaluación y Seguimiento del Entrenamiento: Monitorear la efectividad del entrenamiento y evaluar el rendimiento de los empleados tras las sesiones de capacitación.
- Mejora Continua del Programa de Entrenamiento: Actualizar y mejorar continuamente los programas de entrenamiento basados en las necesidades cambiantes de la organización y los resultados de la evaluación.

#### Beneficios de Educación y Entrenamiento:

- Mejora en la operación y el mantenimiento de los equipos.
- Aumento de la productividad y la eficiencia.
- Desarrollo de un ambiente de trabajo más seguro.
- Mayor motivación y satisfacción en el trabajo al proporcionar oportunidades de crecimiento y desarrollo a los empleados.

#### **2.2.13.5. Mantenimiento de calidad**

Según Liker, J. K. (2004) el pilar de "Mantenimiento de Calidad" en el (TPM) se enfoca en la integración de las prácticas de

mantenimiento con la gestión de calidad para garantizar que los equipos sean capaces de producir bienes y servicios que cumplan con los estándares de calidad requeridos. Este pilar busca eliminar defectos y errores en el proceso de producción, asegurando así una calidad consistente y alta en los productos finales.

Objetivos del Mantenimiento de Calidad:

- He de asegurar que los equipos estén en condiciones óptimas para producir productos de calidad desde el inicio.
- Establecer sistemas de detección de defectos y corrección temprana durante el proceso de producción.
- Involucrar a los operarios en la comprensión de las especificaciones de calidad y en la identificación de causas de defectos.
- Implementar acciones correctivas y preventivas para eliminar las causas raíz de los problemas de calidad.

Componentes del Mantenimiento de Calidad:

- Control de Calidad Estadístico (SPC): Utilización de técnicas estadísticas para monitorear y controlar los procesos de producción.
- Poka-Yoke (A prueba de errores): Implementación de dispositivos o técnicas para prevenir errores humanos o asegurar que los defectos sean inmediatamente evidentes para el operario.
- Mantenimiento de Precisión: Realización de mantenimiento preciso en los equipos para garantizar que operen dentro de las tolerancias requeridas.
- Análisis de Modo y Efecto de Falla (FMEA): Evaluación sistemática de potenciales fallas en el proceso de producción y sus efectos para prevenir la ocurrencia de defectos.
- Auditorías de Calidad: Inspecciones regulares y auditorías para verificar la conformidad con los

estándares de calidad y para identificar áreas de mejora.

Beneficios del Mantenimiento de Calidad:

- Reducción de la variabilidad en los procesos de producción, lo que lleva a una mejora en la consistencia de la calidad.
- Disminución de las tasas de defectos y rechazos, lo que resulta en un menor costo de calidad.
- Incremento de la confianza del cliente y mejora de la imagen de marca debido a la alta calidad del producto.

Alineación con estándares internacionales de calidad como ISO 9001.

#### **2.2.13.6. TPM en oficinas**

Según Harrington et al. (2000) El pilar de "TPM en Oficinas" extiende la filosofía y las prácticas del (TPM) más allá del entorno de producción y las aplica en las actividades administrativas y de oficina. El objetivo es mejorar la eficiencia y la productividad en todos los procesos administrativos, que a menudo son el soporte de las actividades de manufactura.

Objetivos del TPM en Oficinas:

- Eliminar el desperdicio y las ineficiencias en los procesos de oficina.
- Reducir el tiempo de ciclo y los errores en los procesos administrativos.
- Mejorar la comunicación y la fluidez de la información entre las áreas de producción y las funciones administrativas.
- Aumentar la satisfacción del cliente interno y externo al agilizar las operaciones de oficina.

Componentes del TPM en Oficinas:

- Organización del Lugar de Trabajo (5S): para mejorar el entorno de trabajo en las oficinas.

- Eliminación de Procesos Innecesarios: Revisión y racionalización de procesos para eliminar pasos que no agregan valor.
- Automatización de Procesos: Uso de tecnología para automatizar tareas repetitivas y propensas a errores.
- Mantenimiento Preventivo de Equipos de Oficina: Implementación de un programa de mantenimiento para equipos de oficina como computadoras, impresoras y fotocopadoras.
- Gestión Visual: Uso de herramientas visuales para mejorar la comunicación y el seguimiento de procesos y tareas.
- Capacitación y Desarrollo de Habilidades: Formación continua del personal de oficina en nuevas herramientas, software y métodos de trabajo eficientes.

Beneficios del TPM en Oficinas:

- Mejora en la eficiencia operativa y reducción de costos por errores y retrasos.
- Aumento de la capacidad de respuesta y agilidad en los procesos administrativos.
- Mayor transparencia y trazabilidad de los flujos de trabajo.
- Creación de un entorno de trabajo más agradable y productivo.

#### **2.2.13.7. Seguridad, salud y medio ambiente**

Según Brauer (2016) El pilar de "Seguridad, Salud y Medio Ambiente" dentro del (TPM) se centra en la creación de un entorno de trabajo seguro y saludable, y en la promoción de prácticas que respeten y protejan el medio ambiente. La seguridad, la salud ocupacional y la sostenibilidad ambiental son consideradas fundamentales para el éxito operacional y la responsabilidad corporativa.

Objetivos del Seguridad, Salud y Medio Ambiente:

- Lograr un entorno de trabajo libre de accidentes y enfermedades ocupacionales.
- Minimizar el impacto ambiental de las operaciones a través de prácticas sostenibles.
- Cumplir con la legislación vigente en materia de seguridad, salud y medio ambiente.
- Promover una cultura de prevención y mejora continua en estas áreas.

#### Componentes del Seguridad, Salud y Medio Ambiente:

- Evaluación de Riesgos: Identificación y análisis sistemático de riesgos potenciales para la seguridad y la salud en el lugar de trabajo.
- Estándares de Seguridad: Desarrollo y aplicación de estándares y procedimientos de seguridad para prevenir accidentes y lesiones.
- Formación en Seguridad y Salud: Capacitación regular del personal en prácticas de trabajo seguras y promoción de la salud.
- Sistema de Sugerencias: Establecimiento de un sistema que permita a los empleados contribuir con ideas para mejorar la seguridad y el desempeño ambiental.
- Auditorías y Mejora Continua: Realización de auditorías regulares para verificar el cumplimiento y para identificar oportunidades de mejora.

#### Beneficios del Seguridad, Salud y Medio Ambiente:

- Reducción de los incidentes y accidentes, lo que se traduce en un mejor bienestar de los empleados y menores costos por tiempo perdido.
- Mejora de la imagen corporativa y cumplimiento de responsabilidades corporativas.
- Potencial reducción en los costos de seguros y compensaciones por accidentes laborales.

- Mayor eficiencia operativa a través de la reducción del desperdicio y el uso optimizado de recursos.

#### **2.2.13.8. TPM en toda la Empresa**

Según Willmott y McCarthy, (2001) El pilar de "TPM en toda la Empresa", también conocido como "TPM Corporativo", es un enfoque que busca ampliar las prácticas y principios del Mantenimiento Productivo Total más allá del piso de producción, involucrando a todas las áreas de la organización. La idea es promover una cultura de mejora continua y mantenimiento preventivo en todos los departamentos y niveles, desde la administración hasta la cadena de suministro y ventas.

Objetivos del TPM en toda la Empresa:

- Integrar las actividades de TPM en todos los departamentos y funciones de la empresa.
- Fomentar la colaboración entre producción, mantenimiento, administración, ventas, marketing, finanzas y otros departamentos para mejorar la eficiencia general.
- Promover la adopción de una cultura de mantenimiento preventivo y mejora continua en toda la organización.
- Extender los principios de TPM a los proveedores y socios para mejorar la calidad y eficiencia en toda la cadena de valor.

Componentes del TPM en toda la Empresa:

- Compromiso de la Dirección: Asegurar que la alta dirección esté comprometida con la implementación de TPM en toda la organización.
- Estandarización de Procesos: Desarrollar estándares operativos en todos los departamentos que sean consistentes con los principios de TPM.
- Comunicación y Formación: Establecer programas de comunicación y formación que permitan a todos los empleados comprender y participar en TPM.

- Gestión del Cambio: Implementar prácticas de gestión del cambio para facilitar la transición hacia una cultura de TPM en toda la empresa.
- Auditorías de TPM: Realizar auditorías periódicas de TPM para evaluar la implementación y el progreso en los distintos departamentos.
- Indicadores de Rendimiento: Utilizar indicadores de rendimiento clave (KPI) para medir la efectividad de TPM en toda la empresa y para identificar áreas de mejora.

#### Beneficios del TPM en toda la Empresa:

- Mejora en la eficiencia y productividad a través de todas las áreas de la empresa.
- Reducción de costos globales y mejoras en la rentabilidad.
- Mejora de la calidad del producto y del servicio al cliente.
- Incremento de la moral y del compromiso de los empleados al involucrarlos en procesos de mejora.

### 2.3. Definición de términos básicos

**Clientes:** Se refiere a la entidad, ya sea una persona o una organización, que solicita un producto o servicio y cuyas necesidades son la principal orientación para el desarrollo y entrega del proyecto.

**Costo Beneficio (C/B):** Es un análisis que se realiza para determinar la relación entre los costos y los beneficios de una inversión o proyecto. Se utiliza para evaluar la rentabilidad de una inversión y para tomar decisiones de inversión.

**End to end:** El término "de extremo a extremo" (E2E) se utiliza para describir un proceso o sistema que abarca todo el alcance de una actividad, desde el principio hasta el final. Enfatiza el enfoque holístico de considerar todos los aspectos de un proceso, desde el insumo inicial hasta el resultado final. E2E se utiliza a menudo en el contexto del desarrollo de software, procesos comerciales y gestión de la cadena de suministro.

**Entregable:** Consiste en la definición detallada y cuantificable de los productos, ya sean intermedios o finales, que un proyecto debe producir. Los entregables son tangibles, medibles y deben cumplir con criterios específicos de aceptación para satisfacer los requerimientos del proyecto.

**Fill rate:** La tasa de cumplimiento, también conocida como tasa de cumplimiento de pedidos, es una métrica clave en la logística y la gestión de la cadena de suministro que mide el porcentaje de pedidos de los clientes que se cumplen completamente y a tiempo. Es un indicador crucial de la capacidad de una empresa para satisfacer la demanda de los clientes y entregar productos de manera eficiente. La tasa de cumplimiento se calcula dividiendo la cantidad de pedidos enviados completos y a tiempo por la cantidad total de pedidos recibidos.

**Gestión de Proyecto:** Es la disciplina que implica dirigir y coordinar recursos humanos y materiales a lo largo de la vida de un proyecto mediante el uso de herramientas y técnicas de gestión modernas para alcanzar los objetivos predeterminados de alcance, coste, tiempo, calidad y satisfacción de los interesados.

**Interesados:** Hacen referencia a todas aquellas personas, grupos o entidades que tienen algún grado de interés en el proyecto, pudiendo ser

afectados por su ejecución o resultados, ya sea de forma positiva o negativa. Esto incluye clientes, patrocinadores, la organización ejecutora, el equipo de proyecto y el público en general.

**KPIs:** Los KPI, siglas de *Key Performance Indicators* (Indicadores Clave de Rendimiento), son métricas que se utilizan para medir el progreso de una organización hacia sus objetivos. Los KPI se utilizan para rastrear el rendimiento de una organización, identificar áreas de mejora y tomar decisiones informadas.

**Lecciones Aprendidas:** Representan conocimientos obtenidos durante el proyecto que se documentan y se comparten dentro de la organización. Estas lecciones son valiosas para mejorar la gestión de proyectos futuros.

**Línea Base:** Es un punto de referencia fijado en el plan de proyecto. Puede ser utilizada para medir el rendimiento actual del proyecto en comparación con lo que se había planificado. Las líneas base más comunes incluyen la línea base de alcance, cronograma y costos, y son herramientas clave para el control y monitoreo del proyecto.

**Metodología:** Se refiere al conjunto de métodos y principios que rigen la planificación y ejecución de la gestión de un proyecto. La metodología proporciona un marco de trabajo que ayuda a los administradores a organizar sus esfuerzos de manera sistemática y coherente.

**Producto:** Se refiere al resultado final que se obtiene tras la conclusión de un conjunto de actividades o procesos y que está destinado a satisfacer las necesidades o expectativas de un cliente o mercado específico.

**Proyecto:** Un proyecto es un emprendimiento temporal emprendido para crear un producto, servicio o resultado único. Se caracteriza por tener objetivos definidos, un inicio y un fin claros, recursos específicos asignados y un conjunto de operaciones diseñadas para alcanzar un conjunto de objetivos que no se podrían lograr a través de la operación normal de un sistema o proceso.

**Riesgo:** En el contexto de la gestión de proyectos, el riesgo se refiere a la probabilidad de que ocurra un evento o condición incierta que, de materializarse, tendría un efecto negativo en los objetivos del proyecto. La identificación y gestión de riesgos es una parte esencial de la gestión de proyectos.

**Stakeholders:** En el contexto de los negocios, un *stakeholder* es cualquier individuo, grupo o parte que tiene un interés en una empresa o en el éxito o fracaso de esa empresa. Los *stakeholders* pueden tener un impacto en la empresa y pueden verse afectados por las acciones de la empresa.

**Tasa Interna de retorno (TIR):** Es una medida del rendimiento de una inversión. Es la tasa de descuento que hace que el valor actual neto (VAN) de la inversión sea cero. Una TIR positiva indica que la inversión generará un rendimiento mayor que el costo de oportunidad, mientras que una TIR negativa indica que la inversión generará un rendimiento menor que el costo de oportunidad.

**Valor actual neto (VAN):** Es una medida del rendimiento de una inversión. Se calcula restando el valor actual de los flujos de efectivo futuros de la inversión del costo inicial de la inversión. Un VAN positivo indica que la inversión generará un rendimiento mayor que el costo de oportunidad, mientras que un VAN negativo indica que la inversión generará un rendimiento menor que el costo de oportunidad.

## **CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO PROFESIONAL**

### **3.1. Determinación y análisis del problema**

La empresa realiza operaciones en el sector de servicios de mantenimiento para grandes mineras a nivel Nacional, rubro con una demanda y competencia de alto nivel que requiere respuestas inmediatas, eficiente y efectivas a las necesidades y exigencias de las compañías mineras. La particularidad en la industria minera es la gran complejidad en sus operaciones, iniciando en el proceso de perforación y voladura hasta el proceso de filtrado, motivo por el cual implica múltiples actividades interrelacionadas a todo nivel, desde la planificación hasta el mantenimiento en sí de los equipos involucrados, consecuentemente se apoya de socios estratégicos que permiten la eficiente mantención y operación de la unidad minera.

Es crucial que la empresa mantenga la operatividad de los equipos mineros en óptimas condiciones, es así que se convierte en un engranaje importante dentro de las operaciones del cliente minero, en ese sentido se pone de manifiesto la necesidad de una correcta coordinación interdepartamental y un flujo de trabajo definido. Se ha identificado una falta de comunicación y efectiva interconexión entre las áreas involucradas, resaltándose aún más entre las áreas de proyectos, almacén y compras pudiendo resultar en demoras en la atención oportuna del proyecto, ineficientes coordinaciones de recursos y en definitiva insatisfacción por parte del cliente final.

Por otro lado, la procura de insumos y herramientas para ejecutar el mantenimiento en el área de molienda en un complejo minero es de vital importancia, debido a que permite la disponibilidad de los recursos necesarios para ejecutar las actividades de mantenimiento eficiente.

Uno de los principales problemas identificados está relacionado en la procura de insumos y herramientas, que dieron a lugar a demoras en la ejecución del mantenimiento, esto puede generar sobrecostos, tiempos muertos y una baja calidad del mantenimiento.

La presencia de incidentes de seguridad durante la parada de planta perjudica la continuidad en la operación.

### **3.1.1. Situación actual de los equipos**

#### **3.1.1.1. Diagnostico**

El diagnóstico sobre el estado actual de los equipos del contratista es el siguiente, al no haber información suficiente ni procesos estructurados y sistematizados de registro histórico y medición de performance de los equipos, no se puede tener una visibilidad clara del estado actual de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad de los activos.

- Estado: No se evidencia un seguimiento formal del estado de los equipos. Al no haber un plan óptimo de mantenimiento preventivo, posiblemente hay equipos operando en condiciones no óptimas o fuera de especificaciones.
- Confiabilidad: Sin historiales formales sistematizados de fallas por equipo, no se puede evaluar confiabilidad. El mantenimiento correctivo ante fallas intempestivas podría indicar baja confiabilidad en algunos activos.
- Disponibilidad: No hay registro de tiempos de parada por mantenimiento de equipos, por lo que no se puede calcular disponibilidad. La ausencia de planificación podría impactar negativamente en disponibilidad.
- Mantenibilidad: Al no haber procesos estandarizados, la eficiencia de las intervenciones podría mejorarse. No hay análisis de tiempos de reparación. La gestión de repuestos impacta directamente en la mantenibilidad.

Se requiere implementar un plan de mantenimiento preventivo, registros históricos sistematizados por equipo, medición de indicadores y análisis de fallas para poder evaluar integralmente el desempeño de los equipos.

#### **3.1.1.2. Árbol de problemas de los equipos**

De acuerdo con el diagnóstico realizado sobre el área de mantenimiento de la empresa contratista, la deficiente planificación, ejecución, logística y control del mantenimiento conlleva a efectos negativos en costos, producción y seguridad.

Problema Central: Gestión de mantenimiento inadecuada y poco eficiente.

Causas Principales:

Planificación y programación deficiente del mantenimiento:

Ausencia de un plan sistematizado de mantenimiento preventivo.

Actividades realizadas en su mayoría de forma correctiva.

No hay análisis de criticidad de equipos.

Ejecución no estandarizada:

Cada mecánico de mantenimiento trabaja diferente.

No se lleva historial de trabajo por equipo.

No hay procedimientos claros para las tareas.

Logística de materiales ineficiente:

No hay gestión de inventarios de repuestos.

Requerimientos de materiales no programados.

Limitado control y supervisión:

No hay evaluación de desempeño de los operarios de mantenimiento.

Poca supervisión de seguridad en campo.

No se miden indicadores clave de gestión.

Efectos:

Paradas inesperadas en equipos.

Aumento de costos de mantenimiento.

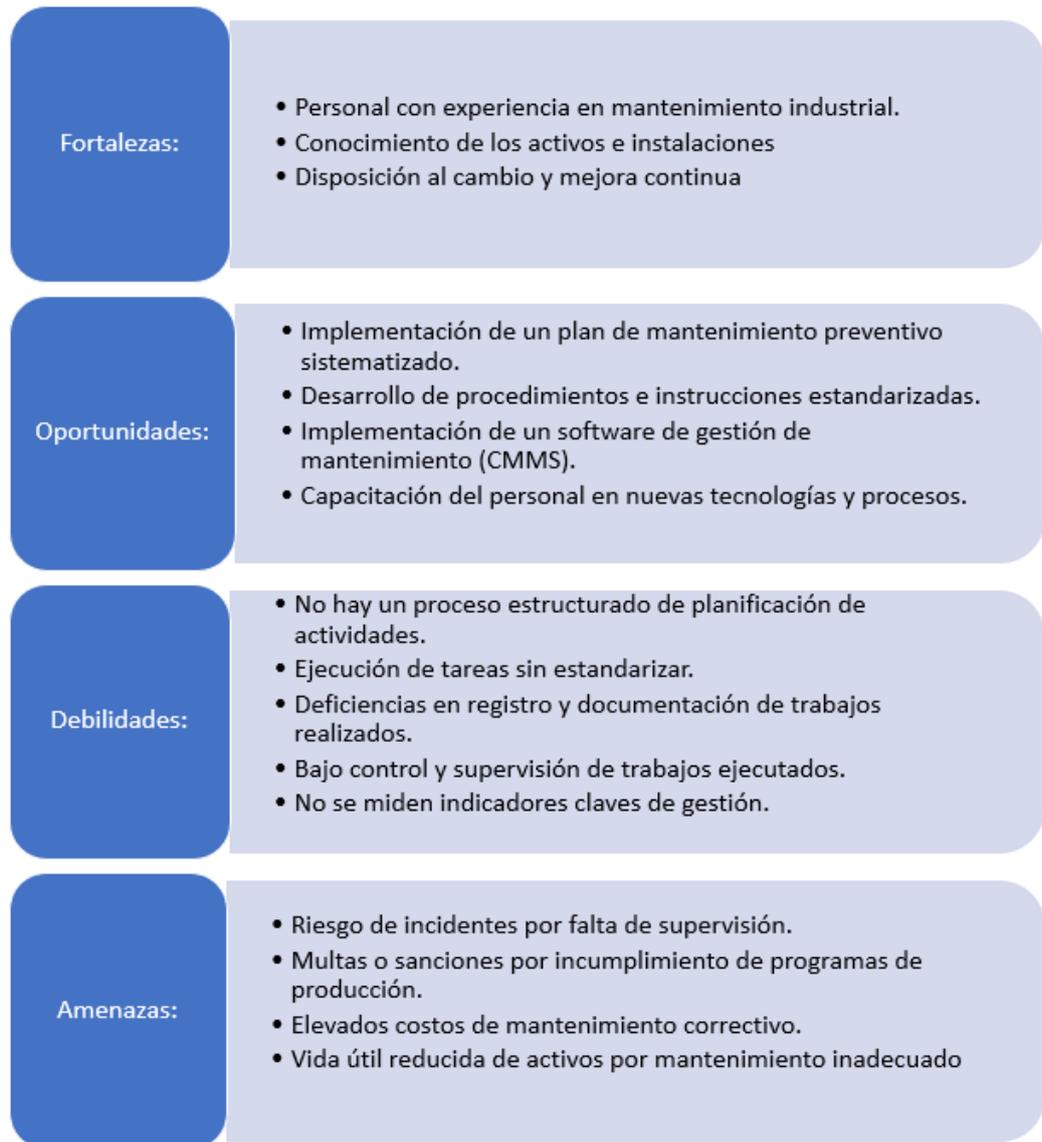
Incumplimiento en la atención al cliente minero debido a equipos inoperativos, resultando un mantenimiento de baja calidad.

Incremento de riesgo de incidentes.

### **3.1.1.3. Análisis FODA**

De acuerdo con el diagnóstico el área debe capitalizar las fortalezas enfocándose en las oportunidades de mejora a través de una planificación y ejecución estandarizada, apalancada en tecnología y capacitación, para controlar las debilidades y mitigar las amenazas potenciales, se puede realizar el siguiente análisis FODA:

**Figura 13**  
*Análisis FODA equipos*



### 3.1.2. Situación actual de los procesos

#### 3.1.2.1. *Diagnostico*

El diagnostico de los procesos actuales muestra una falta de estandarización de los procesos de mantenimiento en el contratista y una débil interacción con Operaciones. Esto no permite una gestión integral de activos enfocada en mejorar confiabilidad, disponibilidad y cumplimiento de los programas de atención al cliente. Se requiere mejorar la definición, documentación, integración y tecnificación de los procesos abajo listados:

Procesos de Mantenimiento:

- No existen procesos claramente definidos y documentados para las diferentes actividades de mantenimiento como inspecciones, servicio de mantenimiento a los equipos, reparaciones, etc.
- No se evidencia el uso de nuevas tecnologías disponibles para optimizar procesos de mantenimiento.
- No hay integración de sistemas de información con otras áreas que faciliten la gestión.

Procesos de Operaciones:

- No se menciona una interacción formal entre Operaciones y Mantenimiento para alinear actividades.
- Los procesos operativos podrían verse impactados por fallas en paradas no programadas de equipos.
- No se evidencia el uso de información de operación para mejorar la confiabilidad de los equipos.

Procesos de atención al cliente Producción:

- Los programas de atención al cliente para el mantenimiento en equipos de molienda producción podrían verse afectados por falta de disponibilidad de equipos críticos.
- No hay evidencia de que se analice el impacto de las actividades de mantenimiento en los equipos del contratista para el cumplimiento de la atención al cliente en el mantenimiento de los equipos mineros los programas de producción.

### **3.1.2.2. Árbol de problemas**

En base al diagnóstico de los procesos del área de mantenimiento, se puede elaborar el siguiente árbol de problemas:

Problema Central: Procesos de mantenimiento, operaciones y la atención al cliente producción desalineados e ineficientes

Causas Principales:

- Procesos de mantenimiento no estandarizados:

- No hay procesos claros para las actividades de mantenimiento del contratista.
  - No se utilizan nuevas tecnologías disponibles.
  - No existe integración con otros sistemas de información.
  - Débil interacción mantenimiento-operaciones:
    - No hay una planificación integrada de actividades.
    - No se utilizan datos operativos para mejorar confiabilidad.
    - Impacto de mantenimiento en producción no gestionado:
      - Paradas de equipos pueden afectar cumplimiento de programas de atención al cliente.
      - No se analiza el impacto de mantenimiento en operaciones.
- Efectos:
- Incumplimiento del cronograma de actividades brindadas por el cliente.
  - Mayores costos operativos por fallas.
  - Paradas no programadas de planta.
  - Retroalimentación deficiente para mejora de procesos.

### **3.1.2.3. Análisis FODA**

De acuerdo con el diagnóstico de los procesos del área de mantenimiento del contratista, el área debe aprovechar las fortalezas y oportunidades para estandarizar, integrar y tecnificar los procesos de mantenimiento, operaciones y atención del cliente, de modo de controlar las debilidades actuales y mitigar las amenazas potenciales, se realizó el siguiente análisis FODA:

**Figura 14**  
*Análisis FODA procesos*



### **3.1.3. Situación actual de la cultura organizacional**

#### **3.1.3.1. Diagnóstico**

En base a todos los documentos se realizó un diagnóstico de la situación actual de la Cultura organizacional, existen condiciones favorables en cuanto a disposición al cambio y experiencia técnica del personal que pueden facilitar la implementación de TPM. Sin embargo, es necesario trabajar en desarrollar una cultura más integrada, basada en la prevención, medición y comunicación efectiva entre las áreas. De acuerdo con la información provista en los documentos, el diagnóstico de la cultura organizacional actual respecto a la implementación de TPM es el siguiente:

Factores favorables:

- Algunos supervisores demuestran interés en la mejora continua y optimización de procesos. Esto facilitaría la implementación de TPM.
- No se percibe una fuerte resistencia al cambio por parte del personal. Hay disposición a adoptar nuevas metodologías.
- Existe experiencia y conocimiento técnico del personal en mantenimiento industrial. Esto es una base para desarrollar el TPM.

Factores desfavorables:

- No se observa un trabajo proactivo enfocado en la prevención y mejora continua. Predomina el enfoque reactivo y correctivo.
- Las áreas de Mantenimiento y Producción parecen trabajar de forma aislada. Esto dificulta la implementación del TPM.
- No hay evidencia del uso de indicadores y metas en mantenimiento. El TPM requiere de una cultura basada en medición.
- Aparentemente no existen canales fluidos de comunicación entre el personal de mantenimiento y producción.
- No se observa un programa de capacitación y entrenamiento técnico constante. El TPM requiere personal calificado.

#### **3.1.3.2. Árbol de problemas**

Hay condiciones favorables que deben ser apalancadas para lograr los cambios culturales necesarios para una efectiva implementación del TPM.

Problema Central:

Cultura organizacional inadecuada para implementar TPM

Causas Principales:

- Enfoque reactivo y correctivo predomina sobre prevención.
- Áreas de Mantenimiento y Producción trabajan de forma aislada.
- No hay medición de indicadores ni uso de metas.
- Comunicación deficiente entre áreas.
- Programa de capacitación técnica insuficiente.

Efectos:

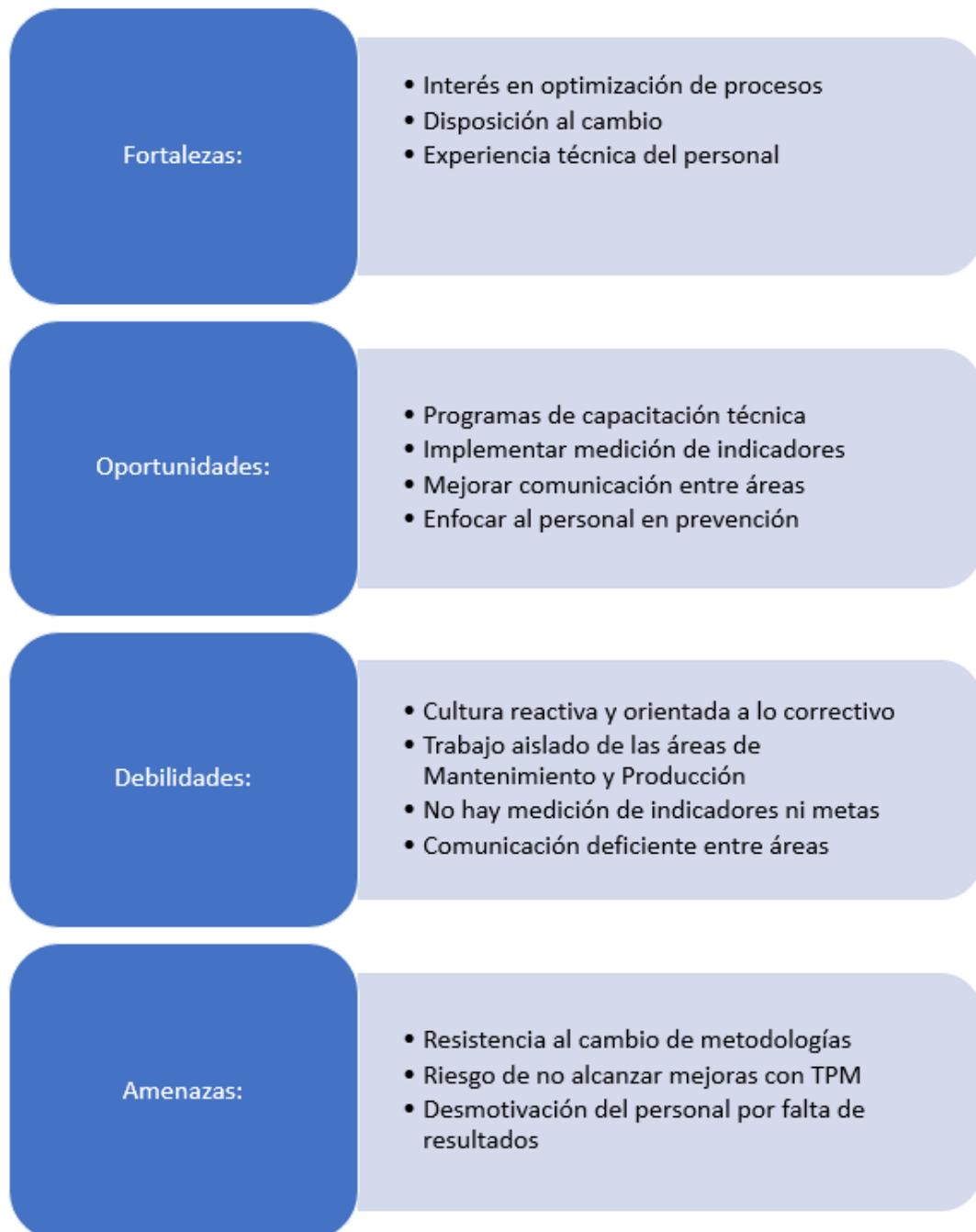
- Baja efectividad de implementación de TPM.
- Resistencia al cambio en metodologías de trabajo.
- Riesgo de no alcanzar mejoras esperadas con TPM.
- Desmotivación y frustración del personal.

### 3.1.3.3. Análisis FODA

Hay condiciones favorables que deben ser apalancadas para lograr los cambios culturales necesarios para una efectiva implementación del TPM, se realizó el siguiente análisis FODA.

#### Figura 15

#### Análisis FODA cultura organizacional



### **3.1.4. Situación actual de los indicadores de gestión**

#### **3.1.4.1. Diagnóstico**

El diagnóstico de la situación actual de los Indicadores de gestión revela que existe una ausencia de indicadores formales y sistematizados de gestión en el área de mantenimiento del contratista. Esto representa una importante área de oportunidad para establecer métricas que permitan controlar y mejorar continuamente la planificación, programación, ejecución, confiabilidad, productividad, costos y calidad del mantenimiento.

Según el análisis de diagnóstico, los indicadores de gestión actuales es el siguiente:

- No se evidencia el uso de indicadores clave de desempeño (KPIs) para el área de mantenimiento del contratista.
- No hay indicadores formales para medir la planificación, programación y ejecución del mantenimiento del contratista.
- No existen indicadores de cumplimiento del plan de mantenimiento preventivo.
- No se calculan indicadores de confiabilidad de los equipos como MTBF (tiempo medio entre fallas) o disponibilidad.
- No se llevan indicadores de mantenimiento centrados en el cliente interno (producción, operaciones).
- No hay indicadores de productividad de mano de obra o costos de mantenimiento por equipo/sistema.
- No se miden formalmente los tiempos de ejecución de las órdenes de trabajo.
- No hay indicadores de gestión de inventarios de repuestos o consumibles.
- No existen indicadores de seguridad, medio ambiente ni calidad aplicados al mantenimiento.

### **3.1.4.2. Árbol de problemas**

El problema central es la "Ausencia de indicadores formales y sistematizados de gestión en el área de mantenimiento del contratista", se desarrolló el siguiente árbol de problemas:

Problema Central:

Ausencia de indicadores formales y sistematizados de gestión en el área de mantenimiento del contratista.

Causas:

Falta de conocimiento o entendimiento de la importancia de los KPIs en el mantenimiento.

Deficiencia en la implementación de un plan de mantenimiento preventivo.

Falta de sistemas para el seguimiento y análisis de la confiabilidad de los equipos.

No se ha establecido un protocolo para el seguimiento del tiempo de ejecución de las órdenes de trabajo.

Falta de integración de políticas de seguridad, medio ambiente y calidad en los procesos de mantenimiento.

Efectos:

Incapacidad para identificar y priorizar áreas críticas de mejora en el mantenimiento.

Pérdida de eficiencia y aumento en los costos de operación para atender paradas de plantas.

Deterioro de la relación con los clientes internos debido a fallas inesperadas y mantenimiento reactivo.

Incremento en los riesgos de seguridad y salud debido a la falta de mantenimiento adecuado.

### 3.1.4.3. Análisis FODA

Este análisis FODA proporciona una visión general de la situación interna y externa que enfrenta el área de mantenimiento de la empresa en términos de la gestión de indicadores. Es una base útil para desarrollar estrategias que mitiguen las debilidades y amenazas, mientras se aprovechan las fortalezas y oportunidades para mejorar la gestión del mantenimiento.

#### Figura 16

#### Análisis FODA indicadores de gestión



## 3.2 Modelo de solución propuesto

### 3.2.1. Implementación del Modelo (TPM)

El TPM, o Mantenimiento Productivo Total, es un marco de trabajo que busca mejorar la confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y eficiencia de los equipos y procesos de operación. Se basa en la participación de todos los empleados de la empresa, desde los operadores hasta la alta dirección, y en la aplicación de una serie de herramientas y técnicas.

En el presente trabajo se planteó el siguiente esquema donde se resaltan 5 etapas importantes.

**Figura 17**  
*Marco de trabajo TPM*



Donde:

#### Etapa 1: Conformación del equipo de implementación

El equipo de implementación debe estar conformado por personas con experiencia y conocimiento en las áreas de mantenimiento, operaciones, ingeniería, finanzas y recursos humanos. Los miembros del equipo deben ser capaces de trabajar en equipo y de liderar el proceso de cambio.

#### Etapa 2: Diagnóstico de la situación actual.

El diagnóstico de la situación actual debe incluir la evaluación de los siguientes aspectos:

**Equipos:** Se debe evaluar el estado de los equipos, su confiabilidad, su disponibilidad y su mantenibilidad.

**Procesos:** Se debe evaluar los procesos de mantenimiento, operaciones y producción.

**Cultura organizacional:** Se debe evaluar la cultura organizacional, para identificar los factores que pueden facilitar o dificultar la implementación de TPM.

Indicadores de gestión: Se debe evaluar los indicadores de gestión, para identificar las áreas de oportunidad.

Etapa 3: Elaboración del plan de implementación.

El plan de implementación debe definir las actividades, los plazos y los responsables para cada una de las etapas del proceso. El plan debe ser flexible, para adaptarse a los cambios que puedan surgir durante el proceso de implementación.

Etapa 4: Implementación de las actividades.

Las actividades de implementación deben ser implementadas de acuerdo con el plan definido. Se debe contar con el apoyo de la alta dirección para garantizar el éxito del proceso.

Etapa 5: Monitoreo y evaluación.

Se debe monitorear y evaluar el proceso de implementación, para garantizar el cumplimiento de los objetivos. Se deben recopilar datos y realizar análisis para identificar los avances y las áreas de oportunidad.

Para implementar el TPM de forma exitosa, es importante contar con el apoyo de la alta dirección y con la participación de todos los empleados de la empresa.

Además del marco de trabajo descrito anteriormente, existen una serie de herramientas y técnicas que pueden ayudar a implementar el TPM, como:

Mantenimiento autónomo: Los operadores son responsables del cuidado básico de los equipos, como la limpieza, la lubricación y la inspección.

Mantenimiento preventivo: Se realizan tareas de mantenimiento de forma programada, para evitar o retrasar las fallas.

Mantenimiento predictivo: Se utilizan técnicas para predecir el estado de los equipos, para realizar el mantenimiento en el momento adecuado.

Mantenimiento proactivo: Se identifican y eliminan las causas de las fallas, para evitar que ocurran en el futuro.

Mantenimiento productivo total: Se busca mejorar la eficiencia y la productividad de los equipos y procesos de producción.

### 3.2.2. Conformación del equipo de implementación

Para implementar el TPM (*Total Productive Maintenance*) en la empresa y más aún en el equipo de trabajo destinado al área de molienda, es fundamental conformar equipos de trabajo interdisciplinarios que puedan abordar los diferentes aspectos del proceso de molienda. Actualmente el personal que labora es el siguiente ver tabla 1.

**Tabla 1**  
*Personal trabajando actualmente licitación*

<b>ETAPA</b>	<b>ACTIVIDAD</b>	<b>RESPONSABLE</b>
Licitación	Recepción de las invitaciones para servicios de mantenimiento	Asistente gerencia
	Reenvió de las invitaciones y alcances al área de ingeniería y proyectos	Asistente gerencia
	Elaboración de propuesta comercial	Área de ingeniería
	Elaboración de propuesta técnica	Área de proyectos
	Envío de la propuesta técnica y económica al cliente	Asistente gerencia
	Recepción de la orden de servicio	Asistente gerencia

**Tabla 2**  
*Personal trabajando actualmente preparativos*

<b>ETAPA</b>	<b>ACTIVIDAD</b>	<b>RESPONSABLE</b>
Preparativos	Distribución y confirmación de ordenes de servicio ganadas	Asistente gerencia
	Generación de OP	Asistente gerencia
	Consolidado de recursos humanos (cantidad de personas por cargo)	Residente
	Solicitud de requerimiento de herramientas, insumos, equipos, etc.	Supervisor mecánico
	Aprobación de requerimientos	Gerente de operaciones
	Filtro de los requerimientos	Almacén
	Compra de herramientas, EPPS, alquiler de equipos faltantes	Compras
	Convocatoria de personal eventual técnico y supervisión	<i>Planner</i> - habilitación
	Disponibilidad, proceso de habilitación y reporte de resultados	<i>Planner</i> - habilitación
	Elaboración del Manpower con el personal disponible y habilitado	Residente
	Elaboración de PETs y entregables operativos solicitados por orden de servicio	Supervisor mecánico
	Elaboración de IPERC línea base, procedimientos de seguridad	Supervisor de seguridad
	Seguimiento de todas las áreas involucradas	Gerente de proyectos
	Gestión para envío de contenedores y cajas de herramientas a mina	Asistente gerencia
	Movilización del personal	<i>Planner</i>

**Tabla 3**  
*Personal trabajando actualmente ejecución*

<b>ETAPA</b>	<b>ACTIVIDAD</b>	<b>RESPONSABLE</b>
	Movilización del personal	<i>Planner</i>
	Gestión para recepción de contenedores de herramientas y oficinas <i>in-site</i>	Almacén
	Entrega de EPPS y herramientas	Almacén
	Difusión de PETs, incidentes de seguridad. Gantt del proyecto	Supervisores mecánicos
	Acarreo de herramientas a puntos de trabajo	Supervisores mecánicos Supervisores de seguridad
	Charlas de seguridad	Supervisores de seguridad
Ejecución	Reportes diarios de avance por frente de trabajo	Supervisores Mecánicos
	Seguimiento de todas las áreas de trabajo	Residente
	Elaboración de tareos	<i>Planner</i> Supervisores
	Cierre de servicio por frente de trabajo	mecánicos
	Entrega de herramientas	Supervisor mecánico Supervisores
	Elaboración de informes finales	mecánicos
	Elaboración de valorizaciones y envío de entregables a cliente	<i>Planner</i>

### **3.2.3. Diagnóstico de la situación actual**

El área de mantenimiento presenta diversas oportunidades de mejora en la planificación, gestión de activos, ejecución, logística, seguridad, indicadores y procesos. Se requiere mayor estructura y estandarización.

El diagnóstico general sobre la situación actual del área de mantenimiento es el siguiente:

### **Gestión y Planificación**

- No hay evidencia de un plan de mantenimiento preventivo estructurado. Las actividades se realizan principalmente de forma correctiva.
- No se tiene una clasificación de criticidad de equipos que permita priorizar las actividades.

### **Ejecución:**

- Las actividades son lideradas por supervisores mecánicos sin una estandarización clara de procesos.
- No se lleva un historial formal de mantenimiento por equipo.
- No hay procedimientos claros para las diferentes tareas.

### **Personal:**

- No se evidencia una gestión formal de competencias técnicas del personal propio.
- No hay evaluaciones de desempeño para empresas contratistas.

### **Logística:**

- Los requerimientos se realizan sólo ante nuevas actividades, no como parte de una gestión integral.
- No hay visibilidad sistematizada sobre gestión de inventarios o stocks de seguridad.

### **Seguridad:**

- Aparentemente la supervisión de seguridad en campo durante las actividades no es constante.

### **Indicadores:**

- No se encontró evidencia del uso de indicadores clave de mantenimiento en un sistema integral.

### **Procesos:**

- No se evidencia el uso de nuevas tecnologías o procesos para optimizar las tareas.

### 3.2.4. Elaboración del plan de implementación

La tabla 4 presenta un plan estructurado para implementar un programa de (TPM) en un complejo minero, detallando las actividades clave a lo largo de diferentes fases y tiempos específicos. A continuación, se realiza una interpretación fase por fase:

**Tabla 4**  
*Plan de implementación*

<b>Fase</b>	<b>Duración</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Actividades</b>
Preparación	2 meses	Semana 1 - 4	Compromiso de la gerencia y conformación del equipo de implementación
		Semana 5 - 8	Diagnóstico y análisis de la situación actual
		Semana 9 - 10	Elaboración del plan maestro de implementación
Introducción	1 mes	Semana 11	Lanzamiento formal del programa TPM
		Semana 12 - 13	Campaña informativa y motivacional
		Semana 13 - 15	Capacitación en conceptos TPM y habilidades técnicas
Implementación	6 meses	Semana 16 - 20	Ejecución de mantenimiento autónomo
		Semana 16 - 38	Desarrollo e implementación de plan de mantenimiento preventivo
		Semana 39 - 48	Evaluación de resultados y ajustes
Consolidación	3 meses	Semana 49 - 53	Institucionalización de TPM e incremento de metas

### Fase 1: Preparación (2 meses)

Durante esta fase inicial, la gerencia debe mostrar su compromiso con el programa TPM, que es crucial para asegurar los recursos y el apoyo necesarios. Se forma un equipo encargado de llevar a cabo la implementación del programa. Luego, se realiza un diagnóstico para entender la situación actual del área de molienda y detectar áreas de mejora. Finalmente, se elabora un plan maestro que guiará todas las actividades de implementación.

### Fase 2: Introducción (1 mes)

En esta fase corta pero intensiva, se lanza formalmente el programa TPM, marcando el inicio oficial de las actividades relacionadas. Se lleva a cabo una campaña informativa y motivacional para asegurarse de que todos los empleados estén informados sobre el TPM y entusiasmados con su implementación.

### Fase 3: Implementación (6 meses)

Esta es la fase más larga y probablemente la más desafiante. Se inicia con capacitación para asegurarse de que todos los involucrados entiendan los conceptos de TPM y posean las habilidades técnicas necesarias. Posteriormente, se pone en práctica el mantenimiento autónomo, que empodera a los operadores para realizar tareas de mantenimiento básicas. Esto ayuda a prevenir paradas y mejora la fiabilidad de los equipos. Finalmente, se desarrolla e implementa un plan de mantenimiento preventivo para gestionar los riesgos de falla de los equipos.

### Fase 4: Consolidación (3 meses)

La última fase se centra en la evaluación de los resultados obtenidos y en hacer los ajustes necesarios para mejorar. Una vez que el programa está funcionando con éxito y se han hecho los ajustes, se institucionaliza el TPM dentro de la organización y se establecen metas más ambiciosas para continuar mejorando.

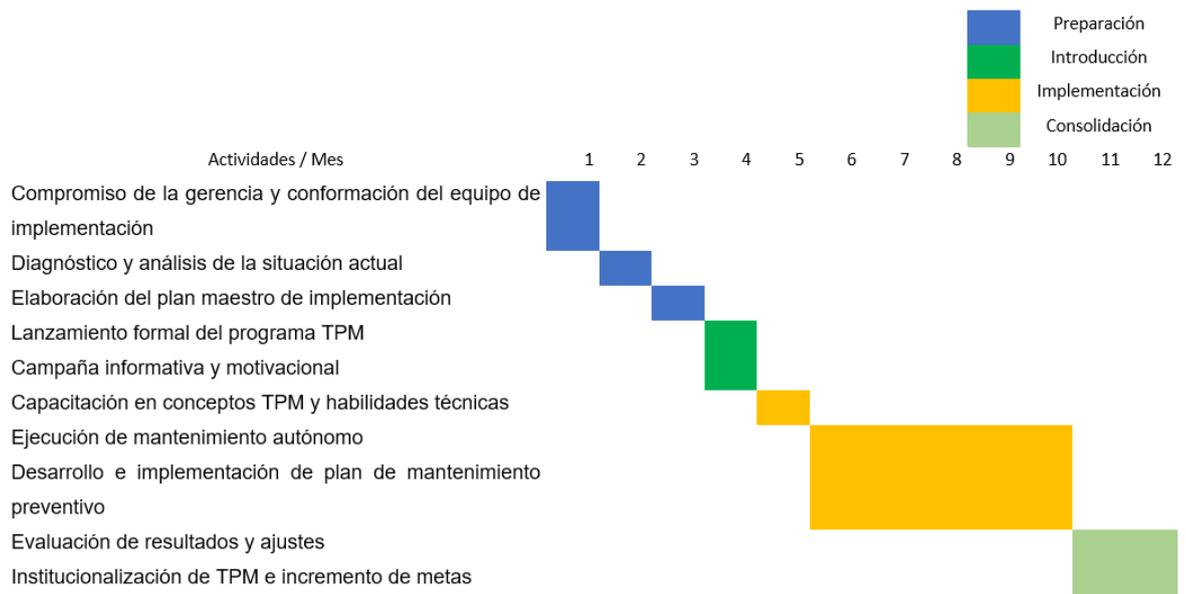
Este plan de implementación muestra un enfoque metódico y paso a paso para integrar el TPM en las operaciones del complejo minero, con un claro enfoque en la preparación, la educación y el

compromiso de la gerencia y los empleados, antes de pasar a la ejecución y finalmente a la consolidación del programa.

### 3.2.5. Implementación del plan de actividades

El plan de actividades está organizado en base al plan de implementación y está enmarcado en 4 fases descritas a continuación ver figura 18:

**Figura 18**  
*Implementación del plan de actividades*



#### 3.2.5.1. Fase 1 –

Preparación para la implementación de TPM en el área de molienda:

Fase 1 - Preparación (2 meses)

Semana 1:

Reunión de gerencia para presentar la propuesta de implementar TPM.

Designar un líder de proyecto TPM.

Definir objetivos, alcance y resultados esperados.

Semana 2:

Seleccionar el equipo de implementación TPM.

Reunión de lanzamiento del equipo.

Definir roles y responsabilidades de los miembros.

Semana 3:

Elaborar un diagnóstico inicial del área de molienda.

Analizar disponibilidad histórica del equipo.

Evaluar procedimientos actuales de operación y mantenimiento.

Identificar brechas en habilidades del personal.

Semana 4:

Continuar actividades de diagnóstico.

Revisar historial de fallas y modos de fallo.

Analizar repuestos críticos y consumibles.

Evaluar condiciones de seguridad y ambiente.

Semana 5:

Completar informe de diagnóstico de situación actual.

Identificar oportunidades de mejora en operación y confiabilidad.

Estimar beneficios potenciales de implementar TPM.

Semana 6 - 8:

Definir alcance detallado del proyecto TPM.

Elaborar plan maestro de implementación.

Establecer indicadores de desempeño clave.

Preparar cronograma y presupuesto tentativo.

Semana 9 - 10:

Revisar y aprobar plan de implementación.

Asegurar disponibilidad de recursos.

Comunicar el plan a todos los involucrados.

Como se puede ver, se detallan actividades, responsables y resultados para cada semana de la Fase 1, como parte de la preparación antes de iniciar la ejecución de TPM.

### **3.2.5.2. Fase 2**

Introducción para la implementación de TPM en el área de molienda:

Fase 2 - Introducción (1 mes)

#### Semana 11:

Reunión de lanzamiento formal del TPM con gerentes y empleados.

Presentar objetivos, alcance, cronograma y estructura del proyecto.

Explicar conceptos básicos de TPM.

Enfatizar el compromiso y apoyo de la gerencia.

#### Semana 12:

Desarrollar material informativo y de motivación sobre TPM.

Distribuir folletos explicando beneficios del TPM.

Colocar afiches promocionales en instalaciones.

Enviar correos electrónicos informando sobre el proyecto.

Realizar charlas 5 min sobre qué es TPM y ventajas esperadas.

Aclarar dudas e inquietudes de los empleados.

Recopilar retroalimentación para ajustar la estrategia.

Esta fase busca crear conciencia en la organización sobre la implementación de TPM que se avecina. Se utilizan diferentes medios para socializar la información, resolver dudas y lograr el compromiso de los equipos de trabajo. La gerencia debe Demostrar activamente su apoyo al proyecto. Al final se analiza la retroalimentación para realizar ajustes y planificar las siguientes fases.

#### **3.2.5.3. Fase 3**

Implementación para el despliegue de TPM en el área de molienda:

#### Fase 3 - Implementación (6 meses)

##### Mes 1:

Realizar un curso de 8 horas sobre conceptos fundamentales de TPM.

Capacitar en técnicas de Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF).

Entrenar en procedimientos de inspección y lubricación autónoma.

##### Mes 2:

Curso de 16 horas sobre Mantenimiento Autónomo.

Definir actividades de limpieza, lubricación, ajustes e inspección.

Elaborar los estándares y formatos para las actividades.

Realizar capacitación práctica en planta sobre tareas autónomas.

Mes 3:

Implementar las actividades de Mantenimiento Autónomo.

Realizar inspecciones y auditorías para verificar cumplimiento

Definir indicadores para monitorear resultados (MTBF, tiempos de parada, etc.).

Mes 4:

Curso de 8 horas sobre Mantenimiento Preventivo.

Definir las tareas proactivas de mantenimiento para los equipos.

Elaborar plan de mantenimiento preventivo con frecuencias y rutas.

Codificar las tareas en el software de gestión de mantenimiento.

Mes 5:

Implementar plan piloto de Mantenimiento Preventivo.

Realizar mediciones de condición en equipos (vibración, aceite, etc.).

Registrar resultados para evaluar efectividad del plan.

Mes 6:

Ajustar y estandarizar el plan de Mantenimiento Preventivo.

Monitorear mejoras en disponibilidad y confiabilidad de los equipos.

Realizar *benchmark* para identificar oportunidades de optimización.

El enfoque es capacitar y proporcionar las herramientas necesarias para que los equipos ejecuten exitosamente las nuevas prácticas de mantenimiento autónomo y preventivo, que son la base del TPM. Se monitorea el progreso y se realizan ajustes cuando sea necesario.

#### **3.2.5.4. Fase 4**

Consolidación para el proyecto de implementación de TPM en el área de molienda:

Fase 4 – Consolidación (3 meses)

Mes 1:

Evaluar resultados de indicadores de efectividad global de equipos.

Analizar mejoras en disponibilidad, tiempo medio entre fallas, etc.

Revisar cumplimiento de plan de mantenimiento autónomo y preventivo.

Verificar reducción de fallas y paradas por averías.

Calcular retorno de inversión del proyecto.

Mes 2:

Realizar auditoría de progreso de implementación de TPM.

Identificar brechas y oportunidades de mejora.

Reforzar las competencias técnicas según necesidades detectadas.

Ajustar procedimientos y estándares según resultados.

Mes 3:

Institucionalizar TPM en sistema de gestión de la organización.

Establecer metas más exigentes de mejora continua.

Definir responsables permanentes para gestión de TPM.

Elaborar plan para extender TPM a otras áreas de la planta.

Documentar lecciones aprendidas para futuros proyectos.

Retención de talentos a través mejoras en las condiciones laborales y de trabajo, ofrecer oportunidades de capacitación y desarrollo profesional, y establecer un sistema de incentivos y reconocimientos para el personal. Además, es importante realizar una evaluación exhaustiva de las causas de la alta rotación y tomar medidas específicas para abordarlas.

El objetivo es evaluar los resultados alcanzados, realizar ajustes donde sea necesario, y preparar la transición para que TPM se

incorpore como parte de la operación normal de la organización. También se busca definir nuevas metas e iniciar la expansión a otras áreas basándose en el aprendizaje del piloto inicial en molienda.

### 3.2.6. Monitoreo y evaluación

#### 3.2.6.1. Monitoreo

Para documentar y estandarizar las actividades de mantenimiento con TPM se pueden proponer formatos como:

- Orden de trabajo: documenta las tareas de mantenimiento a realizar.

**Tabla 5**  
*Orden de trabajo*

Item	Descripción	Detalles
Orden de Trabajo	Número/Identificador	
Equipo	Nombre del Equipo Ubicación del Equipo Identificador del Equipo (ID/SN)	
Descripción de Actividad	Detalles de la tarea de mantenimiento	
Frecuencia	Diaria/Semanal/Mensual/Anual Última vez realizado	
Responsable	Nombre del Técnico o Equipo	
Fecha de Ejecución	Fecha programada Fecha real de ejecución	
Tiempo de Inicio y Fin	Hora de inicio Hora de fin Duración total	
Repuestos/Insumos Usados	Lista de repuestos/insumos Cantidad Referencia/Código del Producto	
Observaciones	Notas sobre la actividad Incidencias/desviaciones	
Evaluación del Mantenimiento	Cumplimiento de la tarea (Sí/No) Calidad del trabajo (1-5) Comentarios del evaluador	
Firma del responsable	Nombre y Firma	

- Registro de fallas: permite llevar historial de fallos en los equipos.

**Tabla 6**  
*Registro de fallas*

<b>Item</b>	<b>Descripción</b>	<b>Detalles</b>
Equipo	Nombre del Equipo Identificador del Equipo (ID/SN)	
Fecha y Hora de Fallo	Fecha Hora	
Descripción de la Falla	Detalles del fallo	
Tiempo de Reparación	Duración estimada Duración real	
Acción Correctiva	Descripción de la acción realizada	
Responsable	Nombre del Técnico o Equipo Firma	
Evaluación del Incidente	Severidad del fallo (Escala 1-5) Satisfacción con la reparación (Sí/No) Comentarios adicionales	

- Informe de mantenimiento: reporte resumen de actividades realizadas.

**Tabla 7**  
*Informe de mantenimiento*

<b>Item</b>	<b>Descripción</b>	<b>Detalles</b>
Equipo	Nombre del Equipo Identificador del Equipo (ID/SN)	
Tareas de Mantenimiento Ejecutadas	Descripción de las tareas	
Tiempos de Parada	Duración de la parada	
Repuestos Utilizados	Listado de repuestos  Referencia/Código del Producto Cantidad	
Observaciones	Notas adicionales	
Firma del responsable	Nombre y Firma  Fecha	

Procedimientos: detallan paso a paso instrucciones técnicas.

**Tabla 8**  
*Procedimientos*

<b>Paso</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Realizado</b>	<b>Observaciones</b>
		<b>(Sí/No)</b>	
1	Apagar y bloquear el equipo		
2	Desmontar poleas		
3	Extraer rodamientos usando extractores		
4	Limpiar y verificar estado del eje		
5	Montar nuevos rodamientos según especificaciones		
6	Montar poleas y alinear		
7	Encender y verificar funcionamiento		

### **3.2.6.2. Evaluación**

Para monitorear el avance y resultados de la implementación de TPM se usan indicadores como:

- Disponibilidad: mide el tiempo que el equipo está operativo vs el tiempo calendarizado.

$$D_{dis} = \frac{t_o}{t_c} * 100$$

Donde:

$D_{dis}$ : Disponibilidad de equipo.

$t_o$ : Tiempo operativo.

$t_c$ : Tiempo calendarizado.

Meta: 90%

- Tiempo medio entre fallas (MTBF): mide la frecuencia de fallas del equipo.

MTBF = Tiempo operativo total / Cantidad de fallas

$$T_{MTBF} = \frac{t_{ot}}{C_{cf}}$$

Donde:

$T_{MTBF}$ : Tiempo medio entre fallas.

$t_{ot}$ : Tiempo operativo total.

$C_{cf}$ : Cantidad de fallas.

Meta: 50 horas

- Tiempo medio para reparar (MTTR): mide el tiempo promedio de reparaciones.

MTTR = Tiempo total de reparaciones / Cantidad de fallas

$$T_{MTTR} = \frac{t_{tr}}{C_{cf}}$$

Donde:

$T_{MTTR}$ : Tiempo medio para reparar.

$t_{tr}$ : Tiempo total de reparaciones.

$C_{cf}$ : Cantidad de fallas.

Meta: 2 horas

- Eficiencia global de equipos (OEE): considera disponibilidad, rendimiento y calidad.

$$OEE = D * E * C$$

Donde:

OEE = Eficiencia global de equipos.

D: Disponibilidad.

E: Eficiencia.

C: Calidad.

Meta: 85%

- Cumplimiento del plan: mide la ejecución de las tareas programadas.

$$C_{cum} = \frac{t_{te}}{C_{cf}} * 100$$

Donde:

$C_{cum}$ : Cumplimiento.

$t_{te}$ : Tareas ejecutadas.

$C_{cf}$ : Cantidad de fallas.

Meta: 95%

Estos indicadores permiten hacer seguimiento periódico al estado de los equipos críticos, la ejecución de las actividades de mantenimiento y el impacto global en eficiencia. Las metas se establecen en función de los objetivos y luego se van ajustando

### **3.3 Resultados**

#### **3.3.1. Línea de proceso operacional**

La tabla 9 presenta el proceso actual de licitaciones, las áreas involucradas y dos propuestas de mejora enfocadas en realizar un mejor análisis de las invitaciones entrantes para optimizar la asignación de recursos y las probabilidades de éxito en los procesos de licitación.

**Tabla 9**  
*Línea de proceso operacional etapa licitación.*

ETAPA	ACTIVIDAD
LICITACION	<p><b>Actividades Actuales:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Recepción de invitaciones para servicios de mantenimiento (Asistente Gerencia).</li> <li>2. Reenvío de invitaciones y alcances al área de ingeniería y proyectos (Asistente Gerencia).</li> <li>3. Elaboración de propuesta comercial (Área de Ingeniería).</li> <li>4. Elaboración de propuesta técnica (Área de Proyectos).</li> <li>5. Envío de la propuesta técnica y económica al cliente (Asistente Gerencia).</li> <li>6. Recepción de la orden de servicio (Asistente Gerencia).</li> </ol> <p><b>Mejoras Propuestas:</b></p> <p>Implementar un análisis estratégico para seleccionar invitaciones con mayor probabilidad de éxito.</p> <p>Establecer criterios claros para la participación en licitaciones basados en recursos disponibles.</p>

La tabla 10 detalla las actividades del proceso de preparativos previos a la ejecución del servicio de mantenimiento, que es un proceso que involucra 14 actividades, además es multifuncional de planificación y aseguramiento de recursos previo al servicio, para el cual se proponen 2 herramientas de integración y control.

**Tabla 10***Línea de proceso operacional etapa preparativos.*

ETAPA	ACTIVIDAD
<b>PREPARATIVOS</b>	<b>Actividades Actuales:</b>
	1. Distribución y confirmación de órdenes de servicio ganadas (Asistente Gerencia).
	2. Generación de Órdenes de Pedido (OP) (Asistente Gerencia).
	3. Consolidado de recursos humanos (Residente).
	4. Solicitud de requerimiento de herramientas, insumos, equipos, etc. (Supervisor Mecánico).
	5. Aprobación de requerimientos (Gerente de Operaciones).
	6. Filtro de requerimientos (Almacén).
	7. Compra de herramientas, EPPs, alquiler de equipos faltantes (Compras).
	8. Convocatoria de personal eventual técnico y supervisión ( <i>Planner</i> - Habilitación).
	9. Disponibilidad, proceso de habilitación y reporte de resultados ( <i>Planner</i> - Habilitación).
	10. Elaboración del Manpower con el personal disponible y habilitado (Residente).
	11. Elaboración de PETs y entregables operativos solicitados por orden de servicio (Supervisor Mecánico).
	12. Elaboración de IPERC línea base, procedimientos de seguridad (Supervisor de Seguridad).
	13. Seguimiento de todas las áreas involucradas (Gerente de Proyectos).
14. Gestión para envío de contenedores y cajas de herramientas a mina (Asistente Gerencia).	
	<b>Mejoras Propuestas:</b>
	Implementar un Sistema de alertas para Seguimiento de Documentos y aprobaciones.
	Desarrollar un <i>dashboard</i> integrado para proporcionar visión global y anticipar cuellos de botella.

La tabla 11 describe las actividades de la etapa de ejecución del servicio de mantenimiento: Involucra al *Planner*, Supervisores Mecánicos y de Seguridad, Residente y Almacén. En esta etapa de ejecución intervienen todas las áreas en la puesta en marcha del servicio, realizando labores específicas de acuerdo con su experticia, para lo cual se proponen mejoras en la trazabilidad logística y en la coordinación con terceros.

**Tabla 11**

*Línea de proceso operacional etapa ejecución.*

ETAPA	ACTIVIDAD
EJECUCION	<b>Actividades Actuales:</b>
	1. Movilización del personal ( <i>Planner</i> ).
	2. Gestión para recepción de contenedores de herramientas y oficinas <i>in-site</i> (Almacén).
	3. Entrega de EPPs y herramientas (Almacén).
	4. Difusión de PETs, incidentes de seguridad, Gantt del proyecto (Supervisores Mecánicos).
	5. Acarreo de herramientas a puntos de trabajo (Supervisores Mecánicos).
	6. Charlas de seguridad (Supervisores de Seguridad).
	7. Reportes diarios de avance por frente de trabajo (Supervisores Mecánicos).
	8. Seguimiento de todas las áreas de trabajo (Residente).
	9. Elaboración de tareas ( <i>Planner</i> ).
	10. Cierre de servicio por frente de trabajo (Supervisores Mecánicos).
	11. Entrega de herramientas (Supervisor Mecánico).
	12. Elaboración de informes finales (Supervisores Mecánicos).
13. Elaboración de valorizaciones y envío de entregables a cliente ( <i>Planner</i> ).	
	<b>Mejoras Propuestas:</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▸ Implementar un sistema de seguimiento logístico en tiempo real para contenedores y herramientas.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▸ Establecer acuerdos sólidos con empresas logísticas para garantizar la puntualidad en los envíos.</li> </ul>

La tabla 12 presenta iniciativas de apoyo, indicadores de desempeño y mejora continua para el proceso de atención de mantenimiento; se presentan herramientas, métricas y procesos para garantizar eficiencia, trazabilidad y aprendizaje continuo durante la preparación y ejecución de los servicios.

**Tabla 12**

*Línea de proceso operacional etapa adicionales.*

<b>ETAPAS</b>	<b>ACTIVIDAD</b>
HERRAMIENTAS DE APOYO	Sistema de Evaluación de Invitaciones.
	Optimización de Proveedores.
	<i>Dashboard Integrado.</i>
	Sistema de Seguimiento Logístico.
INDICADORES DE DESEMPEÑO	Protocolos de Comunicación Mejorados.
	Eficiencia en Selección de Invitaciones.
	Tiempo de Entrega de Adquisiciones.
	Porcentaje de Personal Operativo Habilitado a Tiempo.
MEJORA CONTINUA	Tiempo de Respuesta a Documentos del Cliente.
	Seguimiento Logístico Puntual.
	Sesiones periódicas de revisión para identificar lecciones aprendidas y ajustar estrategias.
	Sistema de historial y documentación de avances diarios, imprevistos y lecciones aprendidas.
	Implementación de un sistema de gestión documental para sistematizar y almacenar los entregables del servicio.

### 3.3.2. Análisis de procura de insumos y herramientas

La tabla 13 presenta información de actividades logísticas sobre:

- Cantidad de ítems de materiales solicitados para los servicios por mes.

- Cantidad de ítems atendidos (adquiridos y entregados) por mes.
- Porcentaje de cumplimiento de entrega de lo solicitado por mes.

Se muestran los datos para un periodo desde enero hasta noviembre.

Un promedio de 329 ítems fue requerido mensualmente. De estos se lograron entregar 322, equivalente a un 97,67% de efectividad en la atención de órdenes logísticas para los servicios.

Se observa una efectividad mayor al 95% en todos los meses, destacando setiembre con 99,38% como el más eficiente, y abril con 95,93% como el de menor porcentaje de cumplimiento.

La tabla 13 refleja una buena gestión logística, con capacidad de atender en promedio el 97,67% de los requerimientos de materiales, superando el 95% en todos los meses evaluados del año.

**Tabla 13**  
*Análisis de procura de insumos y herramientas*

<b>MESES</b>	<b>ITEM REQUERIDOS</b>	<b>ITEM ATENDIDOS</b>	<b>TASA DE CUMPLIMIENTO</b>
ENERO	398	386	96.98%
FEBRERO	265	259	97.74%
ABRIL	344	330	95.93%
MAYO	335	331	98.81%
JUNIO	321	319	99.38%
AGOSTO	385	376	97.66%
SETIEMBRE	298	289	96.98%
NOVIEMBRE	288	282	97.92%
<b>PROMEDIO</b>	<b>329</b>	<b>322</b>	<b>97.67%</b>

Se determinó que la tasa de cumplimiento es del 97.67%, sin embargo, para cumplir con la correcta planificación y realizar un mantenimiento de calidad se debe completar el

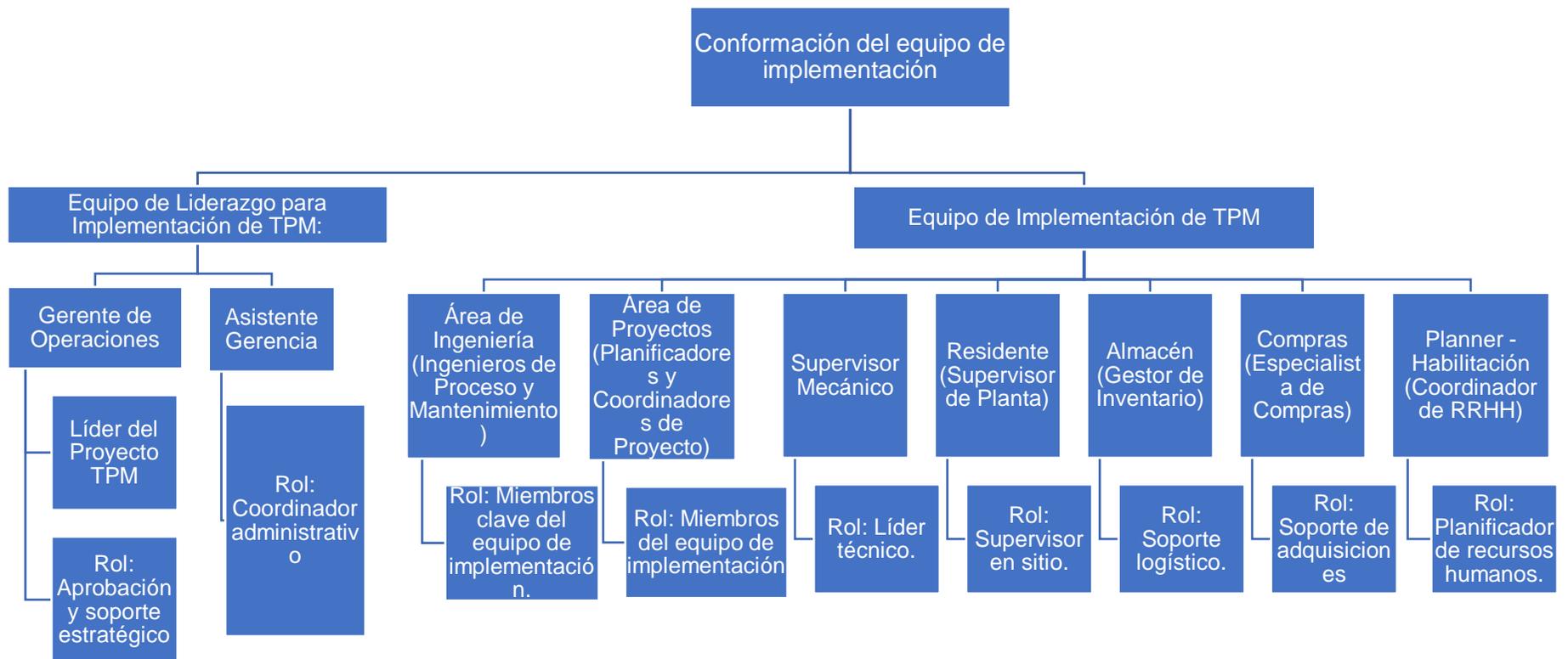
100% de los recursos requeridos y dentro de los tiempos establecidos. La falta de una herramienta crítica como puede ser el caso de una pistola neumática ocasionaría retrasos en el mantenimiento o no permitiría la ejecución del servicio.

### 3.3.3. Diseño de gestión de atención operacional

En base a la información proporcionada en la tabla 9, 10, 11 y 12 se propone la siguiente estructura para conformar el equipo de implementación de TPM ver figura 19.

**Figura 19**

*Conformación de equipo de gestión a atención operacional.*



Donde: Equipo de Liderazgo para Implementación de TPM:

- Líder del Proyecto TPM:  
Gerente de Operaciones:  
Rol: Aprobación y soporte estratégico.  
Responsabilidades: Ofrecer dirección estratégica y asegurar que el proyecto esté alineado con los objetivos operativos.
- Asistente Gerencia:  
Rol: Coordinador administrativo.  
Responsabilidades: Documentar el proceso, comunicaciones y reporte de avances.

Equipo de Implementación de TPM:

- Área de Ingeniería (Ingenieros de Proceso y Mantenimiento):  
Rol: Miembros clave del equipo de implementación.  
Responsabilidades: Realizar diagnósticos técnicos del proceso de molienda, identificar oportunidades de mejora y desarrollar el plan técnico de implementación.
- Área de Proyectos (Planificadores y Coordinadores de Proyecto):  
Rol: Miembros del equipo de implementación.  
Responsabilidades: Coordinar y planificar las actividades de implementación, gestionar cronogramas y recursos.
- Supervisor Mecánico:  
Rol: Líder técnico.  
Responsabilidades: Supervisar las actividades de mantenimiento, asegurar la ejecución técnica y capacitar al personal técnico.
- Residente (Supervisor de Planta):  
Rol: Supervisor en sitio.  
Responsabilidades: Coordinar las actividades diarias de molienda, reportar progreso y problemas operativos.
- Almacén (Gestor de Inventario):  
Rol: Soporte logístico.  
Responsabilidades: Asegurar la disponibilidad y gestión de repuestos y herramientas necesarias para la implementación y mantenimiento.

- Compras (Especialista de Compras):  
Rol: Soporte de adquisiciones.  
Responsabilidades: Coordinar con proveedores, realizar compras estratégicas y gestionar contratos de servicio.
- *Planner* - Habilitación (Coordinador de RRHH):  
Rol: Planificador de recursos humanos.  
Responsabilidades: Organizar y asegurar la disponibilidad del personal necesario para la implementación de TPM.

### **3.3.3.1.Indicadores Propuestos**

A continuación, se muestra los indicadores para los equipos y herramientas usados en el mantenimiento ver tabla 14 donde se muestra los principales equipos y herramientas usados en la empresa, para el propósito de este análisis se usará la pistola de impacto neumático puesto que se constituye como herramienta crítica en el mantenimiento:

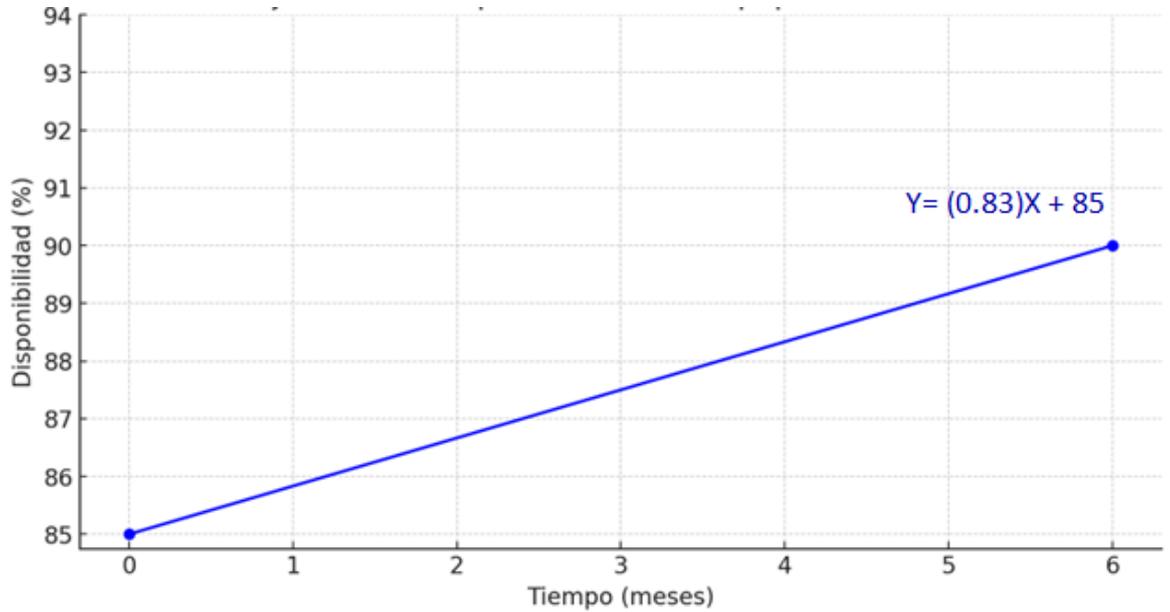
**Tabla 14**  
*Equipos y herramientas.*

<b>EQUIPOS Y HERRAMIENTAS / PARADA</b>
Maletín Soldador (Herramientas básicas)
Equipo de oxicorte
Torquímetro
<b>Pistola de Impacto Neumatico.1-1/2"</b>
Pistola de Impacto Neumatico.1"
Pistola de Impacto Neumatico.3/4"
Pistola de Impacto Neumatico.1/2"
Manguera full Presión 20bar 1/2" - 13mm x 1 mt con acople chicago y conector
Manguera full Presión 20bar 1/2" - 13mm x 15 mt con acople chicago y conector
Manguera full Presión 1" - 13mm x 15 mt con acople chicago y conector
Amoladora angular .4.1/2"
Amoladora angular .7"
Máquina de soldar MILLER CST-380 con cables
Máquina de soldar alambreras proceso tubular
Tecle cadena 1.5Ton x 3 mts
Tecle cadena 2 Ton x 3 mts
Tecle cadena 2 Ton x 12 mts
Tecle palanca 1.6 ton x 1.5 mts
Tecle palanca Ratchet 3 ton x 1.5 mts
Taladro inalámbrico 1/2"
Extintor 9 Kgs PQS
Reflector Led 100W 100-240V
Extensiones de cables eléctricos 220V
Extensiones de cables eléctricos 440V
Bloque retráctil 20" Cinta 7276WR FALLTECH
Bloque retráctil 20' cable de acero
Talador inalámbrico de 5/8"
Escaleras de 3 pasos
Cables para línea de vida (anclaje)

- Disponibilidad: porcentaje del tiempo en que los equipos están operativos. Meta: aumentar de 85% a 90% en 6 meses.

**Figura 20**

*Mejora de la disponibilidad de equipos en 6 meses*

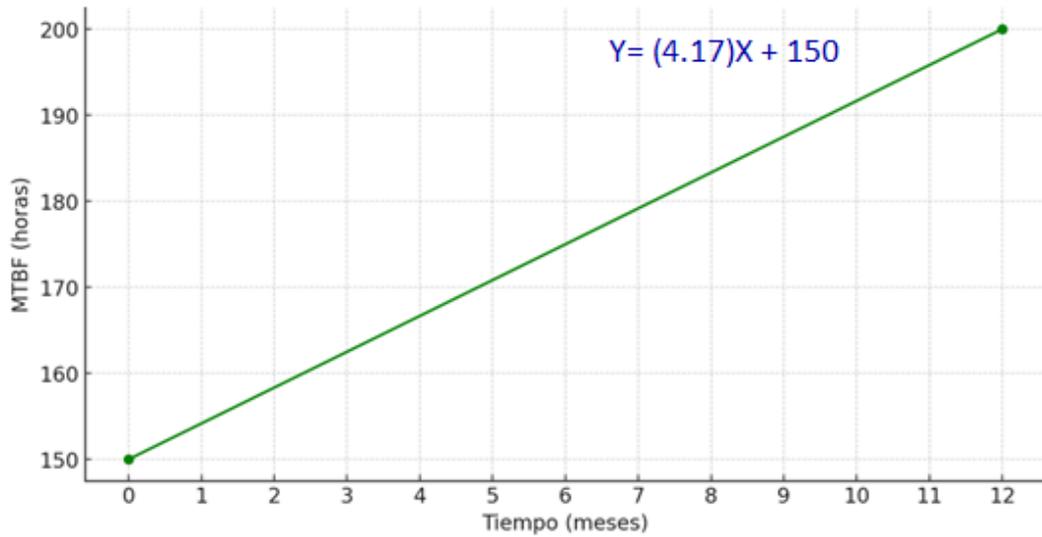


La figura 20 muestra una proyección de manera lineal con datos de la empresa analizada para este proyecto en el cual se prevé que con la implementación del modelo TPM se espera que el aumento proyectado en la disponibilidad de los equipos a lo largo de un período de 6 meses. Comienza en un punto de disponibilidad del 85%, que es el estado actual, y asciende linealmente hasta alcanzar el 90% al final del período de 6 meses, que es la meta establecida.

- Tiempo medio entre fallas: horas promedio entre cada falla. Meta: incrementar MTBF de 150 hrs a 200 hrs en 1 año.

**Figura 21**

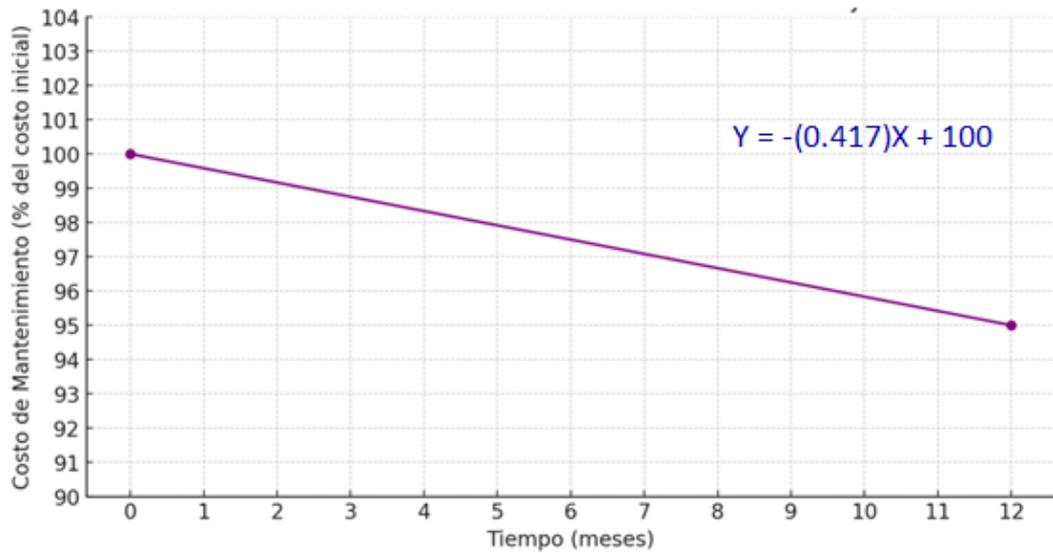
*Incremento del tiempo medio entre fallas*



La figura 21 muestra una proyección de manera lineal con datos de la empresa analizada para este proyecto en el cual se prevé que el gráfico muestra la línea verde que representa la meta de incrementar el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) de 150 horas a 200 horas a lo largo de un año. La línea comienza en el punto de 150 horas y asciende linealmente hasta el objetivo de 200 horas al final del período de 12 meses.

- Costo Mantenimiento/Horas Equipo: reducir 5% en 1 año.

**Figura 22**  
*Reducción del costo de mantenimiento*

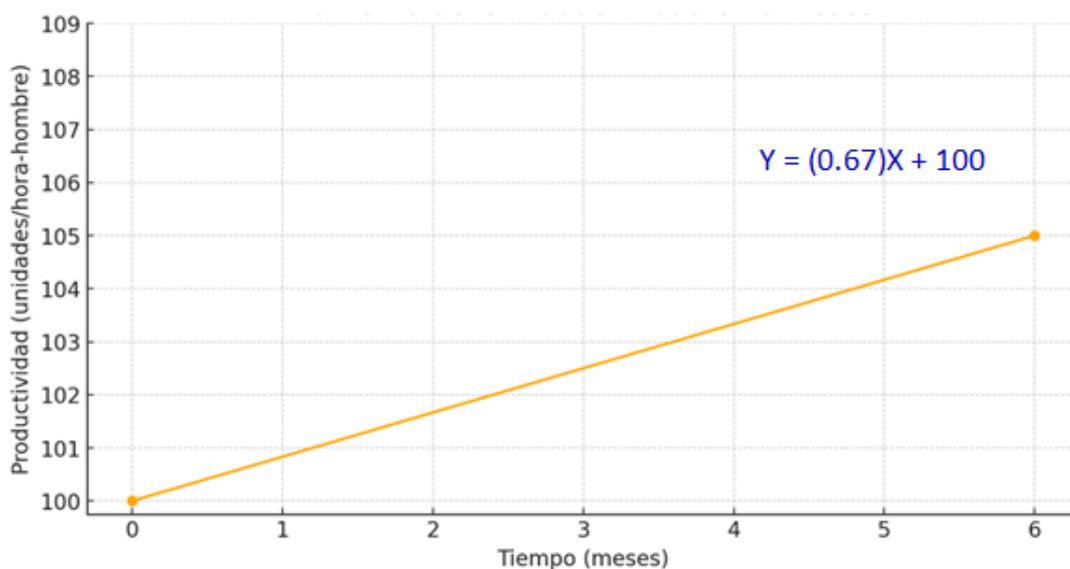


EL grafico 22 muestra una proyección de reducción del costo de mantenimiento partiendo de que el costo actual es considerado como el 100% se espera una reducción de 5% y la figura muestra una línea morada que representa la reducción proyectada en el costo de mantenimiento por hora de equipo en un período de un año. La línea comienza en un costo supuesto de 100% por hora y disminuye hasta un objetivo de 95 % del costo inicial por hora al final de los 12 meses, lo que refleja una reducción del 5%.

- Productividad: unidades producidas/hora-hombre. Aumentar 5% en 6 meses.

**Figura 23**

*Aumento de la productividad en 6 meses*



La figura 23 muestra una proyección lineal del aumento de la producción, considerando que la productividad de la empresa es del 100% se espera un incremento de 5% y la línea naranja que ilustra el objetivo de aumentar la productividad en términos de unidades producidas por hora-hombre en un 5% en un período de 6 meses. La línea parte de un valor de 100 unidades por hora-hombre y asciende hasta alcanzar el objetivo de 105 unidades por hora-hombre al final de los 6 meses. Esto supone una mejora constante y uniforme a lo largo del tiempo, lo que implica que se espera que las acciones basadas en TPM para aumentar la productividad tengan un efecto acumulativo y sostenido.

#### **3.3.4. Nivel de satisfacción del cliente**

Otro de los indicadores claves es medir el nivel de satisfacción del cliente en este caso se usará una rubrica con los siguientes criterios se espera aumentar dicha satisfacción hasta en 10% durante los siguientes 6 meses, actualmente está en 75% ver tabla 15:

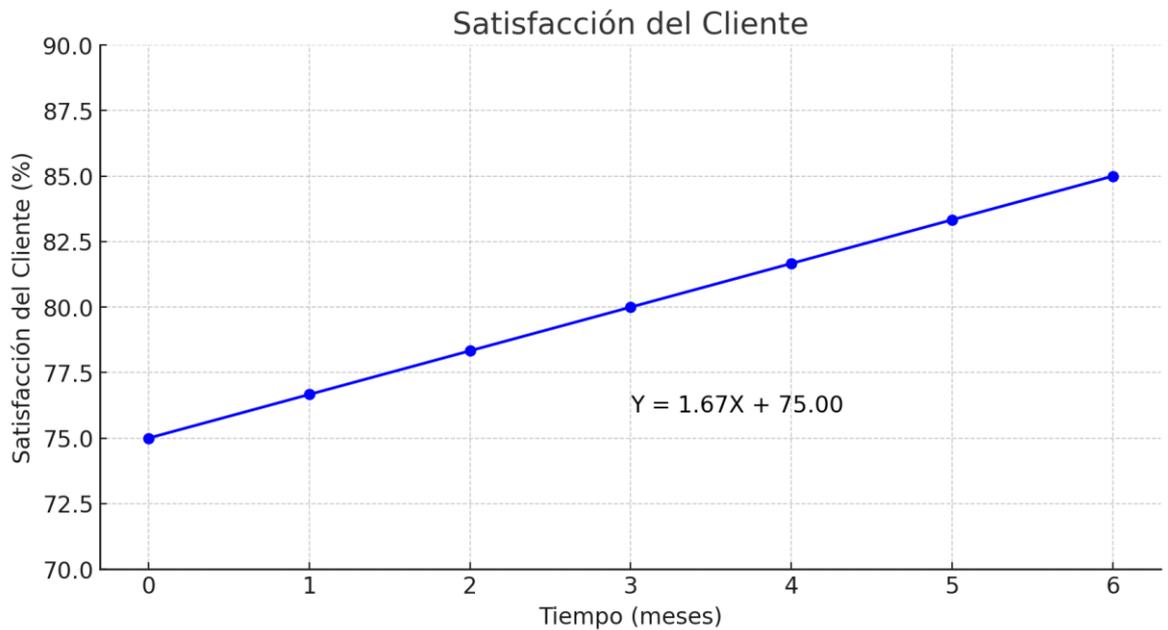
**Tabla 15**  
*Nivel actual de satisfacción del cliente.*

Periodo	Servicio	Disponibilidad de recursos inmediatas	Estado de equipos y herramientas	Capacidad de respuesta a cambios	Tiempo de entrega de servicio	Actitud y conocimiento del personal	PROMEDIO	NIVEL DE SATISFACCION (%)
Enero	Chute móvil SAG1	4	4	3	4	4	3.80	76%
Enero	Chute móvil SAG2	3	4	3	3	3	3.20	64%
Enero	Ciclones	4	4	4	4	4	4.00	80%
Enero	Dist. Radial	4	4	4	3	4	3.80	76%
Enero	SUL	3	3	3	4	4	3.40	68%
Enero	SUL	3	3	3	3	4	3.20	64%
Enero	Trommel SAG 01	4	4	4	4	4	4.00	80%
Enero	Trommel SAG 02	3	4	4	4	4	3.80	76%
Febrero	Chancador	4	4	3	4	4	3.80	76%
Febrero	Chancador	3	3	3	4	4	3.40	68%
Febrero	Zarandas	3	4	3	4	4	3.60	72%
Febrero	Línea de Finos	3	3	4	4	3	3.40	68%
Abril	Dist. Radial	4	4	4	4	4	4.00	80%
Abril	Dist. Radial	4	4	4	3	4	3.80	76%
Abril	Trommel SAG 01	4	4	4	4	4	4.00	80%
Abril	Trommel SAG 01	4	4	4	4	4	4.00	80%
Abril	Trommel SAG 02	3	3	4	3	4	3.40	68%
Abril	Trommel SAG 02	3	4	3	3	4	3.40	68%
Mayo	Chancador	4	4	4	3	4	3.80	76%
Mayo	Chancador	3	3	3	3	4	3.20	64%
Mayo	Línea de Finos	4	4	4	4	4	4.00	80%
Mayo	Línea de Finos	4	4	4	4	4	4.00	80%
Mayo	Zarandas	4	4	4	4	4	4.00	80%
Mayo	Zarandas	4	4	4	4	4	4.00	80%
Agosto	Chute móvil SAG1	3	4	4	4	4	3.80	76%
Agosto	Chute móvil SAG2	4	4	4	4	3	3.80	76%
Agosto	Ciclones	4	4	4	4	4	4.00	80%
Agosto	SUL	4	4	4	4	4	4.00	80%
Agosto	Trommel SAG 01	4	4	3	4	3	3.60	72%
Agosto	Trommel SAG 02	4	4	4	4	4	4.00	80%
	<b>PROMEDIO</b>	3.63	3.80	3.67	3.73	3.87	3.74	75%

En base a la tabla 15 se realizan la siguiente proyección en el que se espera un incremento del nivel de satisfacción del cliente en 10 puntos porcentuales ver figura 24.

**Figura 24**

Aumento de la satisfacción del cliente



Como se muestra en la figura 24 se presenta una proyección del aumento del nivel de satisfacción en 10%, considerando que actualmente, según la tabla 15, el nivel de satisfacción que logro la empresa es en promedio del 75%. Se espera aumentar de manera sostenida 10% en un periodo de 6 meses.

Los criterios incluyen:

- Número de la evaluación (N°).
- Periodo de la evaluación.
- Encuestado.
- OP (Operación).
- Servicio.
- Disponibilidad inmediata de recursos para la ejecución del servicio
- Estado de los equipos y herramientas para la ejecución del servicio.
- Capacidad de respuesta a cambios u observaciones.
- Tiempo de entrega del servicio.
- Actitud del personal hacia la seguridad.
- Conocimiento del personal respecto a estándares en seguridad.
- Nivel de conocimiento técnico del personal.
- Desempeño de la supervisión de operaciones.

- Desempeño de la supervisión de seguridad.
- Evaluación general respecto a necesidades y expectativas del servicio brindado.
- Promedio de las evaluaciones.
- Observaciones.

Cada criterio de evaluación del 6 al 15 tiene una escala de calificación que usa la escala Likert, por ejemplo, de 1 a 5, donde 1 es "Muy insatisfecho" y 5 es "Muy satisfecho". El promedio se calculará como el promedio de estas calificaciones.

### **3.3.5. Proyección Retorno de Inversión**

La implementación del nuevo modelo de mantenimiento basada en TPM tiene enormes repercusiones en el ámbito económico, por ejemplo, considerando los objetivos propuestos en el plan se espera que de este proyecto reduzca los costos de mantenimiento y aumente la productividad; considerando que la inversión inicial será de S/. 150000 soles realizaremos la siguiente evaluación económica con estos parámetros:

- Inversión en capacitación y consultoría TPM: S/.150,000.
- Ahorro anual por reducción 5% costos mantenimiento: S/.50,000.
- Ahorro anual por aumento 5% productividad: S/.30,000.

Donde:

- La inversión estimada es de S/.150,000, que incluye capacitación del personal interno y asesoría de consultores externos especialistas en TPM.
- Se espera una reducción anual de 5% en los costos de mantenimiento, que actualmente están en S/. 1 000,000 al año.

Una reducción de 5% equivale a S/.50,000 anuales en ahorros por menores costos de mantenimiento.

Esto se lograría con medidas como:

Optimización de rutinas de mantenimiento preventivo para machen la frecuencia a las necesidades reales.

Uso de mantenimiento predictivo y autónomo para detectar condiciones anormales tempranamente.

Análisis de modo de fallas y efectos para eliminar causas raíz de averías.

- Adicionalmente, se proyecta un aumento en productividad de la planta, que actualmente se traduce en S/.30,000. adicionales.
- En total, los ahorros y mayores ingresos suman S/.80,000 anuales.

Considerando la inversión de S/.150,000 ver anexo 1, el retorno se lograría el segundo año.

**Tabla 16**  
*Flujo de caja*

Año	Inversión en capacitación y consultoría	Ahorro costos mantenimiento	Mayor productividad	Flujo de Caja Anual
0	-S/.150,000	-	-	-S/.150,000
1	-	S/.50,000	S/.30,000	S/.80,000
2	-	S/.50,000	S/.30,000	S/.80,000
3	-	S/. 50,000	S/.30,000	S/.80,000
4	-	S/.50,000	S/.30,000	S/.80,000
5	-	S/. 50,000	S/.30,000	S/.80,000

### Cálculo de VAN

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1+r)^t}$$

Donde:

VAN: Valor actual neto.

$FC_t$ : flujo de caja en el tiempo t.

r: Tasa de descuento.

n: Número de periodos.

t: Periodo correspondiente.

$$VAN = \frac{-150000}{(1+0.1)^0} + \frac{80000}{(1+0.1)^1} + \frac{80000}{(1+0.1)^2} + \frac{80000}{(1+0.1)^3} + \frac{80000}{(1+0.1)^4} + \frac{80000}{(1+0.1)^5}$$

$$VAN = 153\,262.94$$

El VAN se ha calculado en 153,262.94. soles, esto significa que, el proyecto genera un valor de 153,262.94 soles por encima de la inversión inicial. Un VAN positivo indica que el proyecto es financieramente viable y que se espera que genere más dinero del que cuesta a lo largo del tiempo.

### Cálculo de TIR

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t}$$

Donde:

TIR: Tasa Interna de Retorno.

$FC_t$ : Flujo de caja en el tiempo t.

r: Tasa de descuento.

n: Número de periodos.

t: Periodo correspondiente.

$$0 = \frac{-150000}{(1 + TIR)^0} + \frac{80000}{(1 + TIR)^1} + \frac{80000}{(1 + TIR)^2} + \frac{80000}{(1 + TIR)^3} + \frac{80000}{(1 + TIR)^4} + \frac{80000}{(1 + TIR)^5}$$

$$TIR = 45.02\%$$

La TIR es del 45.02%. significa que el proyecto tiene una tasa de rendimiento anual del 45%, que es mayor que la tasa de descuento del 10%. Una TIR que excede la tasa de descuento sugiere que el proyecto es una buena inversión.

### Cálculo de Beneficio Costo

$$BC = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1 + r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1 + r)^t}}$$

Donde:

$B_t$ : Beneficios en el tiempo t.

$C_t$ : Costos en el tiempo t.

r: Tasa de descuento.

$$BC = \frac{\sum_{t=1}^5 \frac{80000}{(1+0.1)^t}}{150000}$$

$$BC = \frac{\frac{80000}{(1+0.1)^1} + \frac{80000}{(1+0.1)^2} + \frac{80000}{(1+0.1)^3} + \frac{80000}{(1+0.1)^4} + \frac{80000}{(1+0.1)^5}}{150000}$$

$$BC = 2.67$$

El BC de 2.67 indica que, por cada sol invertido, se espera recibir un retorno de 2.67 soles. El BC mayor a 1 es generalmente considerado positivo y justifica la inversión.

## CONCLUSIONES

1. Se identificó que el proceso operacional actual evidencia un cumplimiento parcial del cronograma y del nivel de servicio logístico. Esto impacta negativamente en la eficiencia del mantenimiento del área de molienda, generando demoras de hasta 5 días y falta de stock de recursos críticos. Se requiere estandarizar y mapear el proceso *end-to-end* para identificar y eliminar cuellos de botella.
2. Se analizó que la gestión logística de insumos y herramientas presenta un indicador de *fill rate* de *stock* deficiente, lo que se traduce en improvisaciones y falta de materiales durante la ejecución del mantenimiento. Esto se debe a una escasa planificación de requerimientos y ausencia de stocks de seguridad. Es necesario fortalecer este aspecto a través de una mejor coordinación entre las áreas de planeamiento, almacén y compras para asegurar la disponibilidad de recursos.
3. Se diseñó la propuesta de gestión de atención en el procedimiento operacional para la implementación de la metodología TPM, su aplicación involucró la reestructuración de la conformación de recursos humanos para controlar de manera más efectiva el alcance, tiempo, costos, recursos, riesgos y *stakeholders*.
4. Se determinó que el nivel de satisfacción del cliente tendrá una mejora del 75% a 85%. La propuesta de implementar indicadores formales de satisfacción del cliente e iniciativas de orientación al cliente interno permitirá reducir brechas y emprender planes de acción para mejorar la percepción y cubrir las expectativas apuntando a un 85% de satisfacción.
5. Se evaluó el retorno de inversión de la implementación de la propuesta de optimización de los procesos operacionales, logísticos y de ejecución del mantenimiento basados en la metodología TPM que resultó viable y rentable. Se estima un VAN de S/ 153,262 en 5 años, una TIR de 45% y una relación beneficio-costos de 2.67.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda a la Gerencia de Proyectos implementar un proceso estandarizado de gestión de la atención de paradas de planta, incorporando las buenas prácticas de gestión de proyectos y la metodología del TPM para mejorar la planificación, ejecución y control.
- Se recomienda al área de Logística fortalecer la gestión logística a través de una mejor coordinación entre planeamiento, almacén y compras, implementando un sistema de planificación de requerimientos y gestión de inventarios para asegurar la disponibilidad de recursos.
- Se recomienda al departamento de Mantenimiento desarrollar e implementar un plan formal de mantenimiento preventivo y predictivo, sustentado en un análisis de criticidad de los equipos y en data histórica de fallos, para optimizar la confiabilidad y disponibilidad de los activos.
- Se recomienda a la Gerencia de Operaciones institucionalizar un sistema de medición y gestión de la satisfacción del cliente, que permita identificar brechas y emprender planes de acción para elevar los niveles de satisfacción de 75% a 85%.
- Se recomienda a la gerencia de proyectos, contar con una hoja de ruta estructurada, recursos asignados, y gestión adaptable para maximizar las probabilidades de éxito, permitiendo capturar los beneficios económicos y operacionales proyectados con la optimización de procesos basada en TPM.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antomarioni, S., Lucantoni, L., Ciarapica, F. E., & Bevilacqua, M. (2023). A preliminary implementation of data-driven TPM: A real case study. En 16th WCEAM Proceedings (pp. 14–22). Springer International Publishing.
- Bhushan, K., Chattopadhyaya, S., Sharma, S., Sharma, K., Li, C., Zhang, Y., & Eldin, E. M. T. (2022). Analyzing reliability and maintainability of crawler dozer BD155 transmission failure using Markov method and total productive maintenance: A novel case study for improvement productivity. *Sustainability*, 14(21), 14534. <https://doi.org/10.3390/su142114534>
- Brauer, R. L. (2016). *Safety and Health for Engineers*. John Wiley & Sons.
- Canpos, J. (2000). *Sistemas de Mantenimiento*, Mexico: Limusa.
- Castillo, R., Prieto, A. T., & Zambrano, E. (2013). Elementos de la gestión de mantenimiento en las instituciones públicas de educación superior del Municipio de Cabimas. *Maracaibo: Revista Científica Electrónica de Ciencias Gerenciales*.
- Enrique, L. (2000). *Manual del Ingeniero de mantenimiento*. Mexico.
- Espiritu, H., & Junior, E. (2020). Metodología TPM aplicado en la industria de maquinaria pesada: una revisión de la literatura científica [Universidad Privada del Norte]. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3028458>
- Gálvez, A. C. (2003). *MANUAL DE MOLIENDA Y CLASIFICACIÓN*. CASAPALCA. Google. (2 de 11 de 2023). Google Maps. Obtenido de <https://www.google.com/maps>
- Harrington, H. J., Esseling, E. K., & Van Nimwegen, H. (2000). *Business Process Improvement Workbook: Documentation, Analysis, Design, and Management of Business Process Improvement*. McGraw-Hill.
- Imai, M. (1986). *Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success*. New York: McGraw-Hill.
- Leflar, J. A. (2001). *Practical TPM: Successful Strategies for Challenging Times*. Portland, OR: Productivity Press.
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. McGraw-Hill.
- Markets, I. (2018). *Gestión y Planificación del Mantenimiento Industrial*. Mexico: Grupo América Factorial S.A.C.

- Melendez Vargas, M. (2021). Implementación del (TPM) para la línea de la máquina extrusora continua para mejorar su efectividad en la empresa Tecnofil S.A. Lima, 2020. Universidad Tecnológica del Perú.
- Minero, P. (25 de 10 de 2023). Portal Minero. Obtenido de <https://www.portalminero.com/wp/>
- Montilla, C. A. (2019). Mantenimiento industrial y su administracion. Pereira: Universidad Tecnologica de Pereira.
- Mora, L. (2009). Mantenimiento. Planeación, ejecución y control. Mexico: Alfaomega Grupo Editor,
- Nakajima, S. (1988). Introduction to TPM: Total Productive Maintenance. Cambridge, MA: Productivity Press.
- Nakazaki, C., & Ysamo, J. (2021). Aplicación del mantenimiento productivo total TPM para mejorar la productividad de la empresa minera Antamina S.A - San Marcos, 2019. Universidad Señor de Sipán.
- Rondón, F. A. (2021). CONCEPTOS GENERALES EN LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL. Bucaramanga: Universidad Santo Tomás.
- Rupay Quispe, J. (2021). Planeamiento de parada de planta de una concentradora de cobre bajo el enfoque del Project Management Institute.
- Shirose, K. (1996). TPM for Workshop Leaders. Cambridge, MA: Productivity Press.
- Suzuki, T. (1994). TPM in Process Industries. Portland, OR: Productivity Press.
- Tavares, L. (2000). Administración moderna del mantenimiento. Brasil.
- Tavares, L. A. (Auditorias de mantenimiento). Alfaomega Grupo Editor. México.
- Teles, F., Pereira, V. N. C., Pereira, G. S., Teles, H. H. M., Almeida, M. das N., Albuquerque Neto, H. C., & Caselli, F. de T. R. (2023). Obstáculos e benefícios da implantação da Manutenção Produtiva Total (MPT): uma revisão de literatura. *Revista de Gestão e Secretariado*, 14(4), 6386–6399. <https://doi.org/10.7769/gesec.v14i4.2056>
- Vaz, E., Vieira De Sá, J. C., Santos, G., Correia, F., & Ávila, P. (2023). The value of TPM for Portuguese companies. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 29(1), 286–312. <https://doi.org/10.1108/jqme-12-2020-0121>
- Vittor, P., & Simon, D. (2020). Optimización De La Disponibilidad Mecánica De La Chancadora Metso C-110, Mediante La Aplicación De Un Plan De Mantenimiento Basado En La Metodología Tpm, Para La Compañía Minera

- Alpayana S.A., Huarochiri - 2020 [Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur]. <https://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/692>
- Willmott, P., & McCarthy, D. (2001). TPM: A Route to World-Class Performance. Butterworth-Heinemann.
- Wireman, T. (1990). Total Productive Maintenance. Industrial Press Inc.

## ANEXOS

### Anexo 1. Proforma



CONSULTING

### PROPUESTA

#### 1. Objetivo:

Implementación de los principios de **TPM** basado en sus **8 pilares**, incluye procedimientos, rutinas y planes de mantenimiento para el aumento de la productividad y calidad, así como el cumplimiento de los requisitos del Sistemas de Gestión de Calidad y de las normas ISO 9001 para diferentes empresas del sector metal mecánico.

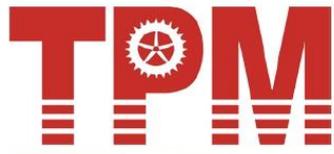
#### 2. Metodología:

Mediante los 8 pilares de **TPM** enfocado en los principios de manufactura esbelta.

#### 3. Entregable:

Mejora en los indicadores base de eficiencia en productividad.

Métricos TPM	Metas	Beneficios	Impacto financiero
<b>OEE</b> Efectividad Total Del Equipo	90% o más es considerado clase mundial	Las máquinas corren más rápido, más confiables y con mejor calidad	<ul style="list-style-type: none"><li>Mejora la productividad</li><li>Mejora la calidad</li><li>Aumenta la producción</li></ul>
<b>MTBF</b> Tiempo Medio Entre Fallas	Cuanto más largo sea, es mejor	Paros son menos frecuentes	<ul style="list-style-type: none"><li>Reduce tiempo muerto</li><li>Aumenta la producción</li></ul>
<b>MTTF</b> Tiempo Medio Para Reparaciones	Cuanto más corto sea, es mejor	Reparaciones son menos y más rápidas	<ul style="list-style-type: none"><li>Reduce horas de reparación</li><li>Reduce costo de refacciones</li></ul>



**CONSULTING**

---

**4. Beneficios:**

Mejora la eficiencia de los equipos

Mejor fiabilidad y disponibilidad de los equipos

Disminuir los costos de mantenimiento

Disminuir los costos de retrabajos y reprocesos

**5. inversión:**

\$ 39500 dólares americanos