

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**“PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO
PARA REDUCIR COSTOS EN EL ÁREA DE
MECANIZADO EN LA EMPRESA MAQPOWER
SAC, LIMA 2021”**

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Autores:

Jorge Ernesto Valdivia Figueroa
Yesenia Franchessca Balarezo Sanchez

Asesor:

Mg. Jimmy Frank Oblitas Cruz
<https://orcid.org/0000-0001-7652-6672>

Lima - Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Silvia Coronado Ramirez	25843951
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Sandro Rivera Valle	08135699
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Jose Augusto Estrada Palacios	09610926
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación lo dedico a mi familia que siempre está apoyándome en las decisiones que tomo y que confía en mí, en especial a mi madre que tiene un amor único e incondicional.

J. Valdivia

A mi esposo, el compañero que elegí para toda mi vida, por su apoyo incondicional a lo largo de todo este aprendizaje.

A mis adoradas hijas que son mi motor y motivo

A mis padres y hermanas, por sostenerme en momentos de declive

A mi mejor amigo Freddy Chávez, por su apoyo hasta que Dios lo permitió.

Y. Balarezo

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por brindarnos la oportunidad de seguir nuestros estudios, con salud y fortaleza para alcanzar nuestras metas, a nuestros profesores y a la universidad por la educación que nos ha brindado en todo este tiempo de aprendizaje y sobre todo donde ha imperado la perseverancia.

TABLA DE CONTENIDO

JURADO EVALUADOR	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	9
RESUMEN	10
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	11
1.1 Realidad problemática.....	11
1.1.1 Pregunta de investigación.....	13
1.2 Marco teórico.....	14
1.2.1 Marco histórico.....	14
1.2.2 Bases teóricas.....	16
1.2.3 Marco conceptual.....	23
1.3 Antecedentes de investigación.....	24
1.3.1 Antecedentes Internacionales.....	24
1.3.2 Antecedentes nacionales.....	26
1.4 Objetivos.....	29
1.4.1 Objetivo general.....	29
1.4.2 Objetivos específicos.....	29
1.5 Hipótesis.....	30
1.5.1 Hipótesis general.....	30
1.5.2 Hipótesis específicas.....	30
1.6 Justificación.....	30
1.6.1 Justificación Social.....	30
1.6.2 Justificación Teórica.....	30
1.6.3 Justificación Práctica.....	30
1.7 Matriz de consistencia.....	31
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	32
2.1 Tipo de investigación.....	32
2.1.1 Nivel de investigación.....	32
2.1.2 Diseño de investigación.....	33
2.2 Población y muestra.....	33
2.2.1 Población.....	33
2.2.2 Muestra.....	33
2.3 Técnicas e instrumentos.....	34
2.3.1 Instrumentos Utilizados.....	35
2.3.2 Validación de instrumentos por expertos.....	35
2.4 Procedimiento de recolección de datos.....	36
2.5 Análisis de datos.....	39

2.5.1	Triangulación de datos.....	39
2.6	Aspectos éticos	44
CAPÍTULO III. RESULTADOS		45
3.1	Información actual de la empresa.....	45
3.1.1	Generalidades de la empresa.....	45
3.2	Diagnóstico de la situación actual del mantenimiento en el área de mecanizado de la empresa MAQPOWER SAC.	49
3.2.1	Flujograma del proceso actual de mantenimiento	50
3.2.2	Resultados de análisis de triangulación de datos.....	52
3.2.3	Diagrama de Ishikawa.....	57
3.2.4	Matriz de priorización de causa raíz	59
3.2.5	Diagrama de Pareto	61
3.3	Desarrollo de la propuesta	63
3.3.1	Gantt de la propuesta del plan de mantenimiento	63
3.3.2	Formación de grupo de análisis.	64
3.3.3	Evaluación de criticidad de equipos.....	64
3.3.4	Descripción de contexto operacional	68
3.3.5	Sistemas y subsistemas de equipo a estudiar.....	68
3.3.6	Desarrollo del Análisis de modos y efectos de falla.....	70
3.3.7	Jerarquización de modos de fallos.....	75
3.3.8	Árbol lógico de decisión de tareas de mantenimiento	81
3.3.9	Plan de mantenimiento	85
3.3.10	Flujograma del proceso de mantenimiento propuesto.....	92
3.4	Evaluación económica de la propuesta	94
3.4.1	Consideraciones para el cálculo de costos.....	94
3.4.2	Costos por modos de fallo	96
3.4.3	Costos que evita la propuesta.....	115
3.4.4	Inversión de la propuesta.....	116
3.4.5	Análisis económico	117
3.5	Validación de hipótesis	119
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....		123
4.1	Discusión.....	123
4.1.1	Limitaciones	123
4.1.2	Interpretación comparativa.....	123
4.1.3	Implicancias.....	125
4.2	Conclusiones.....	126
REFERENCIAS.....		127
ANEXOS.....		131

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables	23
Tabla 2 Matriz de consistencia	31
Tabla 3 Técnicas e instrumentos utilizados	34
Tabla 4 Triangulación de datos.....	41
Tabla 5 Resultados de la triangulación de datos sobre el plan de mantenimiento.....	53
Tabla 6 Resultados de la triangulación de datos sobre los costos de mantenimiento.....	54
Tabla 7 Costos de mantenimiento.....	55
Tabla 8 Costos de servicios de mantenimiento.....	56
Tabla 9 Análisis de las posibles causas que conllevan a la problemática.....	58
Tabla 10 Cruce de información de las encuestas	59
Tabla 11 Valoración de fiabilidad según el coeficiente de alfa de cronbach.....	60
Tabla 12 Índice de coeficiente de cronbach.....	60
Tabla 13 Coeficiente de cronbach	61
Tabla 14 Frecuencias de las causas.....	61
Tabla 15 Causas principales de los sobrecostos de mantenimiento.....	62
Tabla 16 Tabla de calificación de criticidad	65
Tabla 17 Tabla de clasificación de equipos	66
Tabla 18 Índice de coeficiente de cronbach.....	67
Tabla 19 Coeficiente de cronbach.....	67
Tabla 20 Sistemas y subsistemas del equipo V40il LEADWELL	69
Tabla 21 Análisis de modos y efectos de falla.....	71
Tabla 22 Criterio de valores de severidad.....	76
Tabla 23 Criterio de valores de ocurrencia	77
Tabla 24 Criterio de valores de detección	78
Tabla 25 Jerarquización de modos de falla.....	79
Tabla 26 Hoja de decisión.....	83
Tabla 27 Programa de mantenimiento	86
Tabla 28 Calendario del programa de mantenimiento.....	88
Tabla 29 Datos de producción	94
Tabla 30 Costos de producción por hora	94
Tabla 31 ID AMEF 4-A-1.....	96
Tabla 32 ID AMEF 5-C-1.....	97
Tabla 33 ID AMEF 5-B-1.....	98
Tabla 34 ID AMEF 3-A-1.....	99
Tabla 35 ID AMEF 4-B-1.....	100

Tabla 36 ID AMEF 7-B-1.....	101
Tabla 37 ID AMEF 3-A-2.....	102
Tabla 38 ID AMEF 5-A-2.....	103
Tabla 39 ID AMEF 7-A-1.....	104
Tabla 40 ID AMEF 6-A-1.....	105
Tabla 41 ID AMEF 1-A-1.....	106
Tabla 42 ID AMEF 9-A-1.....	107
Tabla 43 ID AMEF 2-A-2.....	108
Tabla 44 ID AMEF 8-A-1.....	109
Tabla 45 ID AMEF 2-A-1.....	110
Tabla 46 ID AMEF 8-A-2.....	111
Tabla 47 ID AMEF 6-A-2.....	112
Tabla 48 ID AMEF 5-A-3.....	113
Tabla 49 ID AMEF 5-A-1.....	114
Tabla 50 Costos evitados por la propuesta	115
Tabla 51 Inversión para la elaboración del plan de mantenimiento	116
Tabla 52 Costo de capacitación al personal.....	116
Tabla 53 Costo de útiles de escritorio.....	117
Tabla 54 Costo total del presupuesto.....	117
Tabla 55 Flujo de caja.....	118
Tabla 56 Indicadores financieros	119
Tabla 57 Tabla sintetizada por modo de falla.....	120
Tabla 58 Costos evitados por mes	121
Tabla 59 Prueba t para medias de dos muestras emparejadas	121

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i>	Índices financieros en mantenimiento	19
<i>Figura 2.</i>	Procedimiento de recolección de datos.....	36
<i>Figura 3.</i>	Organigrama	47
<i>Figura 4.</i>	Diagrama de operación de procesos	48
<i>Figura 5.</i>	Flujograma actual del mantenimiento.....	51
<i>Figura 6.</i>	Distribución de costos de mantenimiento	55
<i>Figura 7.</i>	Diagrama de Ishikawa.....	57
<i>Figura 8.</i>	Diagrama de Pareto.....	62
<i>Figura 9.</i>	Diagrama Gantt.....	63
<i>Figura 10.</i>	CM CNC V-40il LEADWELL.....	70
<i>Figura 11.</i>	Árbol Lógico de Decisión.....	82
<i>Figura 12.</i>	Ficha de orden de mantenimiento	89
<i>Figura 13.</i>	Check List de equipo	90
<i>Figura 14.</i>	Indicadores propuestos.....	91
<i>Figura 15.</i>	Flujograma propuesto de mantenimiento.....	93
<i>Figura 16.</i>	Campana de gauss.....	122

RESUMEN

En la presente investigación titulada “Propuesta de un plan de mantenimiento para reducir costos en el área de mecanizado en la empresa Maqpower S.A.C” se tuvo como objetivo en la investigación determinar en qué medida la propuesta de un plan de mantenimiento reduce dichos costos; para la realización de este plan de mantenimiento se hizo uso de herramientas que entrega el proceso de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), por sus siglas en inglés, distinguiendo el funcionamiento, fallos, modos de fallos, efectos de fallos y criticidad. Metodológicamente esta investigación se enmarco en el tipo aplicada con un enfoque mixto, nivel descriptivo propositivo, con un diseño de investigación acción. La población está constituida por todos los procesos del área de mantenimiento, siendo la muestra específica el proceso de mantenimiento en mecanizado. En relación con las técnicas e instrumentos utilizados fueron las entrevistas y encuestas para ambas variables. En los resultados de la investigación el diagnóstico del problema fue validado mediante triangulación de datos y utilizando instrumentos de ingeniería como Ishikawa, Matriz de priorización de causa – raíz y diagrama de Pareto para determinar las causas de la problemática. En conclusión, la propuesta planteada, demuestra que, a partir de nuevas acciones otorgadas por el plan de mantenimiento propuesto se consigue un costo evitado total de S/.78,948.15 soles, tomando en cuenta todos los modos de fallo, demostrando en el análisis económico los siguientes indicadores: un VAN de S/.37,764.46 soles, una tasa de retorno de inversión (TIR) de 158% y un costo beneficio de 5.86, lo cual se interpreta como un proyecto viable para ser implementado.

Palabras claves: plan de mantenimiento, costos, Mantenimiento centrado en la Confiabilidad

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad problemática

La minería se ha venido expandiendo a lo largo de los años, entrando en una fase expansiva con breves intervalos, con aproximadamente veinte años de crecimiento continuo.

El número de países con minería ha aumentado de manera notoria y cada vez se desarrolla esta actividad en regiones más remotas: Asia Central y África Occidental, desde Alaska hasta la Patagonia en las Américas, etc. (De Echave, 2012).

El Perú cuenta con una antigua tradición minera que ha sabido mantener y forjar gracias a la presencia de reconocidas empresas líderes a nivel internacional.

El Perú es productor de diversos metales como: oro, plata, cobre, plomo, zinc, hierro, estaño, molibdeno, telurio, entre otros; ubicándolo entre los primeros productores a nivel mundial y regional, lo cual refleja que el Perú en la minería cuenta con abundancia de recursos, capacidad productiva y una estabilidad de políticas económicas (Ministerio de Energías y Minas, 2020).

Desde años atrás la minería peruana ha contribuido al crecimiento económico del país y ha sido una fuente importante de ingresos fiscales. Sin embargo, existen generaciones de conflictos e impactos ambientales que mantienen en preocupación a comunidades campesinas y a la sociedad en general (Lira y Aristondo, 2007).

Según el Boletín Estadístico Minero (2020) el subsector minero sigue siendo el principal generador de divisas, representando el 61% del comercio exterior peruano, mostrando así una importante recuperación en el último mes de análisis. Con lo que respecta al 2020, las exportaciones de cobre crecieron un 31% en junio, en comparación a mayo; las de oro, un 86%; y las de zinc, un 136%; justamente, estos tres metales representan más del 50% de las exportaciones metálicas del país.

Una de las primeras etapas que se da en la actividad minera es la exploración; esta actividad está dirigida a demostrar las dimensiones, posición, características mineralógicas, reservas y valores de los yacimientos minerales (Reglamento de Protección Ambiental para las Actividades de la Exploración Minera, 2020).

Esta actividad es importante ya que es la base de la industria minera que permite la localización de los recursos mineros a explotar, es aquí donde las máquinas de perforación diamantina cumplen este rol.

Desde inicios de los años 1860 estos equipos han sido desarrollados para una alta performance en recuperación de muestras, con la operación conjunta de productos diamantados. A diferencia de otros equipos de perforación rotaria, estos equipos tienen alta velocidad de rotación. Típicamente un equipo Diamond Drill opera a 1000 R.P.M. o más, comparado con una perforadora rotaria normal, que opera de 60 - 120 R.P.M. o una perforadora Down the hole de aproximadamente 5 – 20 R.P.M (Contreras, 2019).

Actualmente existen fabricantes de maquinaria de Perforación diamantina que son transnacionales y nacionales, entre estos últimos fabricantes esta MAQPOWER una empresa PYME con diez años en el mercado de fabricación de maquinaria para minería, el cual hoy por hoy se enfrenta a un mercado muy competitivo como es la minería, por ello requiere obtener una mejor productividad en su proceso de fabricación reduciendo costos operativos en el área de mecanizado, en donde actualmente se incurre en sobrecostos por mermas producidas en la producción, retrasos en las entregas, tiempos ociosos de los trabajadores e indisponibilidad de los equipos.

Es por ello que se planteó una propuesta de un plan de mantenimiento para reducir costos en el área de mecanizado de dicha empresa, usando herramientas que ayudaran a estructurar el mantenimiento y definir de qué manera correcta es más conveniente realizarlo.

1.1.1 Pregunta de investigación

1.1.1.1 Problema General

¿En qué medida la propuesta de un plan de mantenimiento reduce los costos en el área de mecanizado de la empresa MAQPOWER SAC?

1.1.1.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es el diagnóstico de la situación actual del mantenimiento en el área de mecanizado de la empresa MAQPOWER SAC?
- ¿De qué forma se podría desarrollar la propuesta de un plan de mantenimiento para reducir los costos en el área de mecanizado de la empresa MAQPOWER SAC?

1.2 Marco teórico

1.2.1 Marco histórico

1.2.1.1 Mantenimiento

García (2012) sustentó que al mantenimiento se le puede estimar tan antiguo como la existencia de la humanidad. Por hechos históricos se conoció que el hombre desde sus inicios practicaba el mantenimiento, desde utensilios antiguos hasta las herramientas de su trabajo diario; aunque no de forma ordenada y lógica, sino forzado por las necesidades de supervivencia, usando cada día los medios y los recursos más efectivos para alcanzar sus fines.

Según Lourival (2007) la historia del mantenimiento siguió al desarrollo técnico industrial de la humanidad. Con la mecanización de las industrias, a fines del siglo XIX, surgió la necesidad de las primeras reparaciones. Hasta 1914, el mantenimiento no tenía importancia principal sino más bien secundaria y era ejecutado por el mismo grupo de operación.

Después de la segunda guerra mundial, posiblemente generado por avances en sectores industriales fabriles para la industria armamentística y por la evolución del mundo de aviación, el mantenimiento se encontró en una etapa denominada segunda generación. En esta etapa los objetivos se enfocaron en las disponibilidades operacionales de los medios de producción, aviones, barcos y ferrocarriles. De igual manera otro objetivo que se estableció fue el que los equipos duren lo más posible en condiciones operativas idóneas no ocasionando costos altos o sobrecostos (González, 2005).

En la década del ochenta la exigencia del consumidor era mayor en base a una mejor calidad de bienes y servicios, lo que aportó a un mejor posicionamiento del mantenimiento. Esta consecuencia fue de tal manera que el año 1993 este reconocimiento es aceptado en la norma ISO 9000, cuando se incluye la función de mantenimiento en el proceso de certificación, al ofrecer en la organización un mismo nivel a mantenimiento que al de operación. De igual manera este hecho fue reconocido por la ONU en 1995, en la búsqueda de optimizar la calidad,

la confiabilidad operacional, los costos de producción (servicio), la oportunidad, la garantía de seguridad del trabajo y de la preservación del medio ambiente (Mora, 2009).

1.2.1.2 Gestión de mantenimiento

La gestión de mantenimiento es esencial para la eficiencia de la operación de los activos en una organización, por medio de la conservación y preservación de estos mismos. La gestión de las actividades, como son los de recursos humanos, riesgos, costos, comunicación, evaluación de personal, que permitan un buen desempeño en el proceso administrativo de mantenimiento, componen las claves para hallar las actividades que realmente funcionan, así como las que deban eliminarse o mejorarse. (Verena y Peña, 2016).

Mora (2009) sustentó que luego de un proceso evolutivo del mantenimiento aparece la gestión de activos como un sistema de administración (operación, ingeniería de fábricas o de confiabilidad), que permite interactuar con todas las áreas de una organización para trabajar de una forma integral, con el fin de optimizar todos los activos que se utilizan para lograr los objetivos de la empresa, de manera que se facilita los procesos de producción y de mercadeo con sistemas informáticos que trabajan con información en tiempo real.

Según Mugaburu, Navarro y Pastor (1997) La gestión integral de mantenimiento se basa en proceder en aquellos temas de importancia para el buen desarrollo de la empresa y que, de una forma u otra, se relacionan con el mantenimiento de las instalaciones. Esto se trata por consiguiente que la gestión de mantenimiento se debe manejar de una manera activa en base a los objetivos de la organización y no enfocarse como tradicionalmente lo ha venido haciendo en solo los objetivos de mantenimiento, disponibilidad y costes, asumiendo así una postura pasiva.

1.2.2 Bases teóricas

1.2.2.1 Mantenimiento Preventivo

Según Montilla (2016) este sistema de mantenimiento tiene como objetivo primordial el de precaver el acontecimiento de fallas en los procesos productivos, con un sustento en la ejecución de tareas básicas como el de observar, inspeccionar, calibrar, ajustar, lubricar, reparar, entre otras; a unas frecuencias predeterminadas de acuerdo con los procesos productivos que se maneje. Esta ejecución de tareas básicas puede derivar a que se requiera la realización de tareas programadas adicionales, como mantenimiento correctivo programado, modificaciones, overhaul, etc.

Para García (2012) el mantenimiento preventivo tiene como finalidad prevenir fallas y paros imprevistos, realizando una serie de actividades programadas a equipos o maquinarias en funcionamiento, lo cual permitirán la continuidad eficiente y segura de las operaciones, de manera más económica para la empresa.

1.2.2.2 Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo se ejecuta una vez que haya ocurrido una avería.

Se deberá considerar la relevancia de la avería para determinar si se efectuara de inmediato el mantenimiento o si se puede esperar una parada programada del equipo o instalación para realizar dicho mantenimiento. El enfoque del mantenimiento correctivo es reactivo, puesto que obliga actuar ante un problema o emergencia no prevista. Esto quiere decir que los responsables esperan que la maquina presente una falla para acudir a solucionar el problema bajo una acción correctiva. No es recomendable el uso de este enfoque para componentes de sistemas críticos, además que incurre en riesgos y costos altos (a largo plazo), hoy en día el enfoque del mantenimiento correctivo es el más utilizado de los tres enfoques del mantenimiento (Escaño, García y Nuevo, 2019).

1.2.2.3 Mantenimiento centrado en la Confiabilidad (RCM)

Según Moubray (2004) “Mantenimiento Centrado en Confiabilidad: un proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual” (p.7).

La norma SAE – JA 1011 (2009) describe al RCM como una filosofía de gestión de mantenimiento, en la cual el trabajo de un equipo de varias disciplinas, se encarga de optimizar la Confiabilidad Operacional de un sistema productivo, la cual funciona bajo condiciones de operaciones definidas, implantando actividades más efectivas en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema, teniendo en cuenta los posibles efectos que causan los modos de fallas de estos activos, en la seguridad, el ambiente y las funciones operacionales.

Esta norma SAE – JA 1011 (2009) también establece criterios que debería cumplir una metodología para poder llamarse RCM; de esta manera un proceso de RCM deberá responder las siguientes preguntas:

1. ¿Cuáles son las funciones del activo en su contexto operativo?
2. ¿De qué maneras puede fallar al cumplir sus funciones?
3. ¿Qué causa cada falla funcional?
4. ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla funcional?
5. ¿De qué manera afecta cada falla?
6. ¿Qué se debe hacer para predecir o prevenir cada falla?
7. ¿Qué hacer cuando una tarea proactiva no está disponible?

El RCM como un enfoque sistemático diseña planes y programas para aumentar la confiabilidad y disminuir costos y riesgos, para lo cual combina las técnicas del mantenimiento autónomo, mantenimiento correctivo, mantenimiento preventivo y mantenimiento basado en condición, haciendo uso de estrategias justificadas de manera técnica y económica. La

información que se almacena en las ordenes de trabajo del RCM minimiza los efectos de rotación de personal y de falta de experiencia (García, 2012).

1.2.2.4 Programación del Mantenimiento

Se entiende por Programación en Mantenimiento al conjunto de acciones tendientes a organizar la ejecución de un conjunto de tareas en un periodo de tiempo generalmente preestablecido distribuyéndolas, con el fin de racionalizar los recursos (humanos, repuestos, herramientas). Para efectuar la programación en Mantenimiento es necesario tener en cuenta 3 variables: el tiempo programable para mantenimiento TPPM, la Carga de trabajo de Mantenimiento CTM y los Recursos (Capacidad del Departamento de Mantenimiento) (Montilla, 2016, p. 85).

1.2.2.5 Gestión de Costos

Para González (2005) es imprescindible que un jefe de mantenimiento conozca el coste integral de su actividad, lo que conlleva no solo el prorrateo al coste de producción, sino también al coste variable, fijo y al coste por fallos, siendo esto un resultado general de lo bueno o malo con que se lleva la gestión.

Dounce (2014) sustentó que los costos de tiempo de paro debido a un funcionamiento fuera de calidad de una máquina, equipo, instalación o construcción son responsabilidad del departamento de conservación (mantenimiento) y se tiene en cuenta en estos costos la producción perdida, el desperdicio, la reelaboración y el deterioro del equipo, instalación o construcción.

Según Lourival (2007) conceptualmente, los índices de gestión financiera en el mantenimiento deberían englobar cinco tópicos, cada uno de estos conformados por tres subcomponentes como se aprecia en la siguiente figura:

<i>Personal</i>	<i>directos</i>	<i>salarios y comisiones</i>
	<i>indirectos</i>	<i>recargos sociales y beneficios (transporte, alimentación, seguro médico, seguro odontológico, habitación, recreación, deportes, auxilio de capacitación, etc.)</i>
	<i>administrativos</i>	<i>rateo de los gastos de las áreas de recursos humanos y capacitación, en función de la cantidad de empleados del órgano de mantenimiento.</i>
<i>Material</i>	<i>directos</i>	<i>costo de reposición de material</i>
	<i>indirectos</i>	<i>capital inmovilizado, costo de energía eléctrica, almacenaje (instalaciones), agua y personal del depósito.</i>
	<i>administrativos</i>	<i>rateo de los gastos de las áreas de compra y administración de material, en función del tiempo de ocupación del personal para la atención al área de mantenimiento.</i>
<i>Contratación</i>	<i>directos</i>	<i>costos de los contratos (permanentes y eventuales)</i>
	<i>indirectos</i>	<i>servicios y recursos utilizados por terceros y costeados por la empresa (transporte, alimentación, instalaciones, etc.)</i>
	<i>administrativos</i>	<i>rateo de los gastos de las áreas de administración de contratos, financiera y contable, en función de la implicación con los contratos del área de mantenimiento.</i>
<i>Depreciación</i>	<i>directos</i>	<i>costo de reposición</i>
	<i>indirectos</i>	<i>capital inmovilizado</i>
	<i>administrativos</i>	<i>rateo de los gastos de las áreas de contabilidad, control de patrimonio y compra en el levantamiento, acompañamiento y adquisición de máquinas y herramientas para el área de mantenimiento.</i>
<i>Perdida de Facturación</i>	<i>directos</i>	<i>pérdida de producción</i>
	<i>indirectos</i>	<i>pérdida de materia prima, pérdida de calidad, devolución, re - procesos</i>
	<i>administrativos</i>	<i>rateo de los gastos de las áreas de control de calidad, ventas, marketing y jurídica en función de la implicación debida a mantenimiento.</i>

Figura 1. Índices financieros en mantenimiento

Tomado de *Administración moderna de mantenimiento*, por Lourival, 2007, Brasilia, Brasil: Novo Pol.

1.2.2.6 Indicadores de Mantenimiento

Según Gonzales (2010) la Fiabilidad puede ser medida como la “media de los tiempos de buen funcionamiento” (que puede ser evaluada por kilómetros, horas de vuelo, piezas producidas, etc.) está íntimamente relacionada con la “media de tiempo para revisar o para reparar” (p. 50).

Mean time Between Failures (MTBF) o tiempo medio entre fallas, indica la probabilidad del tiempo que transcurre entre el arranque de un equipo y la aparición de una falla, siendo el tiempo promedio transcurrido hasta la llegada de una falla. Cuan mayor sea el valor del MTBF mayor será la confiabilidad de los equipos, he ahí la importancia para su estudio en la confiabilidad (García, 2012).

$$\text{MTBF} =$$

$$\frac{\text{Tiempo total} - \text{Tiempos de reparación} - \text{Tiempos muertos de inutilización}}{\text{Número de paradas}}$$

Según Gonzales (2010) el MTTR (Mean Time To Repair) o tiempo medio para reparar, es el indicador que mide la duración promedio de una reparación.

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Suma de tiempos en reparación}}{\text{Cantidad de fallas}}$$

La Disponibilidad se puede entender como el porcentaje de tiempo que el sistema o equipo está disponible para la operación. El tiempo que esta fuera de servicio o indisponible debe considerar toda paralización por mantenimiento sea correctivo o preventivo, desde el momento en que queda fuera de servicio hasta que el equipo vuelva a condiciones de volver operar y sea entregado a operaciones o producción (Gonzales, 2010).

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo total} - \text{Tiempo fuera de servicio}}{\text{Tiempo total}}$$

$$D = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR}$$

Los indicadores elaborados son aquellos que normalmente interrelacionan dos ratios o valores, aportando una visión complementaria que califica diversos aspectos de la gestión del mantenimiento. Otros autores los denominan como Indicadores de Gestión (Gonzales, 2010).

Estos indicadores son:

- Eficacia global del departamento.
- Avance tecnológico y utilización de recursos.
- Gestión económica.
- Calidad y desarrollo recursos humanos.

1.2.2.7 Criticidad de equipos

Según Del Castillo (2009) el análisis de criticidad es conocido como una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones de manera acertada y efectiva, enfocando el esfuerzo y los recursos hacia áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional.

1.2.2.8 Análisis de modos y efecto de fallas

Según Aguilar, Torres y Jiménez (2010) el análisis de modos y efecto de falla consiste en las siguientes etapas: Definición de la intención de diseño, análisis funcional, identificación de modos de falla, efectos de la falla, criticidad o jerarquización del riesgo y recomendaciones.

Para García (2012) el análisis de modo y efectos de falla es una metodología que permite determinar los modos de falla de los componentes de un sistema, el impacto y la frecuencia con que se presentan.

1.2.2.9 Centro de mecanizado

Según Groover (1997) un centro de mecanizado es una máquina altamente automatizada que es capaz de efectuar múltiples operaciones de maquinado en una instalación bajo CNC (Control Numérico Computacional) con limitada intervención humana. Las operaciones típicas son aquellas que usan herramientas de corte.

Para Ginjaume Pujadas & Torre Crespo (2005) el centro de mecanizado es una máquina herramienta automática con la capacidad de ejecutar la combinación de varios procesos de fabricación convencionales tales como torneado, fresado, taladrado, rectificado, etc.; en una sola máquina y sin que haya la necesidad de que el operario intervenga ya sea para los cambios de herramienta o para hacer movimientos de la pieza a mecanizar, lo que genera una disminución en los riesgos de accidentalidad de los operarios y una disminución considerable en los tiempos de mecanizado.

1.2.2.10 Control numérico computarizado (CNC)

El control numérico es un tipo de automatización programable. Fue creado para adaptar las variaciones en la configuración de los productos. Se aplica principalmente en volúmenes de producción bajos y medios. La fabricación de partes metálicas es ejemplo de la automatización programable por control numérico. En este sistema el equipo de procesado se controla a través de números, letras y otros símbolos, los cuales están codificados en un formato apropiado para definir un programa de instrucciones para desarrollar una tarea específica. El control numérico es idóneo para procesos de bajo a medianos volúmenes de producción ya que tiene mayor facilidad de escribir nuevos programas que realizar cambios en los equipos de procesado (Gonzales, 2004).

1.2.3 Marco conceptual

1.2.3.1 Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de Variables

VARIABLES	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador
Variable Independiente: Plan de Mantenimiento Preventivo	El mantenimiento preventivo tiene como finalidad prevenir fallas y paros imprevistos, realizando una serie de actividades programadas a equipos o maquinarias en funcionamiento, lo cual permitirá la continuidad eficiente y segura de las operaciones, de manera más económica para la empresa (García, 2012).	Conjunto de planes y programas destinados al cumplimiento de trabajos de mantenimiento para las máquinas de una planta o instalación, con el objetivo de administrar y llevar un control del área de mantenimiento.	Plan de mantenimiento preventivo	Cumplimiento del plan de mantenimiento (%)
Variable Dependiente: Costos de mantenimiento	Los costos de mantenimiento son originarios de la operación de planta, específicamente en la conservación de los equipos, por lo tanto, estos costos son costos de fabricación que influyen en la determinación del costo unitario de producto final (García, 2012).	Costos que incurre el área de mantenimiento para cubrir las necesidades del área y dar soporte al desempeño de la gestión de mantenimiento.	Costos de mantención	- Costo de servicio de mantenimiento (S/.)

1.3 Antecedentes de investigación

1.3.1 Antecedentes Internacionales

En la tesis titulada Plan de mantenimiento para tornos CNC de Renault Cormecánica, en la ciudad de Viña del Mar – Chile (2017) se desarrolló en base:

A la problemática del área de mantenimiento de la empresa; puesto que no se contaba con un mantenimiento específico para el torno Hyundai Wia L210, y lo que se hacía era aplicar el mismo tipo de mantenimiento de otros tornos CNC más antiguos y de diferentes modelos, lo cual tuvo como consecuencias reiteradas fallas, pese a que solo tenía 5 años de antigüedad. Para la elaboración del plan de mantenimiento se utilizó, herramientas como el diagrama Jack–Knife, este diagrama brinda información sobre las frecuencias de fallas y tiempo medio de reparación, también se utilizó herramientas como Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), para la identificación y planificación tanto de las tareas como actividades para la realización del plan de mantenimiento preventivo y el Análisis de Modos de Fallas y Efectos (FMEA). El presupuesto anual para la implementación del plan de mantenimiento fue de 112.86 UF (1UF = \$ 26,900), este plan arrojó valores positivos en el impacto en la productividad y facturación anual, debido a que las pérdidas supuestas serían un 4.71% menor a las pérdidas promedio (Contreras, 2017).

En la tesis titulada Propuesta de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para una máquina insertadora de cepillos técnicos, en la ciudad de Viña del Mar – Chile (2018) tuvo como objetivo:

Proponer un plan de mantenimiento para la reducción de costos utilizando como herramientas el Mantenimiento Centrado en la confiabilidad, Análisis FMECA, y el Análisis SIPOC, para hacer frente al problema que residió en la falta de políticas e incorporación de planes de mantenimiento, se desarrolló una investigación no experimental teniendo como informantes al jefe de mantenimiento, jefe de producción,

supervisor de producción, mecánicos eléctricos y operarios. Las conclusiones de esta investigación nos indican que después del análisis técnico- económico, comparando los costos del plan de mantenimiento de la empresa frente a la propuesta del RCM, se obtuvo un costo beneficio del RCM \$86,560.99, lo que representa el 88% en la disminución de los costos anuales de mantenimiento (Riquelme, 2018).

En la tesis titulada Diseñar un programa de mantenimiento preventivo en el área de producción de una empresa metalmeccánica, en la ciudad de Guayaquil – Ecuador (2018), el objetivo del estudio fue:

Incrementar los índices de productividad en la producción de aceros planos en la Industria Metalmeccánica, se desarrolló una investigación con diseño mixto de nivel descriptivo, se utilizó herramientas para el desarrollo de la investigación como Pareto e Ishikawa. Las conclusiones del estudio nos indican que la propuesta es viable, con una inversión de \$ 67,799.59, el VAN es de \$ 64,528.36 y el TIR de 56%, con un costo beneficio de 1.34 lo que indica que por cada dólar invertido hay una ganancia de 0.34 centavos (Mejía, 2018).

En la tesis titulada Implementación de la metodología de Weibull para el diseño de un plan de mantenimiento preventivo en las máquinas industriales de la empresa Carrocerías Jácome, en la ciudad de Ambato – Ecuador, tuvo como objetivo:

Establecer un plan de mantenimiento preventivo para las maquinas industriales de la empresa Carrocerías Jácome mediante la metodología Weibull, para esta investigación se utilizaron herramientas de ingeniería como el Análisis de Modos y Efectos de Fallas, Matriz de criticidad, además de la metodología Weibull, se desarrolló una investigación pre – experimental con una población de 40 máquinas con una muestra representativa de 2 máquinas (plegadora y cortadora). Las conclusiones de esta investigación nos

indican que la disponibilidad obtuvo un valor de 99.21% en la plegadora y de 99.01% en la cortadora (Quispe, 2020).

En la tesis titulada Propuesta de implementación de un plan de mantenimiento preventivo en el taller de metalmecánica de la empresa Ensamblajes S.A, en la ciudad de Guayaquil – Ecuador, siendo el objetivo:

La Propuesta de implementación de un plan de mantenimiento para minimizar las paras en los procesos y prolongar la vida útil de las máquinas, se desarrolló una investigación no experimental, con herramientas de ingeniería como Pareto e Ishikawa. Las conclusiones de esta investigación nos indican la reducción de los costos que se generan las paras y por mantenimientos correctivos, las perdidas por para de máquinas y tiempos improductivos ascendían a \$ 11,404.8 anuales, la inversión para el plan de mantenimiento fue de \$ 6,685 anual (Gómez, 2019).

1.3.2 Antecedentes nacionales

En la tesis titulada Propuesta de Implementación de un Plan de Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (RCM) para Reducir los Costos Operativos de una Empresa Manufacturera de Calzado, en la ciudad de Trujillo (2020), el diagnóstico del investigador fue:

Que los altos costos operativos se estuvieron dando por la falta de mantenimiento preventivo en las máquinas de producción, para dar solución a ese problema, el investigador desarrollo un plan de mantenimiento preventivo centrado en la fiabilidad (RCM), e hizo uso de herramientas como Análisis de criticidad y Análisis de modos y efectos de fallas. La aplicación de la metodología utilizada genero mejora en la disponibilidad de maquinarias de la empresa, como fueron en la pre moldeadora de talón que paso de un 95.71 % de disponibilidad a 96.99%, armadora de lados que paso de una disponibilidad de 97.03% a 97.66% y la armadora de puntas que paso de una disponibilidad de 95.71% a 96.15%. Según el análisis económico y financiero para evaluar la factibilidad económica de la implementación de esta propuesta de mejora, se

obtuvo un valor actual neto (VAN) de 12,238.81 soles, una tasa de retorno (TIR) de 36% (Calderón, 2020).

En la tesis titulada Plan de mantenimiento preventivo para aumentar los indicadores operacionales y reducción de costos de mantenimiento de las máquinas de la Municipalidad del distrito de tambo grande – Piura, en la ciudad de Piura, el objetivo del estudio fue:

La reducción de costos y el aumento de los indicadores operacionales de la Municipalidad de tambo grande a través de un Plan de mantenimiento, desarrollo una investigación pre experimental con una población de estudio que fueron 21 máquinas de las cuales 10 se tomaron como muestra por tener el mayor número de fallas. Las conclusiones de esta investigación nos indican que hubo un aumento tanto en la disponibilidad como en la confiabilidad de un 14% y 11% respectivamente, con el plan de mantenimiento se logró que el 50% de las maquinas tuvieran criticidad media y el otro 50% criticidad baja. También se produjo un ahorro de S/. 92,277.00 (Gallardo, 2017).

En la tesis titulada Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo en el área de envasado, en la empresa ANYPSA CORPORATION S.A. 2017 en la ciudad de Lima, se estudió:

La problemática en el área de envasado por las paradas imprevistas en el proceso productivo, y como propuesta de mejora se planteó la implementación de un plan de mantenimiento preventivo en las máquinas, desarrollando estrategias y nuevos procedimientos. Con la implementación del Plan de mantenimiento se logró que el Tiempo promedio entre fallas (MTBF) que inicialmente era de 32.7 horas pase a 95 horas, aumentando la confiabilidad. Mientras que el Tiempo promedio de reparación (MTTR) paso de 4.8 horas a 2.5 horas, lo cual indica una mejor mantenibilidad y en consecuencia menos horas paralizadas. La disponibilidad aumentó en un 10.3%,

pasando de 87.1 % a 97.4 % en promedio. Con la implementación del plan de mantenimiento preventivo en el área de envasado para disminuir las paradas imprevistas de los equipos, para ello se apoyó del personal con experiencia y de los manuales técnicos de cada una de las envasadoras y de acuerdo a ello se fijaron la frecuencia de mantenimiento como quincenal, mensual y semestral, siendo el presupuesto para la ejecución dicho plan de mantenimiento de S/. 17,535 (Cruz, 2017).

En la tesis titulada Propuesta de mejora en la gestión del área de mantenimiento, para la optimización del desempeño de la empresa MANFER S.R.L. Contratistas Generales 2016, en la ciudad de Arequipa, el objetivo fue:

Optimizar el desempeño de la empresa a través de una propuesta de Gestión de mantenimiento, con ello se busca corregir la problemática de los planes de mantenimiento tanto correctivo como preventivo, para ello se utilizaron herramientas de ingeniería como Diagrama de Ishikawa, Las 5M, y el Mantenimiento Productivo Total (TPM), la investigación que se desarrolló fue no experimental, con enfoque mixto, con informantes de ligados directa o indirectamente al área de mantenimiento. Las conclusiones de esta investigación nos indican el aumento en la disponibilidad de los equipos de un 68.3% a un 78.5%, lo cual disminuiría los costos de alquiler en S/.124,877.80 en el periodo de dos años, en cuanto al análisis de costo beneficio de la propuesta tiene una inversión de S/.73,700 soles y un ahorro de S/.198,577.80 en un periodo de 2 años (Villegas, 2016).

En la tesis titulada Propuesta de un programa maestro de mantenimiento preventivo para reducir los costos operativos en la empresa Productos Industriales del Cuero S.A.C., en la ciudad de Trujillo, se utilizó herramientas de ingeniería como:

Las 5S, y el Análisis de criticidad de los equipos, con el objetivo de reducir los costos operativos mediante un Propuesta de un programa maestro de mantenimiento, para

hacer frente a la problemática de la falta de un programa de mantenimiento preventivo, es por ello que se desarrolló una investigación de tipo aplicada de diseño pre – experimental. Las conclusiones de esta investigación nos indican que, con la implementación del mantenimiento preventivo, la eficiencia aumento a un 96%, mientras que la disponibilidad se incrementó en un 1.57%, así mismo se mejoró el tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo medio para reparar (MTTR) en 80 minutos y 7 minutos respectivamente, y como consecuencia el incremento de la confiabilidad y disponibilidad, también se vio una reducción en los costos de energía en un S/.4,692.80, y el costo de mantenimiento disminuyo en un S/. 2,476.66 (Escudero, 2016).

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

- Determinar en qué medida la propuesta del plan de mantenimiento reduce los costos en el área de mecanizado en la empresa MAQPOWER SAC.

1.4.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar la situación actual del mantenimiento en el área de mecanizado de la empresa MAQPOWER SAC.
- Desarrollar una propuesta de un plan de mantenimiento para el área de mecanizado.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

La propuesta del plan de mantenimiento reduce los costos en el área de mecanizado de la empresa MAQPOWER SAC.

1.5.2 Hipótesis específicas

- El diagnóstico de la situación actual del mantenimiento en mecanizado muestra deficiencias que conlleva a sobrecostos en el área.
- La propuesta del plan de mantenimiento se desarrollará bajo una metodología llamada RCM o mantenimiento centrado en confiabilidad.

1.6 Justificación

Las razones fundamentales para realizar la presente investigación se basan en:

1.6.1 Justificación Social

Esta investigación ha sido realizada en una empresa PYME, donde se busca mejorar la manera de trabajo y ser más productivo, sentando así las bases para hacer aplicadas en empresas de la misma envergadura, así las PYMES tendrán mejores oportunidades y ayudara a fomentar más empleo.

1.6.2 Justificación Teórica

En esta investigación se trata la teoría de un plan preventivo de mantenimiento, haciendo énfasis en la metodología del RCM, que busca mejorar mediante su aplicación la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, trayendo consigo la reducción de costos que es el fin de esta investigación.

1.6.3 Justificación Practica

La presente investigación muestra una metodología de aplicación directa sobre el tema de investigación, en nuestro caso el mantenimiento, dicha aplicación es práctica y concisa sobre el tratamiento de un plan de mantenimiento con la metodología RCM, y así lograr el objetivo de reducción de costos.

1.7 Matriz de consistencia

Tabla 2
Matriz de consistencia

Título	Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Definición Conceptual	Dimensión	Indicador	Instrumentos
Propuesta de un plan de mantenimiento para reducir costos en el área de mecanizado de la empresa Maqpower S.A.C., Lima 2021	Problema general: ¿En qué medida la propuesta de un plan de mantenimiento reduce costos en el área de mecanizado de la empresa Maqpower SAC?	Objetivo general: Determinar en qué medida la propuesta del plan de mantenimiento reduce costos en el área de mecanizado en la empresa Maqpower SAC.	Hipótesis general: La propuesta del plan de mantenimiento reduce costos en el área de mecanizado de la empresa Maqpower S.A.C	Variable dependiente: Costos de servicios de mantenimiento	Los costos de mantenimiento son originarios de la operación de planta, específicamente en la conservación de los equipos, por lo tanto, estos costos son costos de fabricación que influyen en la determinación del costo unitario de producto final (García, 2012).	Costos de mantenimiento	- Costos de servicios de mantenimiento (S/.)	- Cuestionarios. - Ficha de encuesta. - Apuntes de observación.
	Problemas específicos: - ¿Cuál es el diagnóstico de la situación actual del mantenimiento en el área de mecanizado de la empresa Maqpower SAC? - ¿De qué forma se podría desarrollar la propuesta de un plan de mantenimiento para reducir costos en el área de mecanizado de la empresa Maqpower SAC?	Objetivos específicos: - Diagnosticar la situación actual del mantenimiento en el área de mecanizado de la empresa Maqpower SAC. - Desarrollar una propuesta de un plan de mantenimiento para el área de mecanizado.	Hipótesis específicas: - El diagnóstico de la situación actual del mantenimiento en mecanizado muestra deficiencias que conlleva a sobrecostos en el área. - La propuesta del plan de mantenimiento se desarrollará bajo una metodología llamada RCM o mantenimiento centrado en confiabilidad.	Variable independiente: Plan mantenimiento	El mantenimiento preventivo tiene como finalidad prevenir fallas y paros imprevistos, realizando una serie de actividades programadas a equipos o maquinarias en funcionamiento, lo cual permitirá la continuidad eficiente y segura de las operaciones, de manera más económica para la empresa (García, 2012).	Plan de mantenimiento preventivo	- Cumplimiento del plan de mantenimiento (%)	

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1 Tipo de investigación

Según Chávez (2015) la investigación es aplicada, puesto que se realiza con un propósito inmediato de resolver un problema en específico de la empresa, mediante los conocimientos que se obtienen, utilizando herramientas y/o métodos de ingeniería.

Hernández, R., Fernández, C & Baptista, P. (2014) refieren que la investigación mixta es una integración de ambas investigaciones tanto la investigación cuantitativa como cualitativa, mediante las cuales se va a recaudar, analizar, integrar datos de tipo cualitativo y cuantitativo, con ello lograr realizar conclusiones producto de toda la información obtenida para una mejor comprensión del objeto de estudio.

Entonces según lo investigado tanto por Chávez (2015) y Hernández, R., Fernández, C & Baptista, P. (2014) podemos afirmar que la presente investigación es aplicada con un enfoque mixto, puesto que se utilizan herramientas de ingeniería para determinar un problema en específico y con enfoque mixto ya que buscará mediante entrevistas estructuradas y observación, el entendimiento de la problemática en todas sus dimensiones utilizando también información de datos numéricos.

2.1.1 Nivel de investigación

Para Tamayo (2002) la investigación descriptiva se basa en realidades de hecho y se caracteriza por su correcta interpretación, utilizando la descripción, registros, análisis de la naturaleza actual de una problemática además de la composición o procesos sobre un fenómeno.

Añadiendo en la definición propuesta por Tamayo (2002) esta investigación es de nivel descriptivo propositivo, puesto que después de describir la problemática se procederá a la formulación de una propuesta para la mejora de la problemática actual.

2.1.2 Diseño de investigación

Según Alan & Cortez (2017) con la Investigación acción trata problemas prácticos y se busca obtener resultados fiables y útiles para el mejoramiento de una problemática, realizando una transformación o mejora y para ello se requiere de la colaboración de los informantes para poder darle un cambio a la problemática.

Fundamentando en la definición de Alan & Cortez (2017), la presente investigación tiene un enfoque mixto con un diseño de Investigación acción el cual es aplicable a las ramas de ingenierías, debido a que se realiza la detección del problema, elaboración de un plan, implementación del plan y su respectiva retroalimentación.

2.2 Población y muestra

2.2.1 Población

En la presente investigación la población son todos los procesos del área mantenimiento, los cuales incluye los subprocesos de mantenimiento de mecanizado, de infraestructura, de soldadura, de pintura y del servicio post venta, de la empresa MAQPOWER SAC.

2.2.2 Muestra

En la presente investigación la muestra corresponde al subproceso de mantenimiento de mecanizado, de la empresa MAQPOWER SAC.

2.3 Técnicas e instrumentos

En la siguiente tabla se muestra las técnicas e instrumentos utilizados en la investigación.

Tabla 3

Técnicas e Instrumentos utilizados

TÉCNICA	JUSTIFICACIÓN	INSTRUMENTOS	APLICADO EN
Entrevista	Permitió conocer el proceso de producción de la empresa a mayor detalle, específicamente en el área de mecanizado, así como el desarrollo del mantenimiento dentro de esta área y los costos asociados en que incurre el mantenimiento.	Cuestionario estructurado Grabadora	Jefe de producción Jefe de Mecanizado Jefe de mantenimiento Jefe operaciones Jefe de logística
Encuesta	Permitió conocer a través de una escala de ponderación, la principal causa raíz de los sobrecostos del área de mantenimiento, así como la maquina crítica del área.	Ficha de encuesta	Jefe de producción Jefe de Mecanizado Jefe de mantenimiento Jefe operaciones
Observación de campo	La observación permitió recabar información sobre la realización de las actividades del mantenimiento.	Apuntes de observación Bolígrafo Cámara fotográfica	Área de mecanizado
Análisis de documentos	El análisis facilitó procesar, sintetizar y validar los datos e información obtenidos en una primera instancia.	Laptop Programa Excel Libreta de apuntes Bolígrafo	Informes, ordenes de compras y servicios.

2.3.1 Instrumentos Utilizados

Los instrumentos estuvieron basados en cuestionarios y encuestas, los cuales fueron:

- A. Cuestionario de la entrevista sobre la situación actual del mantenimiento del área de mecanizado de la empresa MAQPOWER SAC.
- B. Cuestionario de la entrevista sobre el manejo actual de los costos del mantenimiento del área de mecanizado de la empresa MAQPOWER SAC
- C. Encuesta sobre la evaluación de criticidad de equipos del área de mecanizado de la empresa MAQPOWER SAC.
- D. Encuesta para determinar las causas de los altos costos de mantenimiento en el área de mecanizado de la empresa MAQPOWER SAC.

Los detalles de estos documentos se encuentran en los anexos.

2.3.2 Validación de instrumentos por expertos

Se realizó la validación de los instrumentos por expertos tanto para la variable plan de mantenimiento como el de costos de mantenimiento a través de:

- A. Matrices de evaluación de expertos para la variable Plan de mantenimiento
- B. Matrices de evaluación de expertos para la variable Costos de mantenimiento.

Los detalles de estos documentos se encuentran en los anexos.

2.4 Procedimiento de recolección de datos

El procedimiento para la recolección de los datos fue la siguiente:

Para la elaboración de la presente investigación se siguió una secuencia metodológica que contempla la aplicación, técnicas e instrumentos, utilizados para la recolección, análisis y procesamiento de datos, con el objeto de proponer una mejora a la problemática hallada en el mantenimiento del área de mecanizado, basada en los problemas identificados previamente.

En la siguiente figura se presenta el procedimiento seguido por etapas en forma lógica.

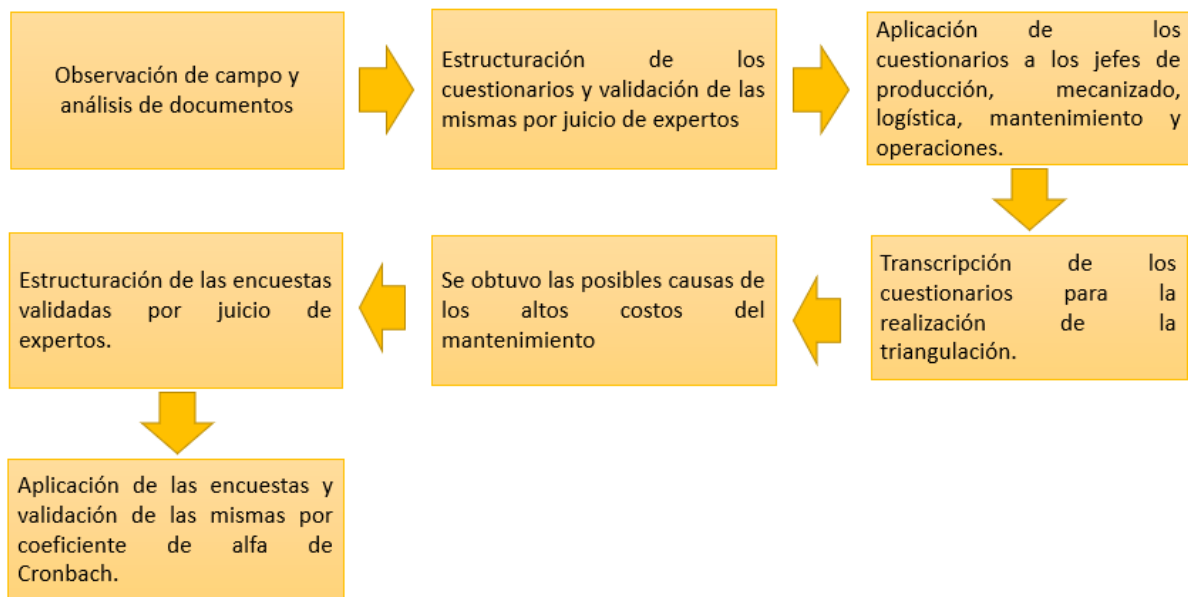


Figura 2. Procedimiento de recolección de datos.

A continuación, se detalla los pasos seguidos en el desarrollo de la presente investigación:

Se realizaron diversas visitas a la empresa para poder evidenciar como se estaba llevando a cabo el mantenimiento en el área de mecanizado, con el objeto de lograr mediante la observación directa una adecuada recolección de datos además de conocer sobre el proceso de mecanizado.

Se pudo observar algunas causas de los posibles sobrecostos de mantenimiento en esta área, como por ejemplo contaminación por indebidos mantenimientos autónomos, en dichas visitas también se nos proporcionó informes técnicos de servicio que les brinda la empresa que realiza los mantenimientos, así como ordenes de servicio y órdenes de compra, realizando así el análisis de datos, con lo que se pudo concluir por ejemplo que había una falta de órdenes de mantenimiento, falta de indicadores, falta de un correcto plan de mantenimiento, sin procedimientos de mantenimiento propios.

Con la información obtenida se procedió a identificar la problemática existente en el área de mecanizado con respecto al mantenimiento, y posteriormente analizar los principales problemas identificados mediante la elaboración de la encuesta y entrevista a los jefes de producción, mecanizado, mantenimiento, operaciones, logística. Se realizó la validación de los cuestionarios respectivos, a través de juicio de expertos, para con ello asegurar que la información obtenida sea de mayor relevancia para la presente investigación, con un diseño adecuado que facilite el análisis y procesamiento de datos.

Después de ello se procedió a realizar las encuestas para obtención de la maquina más crítica, así como también la priorización de la causa raíz. Para la validez y confiabilidad de los ítems de la encuesta se aplicó validación por coeficiente alfa de CRONBACH.

Se procede a detallar la finalidad, procedimiento e instrumento de cada una de las técnicas utilizadas para la recolección de datos:

- Observación de campo

Finalidad: Identificar la problemática y oportunidades de mejora en el área de mecanizado desde la perspectiva de mantenimiento.

Procedimiento: Observar detalladamente y registrar el proceso del área de mecanizado de la empresa y el funcionamiento de las maquinas CNC s.

Instrumento: Apuntes de observación, bolígrafo, cámara fotográfica.

- Análisis de documentos

Finalidad: Facilitar el proceso, síntesis y validación de los datos obtenidos en una primera instancia.

Procedimiento: Solicitar al jefe de mantenimiento y logística el acceso a las fichas de registros, documentos electrónicos y físicos sobre los costos que se incurren por el mantenimiento en el área de mecanizado, para luego organizar los datos obtenidos en una hoja de cálculo de Excel generando una base de datos, que facilita la lectura de información.

Instrumento: Laptop, programa Excel, libreta de apuntes, bolígrafo.

- Entrevista

La entrevista se realizó a los jefes de operaciones, mantenimiento, logística, producción y de mecanizado.

Finalidad: Conocer el proceso de mantenimiento, para luego profundizar en el mismo, y así poder identificarlas posibles causas que provoque deficiencias en cuanto al mantenimiento en el área de mecanizado que puedan poner en riesgo las actividades de producción del área mecanizado.

Parámetros: Tiempo de duración de la entrevista 45 min, lugar (Planta de producción - Área de mecanizado)

Procedimiento: Se informa a los entrevistados el propósito de la entrevista y la relevancia que tiene su información para el desarrollo de la investigación, con el consentimiento de los involucrados se procedió a grabar las entrevistas para luego volcar la información textualmente.

Instrumento: Cuestionario estructurado, Libreta de apuntes, grabadora.

- Encuesta

Finalidad: Conocer a través de una escala de ponderación, la principal causa raíz de los sobrecostos del área de mantenimiento, así como la maquina crítica del área.

Procedimiento: Se le orienta al encuestado sobre las pautas para el correcto llenado de la encuesta, luego se le otorga la encuesta para su posterior llenado de la misma según su percepción de los puntos dados.

Instrumento: Ficha de encuesta.

2.5 Análisis de datos

Después de haber realizado la recaudación de datos por medio de los instrumentos ya detallados anteriormente, se procede a utilizar una herramienta de análisis de datos llamada triangulación, con lo cual se va a tener la certeza de que los datos obtenidos son válidos y fiables.

Según Rodríguez, Pozo & Gutiérrez (2006) la triangulación es una técnica de confrontación y herramienta de comparación de diferentes tipos de análisis de datos (triangulación analítica) con un mismo objetivo que puede contribuir a validar un estudio de encuesta y potenciar las conclusiones que de él se derivan (p.1).

Según Aguilar & Barroso (2015) existen cinco modos o posibilidades a la hora de triangular, entre ellas, se pueden destacar la triangulación de datos, triangulación de investigador, triangulación teórica, la triangulación metodológica y la triangulación múltiple.

Para nuestro caso de análisis se utilizó la triangulación de datos, ya que se trató con información de diferentes fuentes las cuales fueron confrontadas para validar una única respuesta.

2.5.1 Triangulación de datos

Una vez finalizada la validación de contenido del instrumento por juicio de expertos, se procedió a realizar las entrevistas previa coordinación con los jefes de las áreas involucradas, las entrevistas se desarrollaron en el área de mecanizado, oficina de producción y de mantenimiento, según fue la disponibilidad del lugar del entrevistado, la duración de las entrevistas fue de 30 a 45 minutos.

Las entrevistas realizadas fueron grabadas con autorización del entrevistado, para su

posterior transcripción, es decir procedió a volcar la data del formato auditivo al formato escrito para el presente estudio, para su posterior validación por triangulación de datos.

A continuación, presentamos la tabla con la transcripción de las entrevistas.

Tabla 4
Triangulación de datos (1/3)

Objetivo específico	Indicador	Pregunta	Jefe de mecanizado	Jefe de mantenimiento	Jefe de producción
Diagnosticar la situación actual del mantenimiento en el área de mecanizado de la empresa MAQPOWER SAC.	Cumplimiento del plan de mantenimiento de equipos	¿Cómo considera usted el estado de los equipos?	El estado de los equipos es bueno porque se le da un correcto manejo y cuidado, además el personal con que contamos es calificado.	El actual estado de los equipos se encuentra realizando su función, por los que están operativos.	En el presente los equipos se encuentran operativos, no se han presentado detenciones de estos.
		¿Existe algún plan o programa de mantenimiento?	Si, existe un mantenimiento que es anual para las maquinas CNC de esta área.	Sí, tenemos un programa anual de mantenimiento preventivo, es realizado por empresas terceras.	Sí, hay un plan de mantenimiento.
		Dicho plan de mantenimiento, ¿se cumple a cabalidad?	No, porque debido a los pedidos, no podemos dejar de producir y por consiguiente no podemos parar para realizar los mantenimientos en las fechas programadas.	No se cumple el plan de mantenimiento porque no se puede coordinar con producción para que se nos otorgue las máquinas, dificultando el cumplimiento del plan de mantenimiento.	No, porque debido a la demanda inesperada se ha tenido que seguir con la producción para el cumplimiento de las ventas y no se ha podido entregar la maquina a mantenimiento.
		¿Qué tipo de mantenimiento se aplica a los equipos actualmente?	Se aplican mantenimientos correctivos, preventivos y autónomos, cumpliendo a cabalidad este últimos ya que se realiza 15 minutos antes de empezar la producción.	Actualmente se está manejando 3 tipos de mantenimiento según sea el caso que se presente, por programación el preventivo, con urgencia el correctivo y el diario con el autónomo.	El mantenimiento que conozco que se aplica es el preventivo y correctivo.
		¿Cuentan con las herramientas especializadas y repuestos para realizar las tareas de mantenimiento?	No se cuenta con repuestos en almacén, cuando existen fallas se reporta al jefe de mantenimiento para que lo adquiera.	No existen herramientas especializadas para mantenimientos con personal propio, en cuanto a los repuestos se solicitan recién cuando se presentan las fallas y se detiene el equipo, los cuales son importados o adquiridos con las empresas que nos realizan el mantenimiento, pero ha habido casos de compra innecesaria de repuestos no justificada.	No, las herramientas y los repuestos los manejan el servicio de tercerización.
		¿El mantenimiento se realiza de manera propia o por terceros?	Se cuenta mantenimiento realizado por servicio de terceros.	El mantenimiento se da por terceros, lo realizan empresas METALMAKINA, F & Y MÁSTER CNC, E INTERTECH.	El mantenimiento actualmente se terceriza.
		¿Considera correcto el plan de mantenimiento actual? ¿Por qué?	Considero que el plan de mantenimiento no es correcto puesto que la detención del equipo para el mantenimiento se da por mucho tiempo.	El actual plan de mantenimiento no lo considero correcto porque no cumple con una metodología conocida sino es más bien un programa anual que no satisface los verdaderos inconvenientes que se presentan en las maquinas debido a las fallas inesperadas, además no cumple con el objetivo de alargar la vida útil de la máquina y preservarla en el tiempo.	No considero correcto el plan de mantenimiento actual porque no se cuenta con la disponibilidad de la maquinaria para la producción cuando se la requiere.

Tabla 4
Triangulación de datos (2/3)

Objetivo específico	Indicador	Pregunta	Jefe de mecanizado	Jefe de mantenimiento	Jefe de Producción
Diagnosticar la situación actual del mantenimiento en el área de mecanizado de la empresa MAQPOWER SAC	Cumplimiento del plan de mantenimiento de equipos	¿Se cuenta con manuales de operación, y/u órdenes de mantenimiento?	No, hay un registro, pero no es el adecuado.	No, es una falencia que tenemos que mejorar e implantar para llevar un registro adecuado que nos permita implementar mejoras en el área como KPIs.	NO
		¿Se emplean formatos de registros antes y después de realizar alguna tarea de mantenimiento?	No, hay una constancia que nos deja la empresa que realiza el mantenimiento.	No, como dije antes hay una carencia en cuanto a la gestión de mantenimiento lo cual impide tener un adecuado registro documentado ordenadamente.	NO, es algo que se tiene que mejorar.
		¿Frente a una avería se reporta inmediatamente?	No, puesto que hay algunas averías que puedo solucionar en el momento, sin tener que acudir a mantenimiento y seguir con la producción.	No, y es un gran problema que no se me reporte averías de las maquinas por parte del jefe de mecanizado, para poder llevar un registro de averías y fallas.	SI, tengo entendido.
		¿Las empresas que le realizan el servicio de mantenimiento, acuden inmediatamente a para reparar la falla?	No, se demoran en acudir.	No, es de acuerdo a su disponibilidad de la empresa tercera, ha habido veces que hemos tenido que esperar.	No, hay que esperar, se observan demoras.
		¿Se maneja un inventario técnico de los equipos, en el cual se tengan plasmadas cada una de las especificaciones técnicas de ellos?	No se cuenta con fichas técnicas de los equipos.	Actualmente no contamos con fichas técnicas de ningún equipo.	NO
		¿Existe algún registro en el cual se pueda apreciar la causa principal que origina las averías y/o fallas en los equipos?	No.	No, solo existen algunos informes de intervenciones de las fallas de los equipos.	Eso lo ve el área de mantenimiento.
		¿Posee el área de mantenimiento una estructura organizativa, manuales y procedimientos?	No he constatado procedimientos de mantenimiento.	Actualmente no se cuenta con un modelo de manteniendo a seguir.	NO
		¿Se elabora algún tipo de informe sobre las actividades de mantenimiento ya sea por averías o por fallas?	Cuando se presentan fallas se reportan al jefe de mantenimiento para que realice las coordinaciones con la empresa del servicio de mantenimiento el cual le entrega los informes de las fallas, las averías que se presentan yo las puedo atender y no tengo la necesidad de reportarlas.	En cuanto a las averías, no, debido a que dichas averías en su mayoría son solucionadas por el jefe de mecanizado y no me las reporta, y en cuanto a los informes por fallas sí, pero no en su totalidad, lo cual dificultaría por ejemplo para la realización de una criticidad de equipos.	Supongo que si
¿Se cuenta con indicadores de mantenimiento para controlar y mejorar índices de mantenibilidad, confiabilidad y disponibilidad?	No	No se cuenta con indicadores de mantenimiento debido a que nunca se contó con un historial fehaciente para poder crearlos, pero sería bueno implementarlos ya que esta área tiene una importancia de un 60%	No		

Tabla 4
Triangulación de datos (3/3)

Objetivo específico	Indicador	Pregunta	Jefe de operaciones	Jefe de mantenimiento	Jefe de logística
Diagnosticar la situación actual del mantenimiento en el área de mecanizado de la empresa MAQPOWER SAC		Con respecto a los costos de mantenimiento ¿El área de mantenimiento cuenta con un presupuesto anual y a cuánto asciende?	La empresa a la fecha no maneja un presupuesto anual de mantenimiento. El gasto registrado por mantenimiento de los equipos del área de mecanizado lo maneja el área de logística.	No, en el área no se implementado un presupuesto anual ni mensual, no tengo el dato del presupuesto anual puesto que no se registra adecuadamente, pero el área de logística si lo tiene de manera general.	Actualmente no se maneja un presupuesto anual para el área, tengo registrado los siguientes costos: Servicios: S/.52,724.00 nuevos soles. Repuestos: S/.117, 242.00 nuevos soles. Gestión de mantenimiento: S/.31,200.00 nuevos soles Consumibles: S/.44,624.00 nuevos soles.
	Costo de mantenimiento general	¿Cuenta el área de mantenimiento con clasificación de sus costos?	No realmente	No, los costos de registran por órdenes de compras y ordenes de servicio que va directo al área de logística.	No, actualmente no se maneja una clasificación de costos para el área de mantenimiento.
	Costo de mano de obra externa	¿Cómo se registran los costos del área del mantenimiento?	Se registran como gastos.	Los costos del área de mantenimiento actualmente se registran como gastos	Los registramos como gastos de manera general.
		¿Se manejan horas extras en el área de mantenimiento?	No se manejan horas extras, puesto que los mantenimientos se tercerizan con una empresa especializada	En el área de mantenimiento no se manejan horas extras.	No manejamos horas extras.
		¿Cuántas personas están en la nómina del área de mantenimiento y cuanto perciben mensualmente?	En el área de mantenimiento cuenta con un solo personal quien lleva la gestión del mantenimiento.	Solo me encuentro yo a cargo del mantenimiento del área de mecanizado y del mantenimiento post venta, mi sueldo es de S/. 1800.00	Solo el jefe de mantenimiento quien también se encarga del mantenimiento post venta.
		¿Qué porcentaje del costo total de servicios de mantenimiento es el costo de mantenimiento correctivo?	Según la información que tengo es del 70% aproximadamente.	El porcentaje del costo del mantenimiento correctivo viene hacer aproximadamente el 70% del costo total de servicios de mantenimiento.	Yo lo tengo registrado como un monto total del gasto de mantenimiento.
		¿Qué porcentaje del costo total de servicios de mantenimiento es el costo de mantenimiento preventivo?	Aproximadamente 30%.	El porcentaje del costo del mantenimiento preventivo viene hacer aproximadamente el 30% del costo total de servicios de mantenimiento.	Como lo dije antes, yo lo tengo registrado como un monto total del gasto de mantenimiento.
		¿Cuánto es el costo anual de los materiales consumibles que se usan en el área de mantenimiento?	El costo de los consumibles es de S/.44,624.00 aproximadamente.	Por el momento no cuento con ese dato registrado, se ha pasado por alto su registro en mi área.	Es de S/. 44,624.00 anual
		¿Cuánto es el costo anual de los repuestos utilizados para el mantenimiento?	El costo de los repuestos es de S/.117,242.00 según logística.	Tampoco cuento con ese dato por el momento, pero el área de logística si porque son ellos quienes registran las órdenes de servicios y de compra.	Los costos de los repuestos ascienden a S/.117,242.00 soles.
		¿Se cuenta con un seguimiento de sobre la rotación de inventario de los repuestos?	No	No	No
	¿Existen indicadores de costos en el área de mantenimiento?	No se cuentan con indicadores	No contamos con indicadores por lo mismo que no hay un debido registro documentario que permitan implementar KPIs.	Creo que no.	

2.6 Aspectos éticos

La presente investigación se fundamenta en criterios éticos con la finalidad de garantizar la calidad, claridad y objetividad de esta investigación, es por ello que se ha considerado aspectos éticos como:

- **Consentimiento informado:** Se solicitó autorización a la empresa a través de la Carta de autorización de uso de información, la cual fue presentada a la universidad, con la finalidad de garantizar la autenticidad de los datos con fin educativo.
- **Confidencialidad:** Toda la información obtenida con los diferentes instrumentos (entrevistas, encuestas, análisis documentario) respecto a la empresa se trató de manera confidencial y exclusivamente para el estudio de la investigación.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1 Información actual de la empresa

3.1.1 Generalidades de la empresa

3.1.1.1 Empresa MAQPOWER SAC

MAQPOWER S.A.C., es una empresa dedicada a la fabricación, repotenciación, reparación, servicio y repuestos para equipos de perforación diamantina, inició sus actividades en el año 2011, desde su inicio conto con personal de mucha experiencia convirtiéndose hoy en una de las empresas con mayor crecimiento en su rubro, cuenta en su planta de producción con los equipos necesarios, profesionales y técnicos competentes con amplia experiencia, es por esto que sólo ofrece productos de excelente calidad, líderes y rentables; logrando satisfacer todas las necesidades del mercado y las especificaciones de los clientes.

MAQPOWER S.A.C, con un claro espíritu de desarrollo, busca expandirse diversificando sus productos próximamente en otras áreas. En todo este tiempo de permanencia en el mercado nacional se han aplicado correctas políticas de comercialización. La calidad, el respeto, la tecnología de punta, la innovación de los procesos productivos y la identificación con la empresa convierten a MAQPOWER S.A.C., en la mejor solución para los requerimientos de sus clientes.

3.1.1.2 Visión

Ser la empresa líder en el mercado nacional y reconocido a nivel mundial, con un proceso de fabricación certificada con estándares de calidad, medio ambiente, responsabilidad social, seguridad y salud.

3.1.1.3 Misión

Somos una empresa que busca garantizar la satisfacción de nuestros clientes a través de productos de calidad que cumplan con las expectativas de los clientes en cuanto a tiempo, costo y calidad.

3.1.1.4 Competidores

Competidores del mismo nivel:

- OVERPRICE
- PURNA DRILLING
- TECH DRILLING

Competidores más fuertes:

- EPIROC
- BOART LONGYEAR
- SANDVIK

3.1.1.5 Principales clientes

Sus clientes mayormente son empresas que prestan servicio de perforación a las minas, tiene aproximadamente 42 clientes, también exporta a países como Ecuador, Colombia, México, Zambia y Chile (repuestos).

3.1.1.6 Principales productos

- Equipo de perforación de diamantina Superdrill H200E
- Equipo de perforación de diamantina Superdrill H600DTH
- Equipo de perforación de diamantina Superdrill H400E
- Equipo de perforación de diamantina Superdrill B100

3.1.1.7 Organigrama

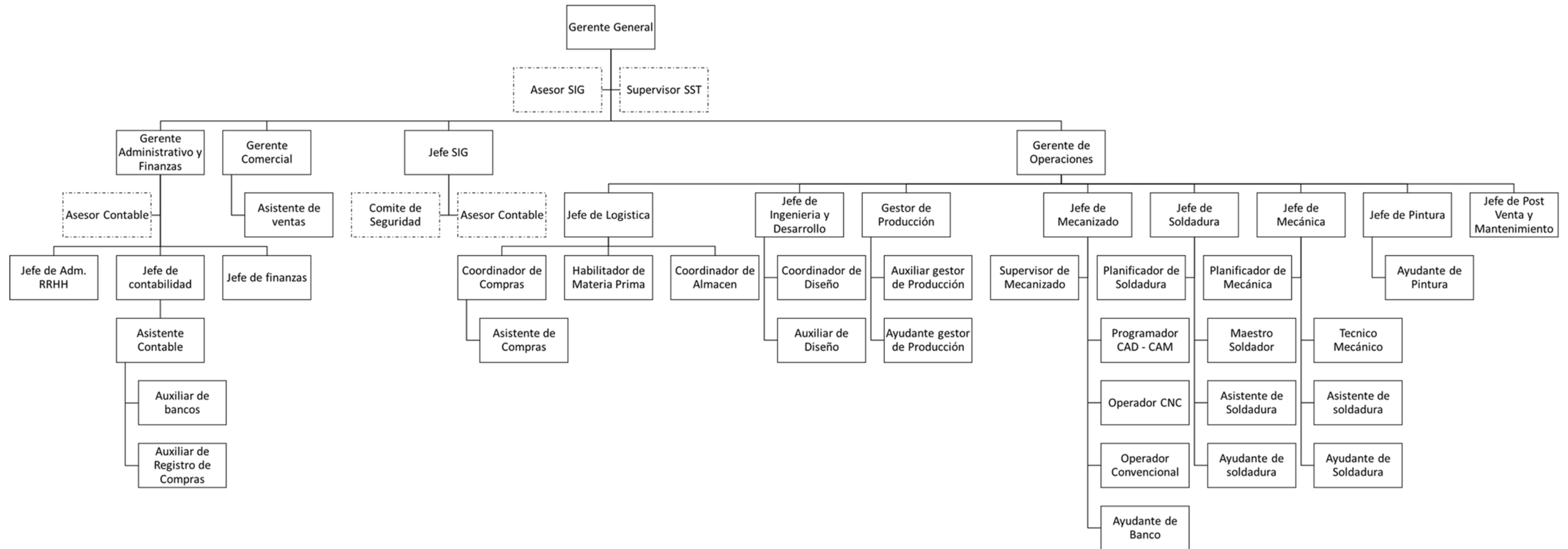


Figura 3. Organigrama

3.1.1.8 Proceso productivo

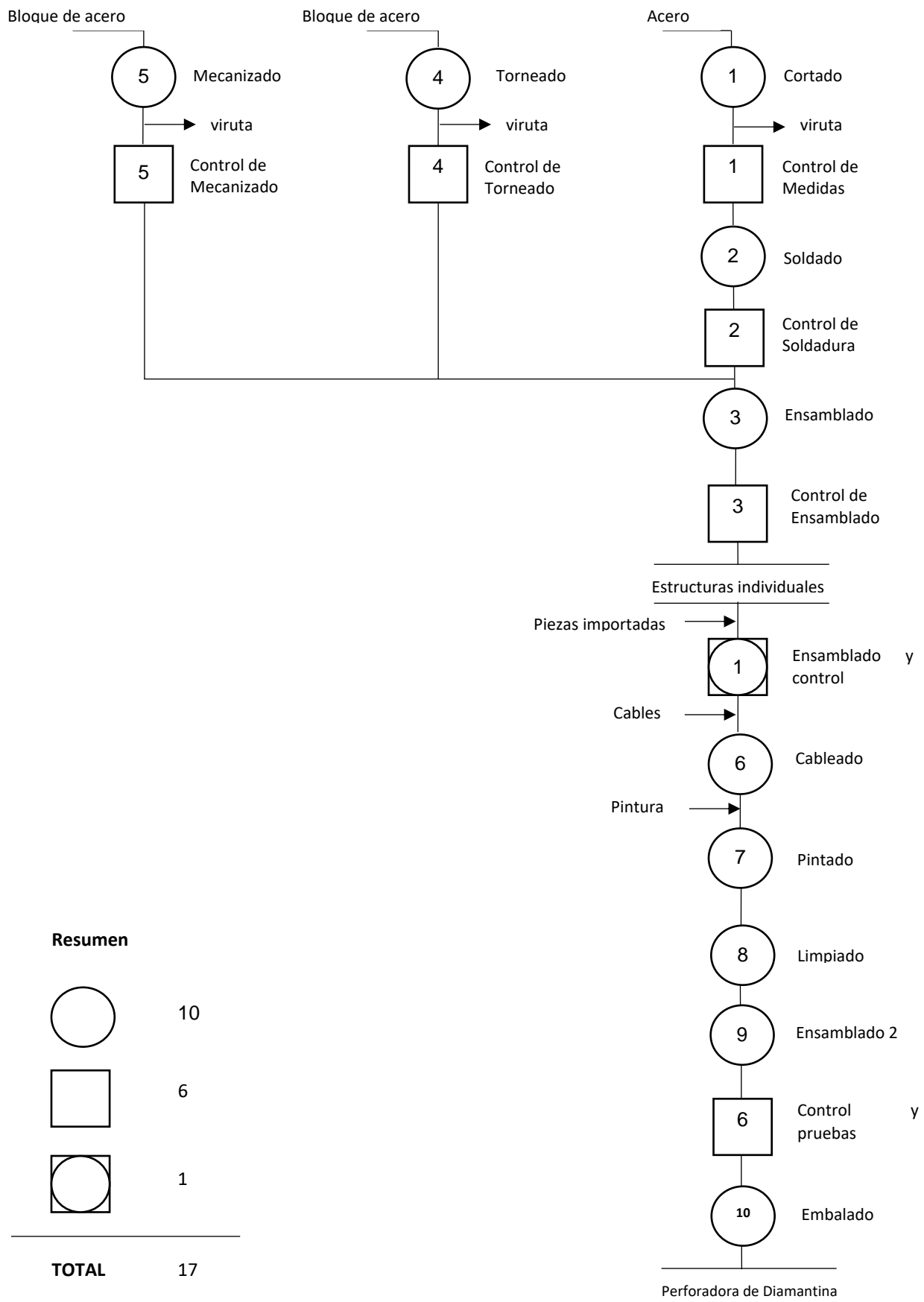


Figura 4. Diagrama de operación de procesos

3.2 Diagnóstico de la situación actual del mantenimiento en el área de mecanizado de la empresa MAQPOWER SAC.

De acuerdo al objetivo específico 1 de la presente investigación que es el de diagnosticar la situación actual del mantenimiento en el área de mecanizado, se tiene lo siguiente: En las entrevistas que se realizaron en una primera instancia, se logró recaudar información valiosa y de primera mano, ligados al área de mecanizado, dicha información arroja que el mantenimiento de las maquinas CNC`s se da de manera externa es decir la empresa terceriza el servicio de mantenimiento de sus máquinas de producción, el mantenimiento de dichas maquinarias es un mantenimiento preventivo anual y correctivo, sin embargo no hay un debido control documentado, controlado y ordenado de dicho mantenimiento.

El área de mantenimiento se encuentra dirigido por una persona con el cargo de jefe de post venta y mantenimiento, que tiene a su cargo los mantenimientos de los equipos de perforación que comercializa la empresa los cuáles son mantenimientos de post venta y al cual se le da un mayor foco y/o priorización que al mantenimiento de las máquinas de planta como son las CNC`s del área de mecanizado aun teniendo esta área un 60% de relevancia en el proceso productivo; cabe mencionar que para los mantenimientos de planta no cuenta con personal directo bajo su jurisdicción, sino los trabajos de mantenimiento son realizados por empresas terceras, sin embargo en ocasiones cuando las maquinas CNC`s han presentado alguna anomalía el jefe de mecanizado con su experiencia ha sabido resolver estas averías pero no informa con regularidad sobre estos acontecimientos al jefe de mantenimiento, lo cual genera que no haya un reporte correcto para la documentación y posterior registro de averías y fallas para llevar un adecuado control.

Actualmente no se cuenta con registros e historiales de las intervenciones de mantenimiento en el área de mecanizado, sigue un programa de mantenimiento no bien

constituido, por lo mismo que no se ha hecho un análisis apropiado de las fallas más críticas que conlleva a la detención de las maquinas, por ende, existe un mayor gasto en mantenimientos correctivos, tanto en los repuestos como en los servicios por parte de los terceros.

3.2.1 Flujograma del proceso actual de mantenimiento

En la figura a continuación se muestra el flujograma actual del proceso de mantenimiento, que como se describió en el diagnóstico, en el presente, el área solo maneja un programa anual de mantenimiento, esto quiere decir que solo una vez al año se procede en hacer mantenimientos a las maquinas CNC`s por lo que la confiabilidad de sus operaciones no es adecuada, ya que las paradas por fallas o descomposturas lo demuestras así. En este flujograma también se puede observar la falta de documentación para registrar indicadores e información para sobrellevar una correcta gestión del mantenimiento, como por ejemplo data que retroalimiente al plan de mantenimiento.

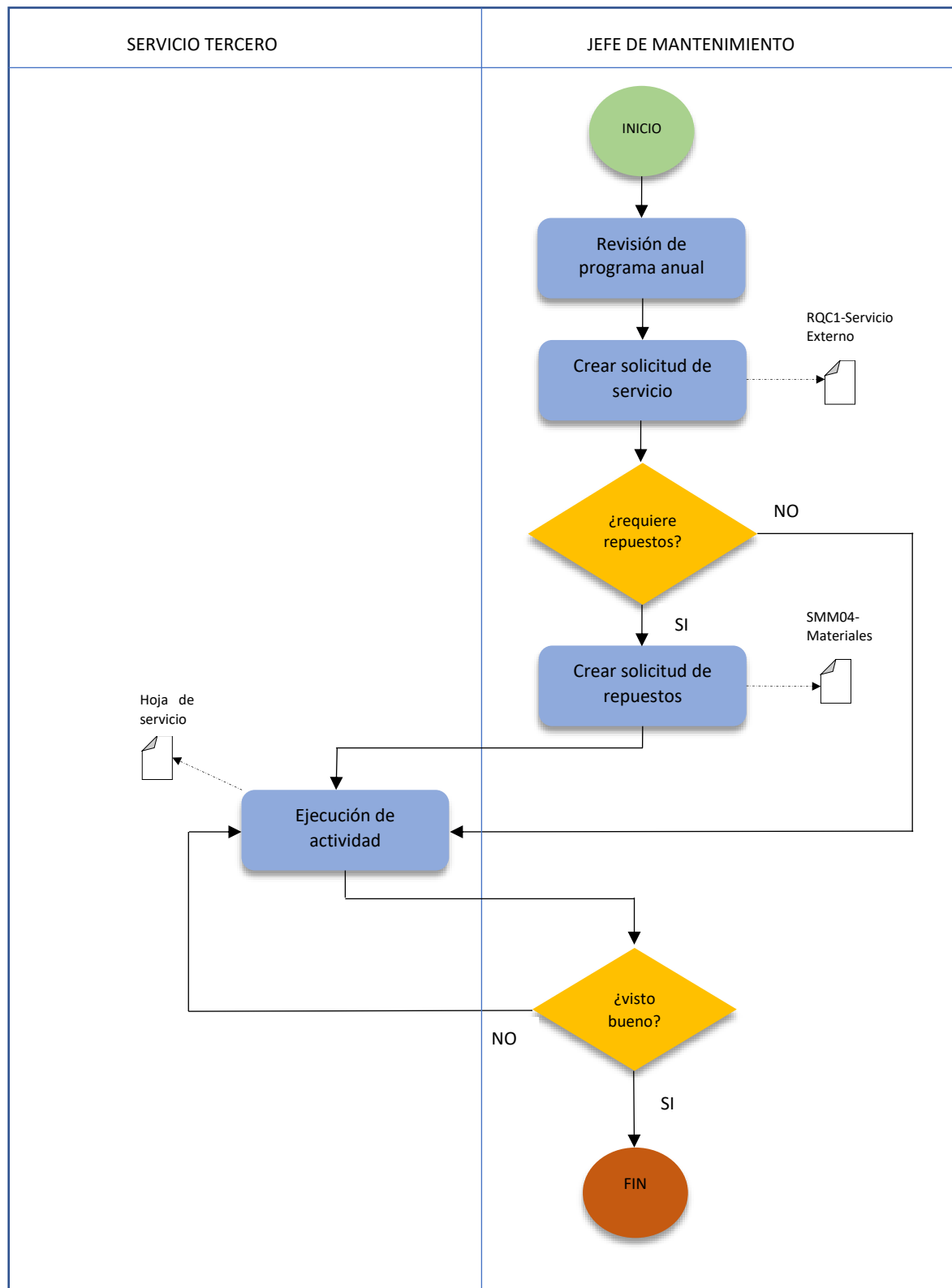


Figura 5. Flujograma actual del mantenimiento

3.2.2 Resultados de análisis de triangulación de datos

A continuación, después de haber realizado el análisis de triangulación de datos, se procedió a contestar las preguntas de manera consolidada según el cruce de información, entonces de acuerdo con la triangulación estos fueron los datos obtenidos que se presentan en la Tabla 5 y la Tabla 6 para las variables plan de mantenimiento y costos de mantenimiento respectivamente.

Tabla 5
Resultados de la triangulación de datos sobre el plan de mantenimiento

Objetivo específico	Pregunta	Resultados
Diagnosticar la situación actual del mantenimiento en el área de mecanizado de la empresa MAQPOWER SAC.	¿Cómo considera usted el estado de los equipos?	Los equipos actualmente se encuentran operativos y realizando su función.
	¿Existe algún plan o programa de mantenimiento?	Hay un programa de mantenimiento anual ejecutado por terceros.
	Dicho plan de mantenimiento se cumple a cabalidad	No, hay diversos factores en el área de producción que impiden el cumplimiento a cabalidad del programa de mantenimiento preventivo.
	¿Qué tipo de mantenimiento se aplica a los equipos actualmente?	Se aplica el mantenimiento autónomo, mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo
	¿Cuentan con las herramientas especializadas y repuestos para realizar las tareas de mantenimiento?	No, puesto que el mantenimiento es tercerizado, y son ellos quienes se encargan de los repuestos en algunos casos y en otros se importan los repuestos, ha habido casos en que se han realizado compras innecesarias.
	¿El mantenimiento se realiza de manera propia o por terceros?	El mantenimiento se da por terceros, lo realizan empresas F&YMASTER CNC, METALMAKINA e INTERTECH.
	¿Considera correcto el plan de mantenimiento actual? ¿Por qué?	No se considera correcto el mantenimiento debido a que no se sigue con una metodología, sino un programa anual que no satisface los verdaderos inconvenientes que se presentan en las máquinas debido a las fallas inesperadas, podemos decir que no se cumple con el objetivo de alargar la vida útil de la máquina y preservarla en el tiempo
	¿Se cuenta con manuales de operación, y/u órdenes de mantenimiento?	Como no se sigue una metodología de gestión de mantenimiento no se cuenta con manuales y/u órdenes de mantenimiento, por lo cual no se cuenta con KPIs.
	¿Se emplean formatos antes y después de realizar alguna tarea de mantenimiento?	No se cuenta con un adecuado registro documentario.
	¿Frente a una avería se reporta inmediatamente?	No, no hay un adecuado reporte por parte del área de mecanizado a mantenimiento sobre las averías o fallas que ocurren en el área.
	¿Las empresas que le realizan el servicio de mantenimiento, acuden inmediatamente para reparar la falla?	No, se tiene que esperar su disposición para que puedan acudir a realizar el mantenimiento.
	¿Se maneja un inventario técnico de los equipos, en el cual se tengan plasmadas cada una de las especificaciones técnicas de ellos?	No se cuenta con un inventario técnico de los equipos.
	¿Existe algún registro en el cual se pueda apreciar la causa principal que origina las averías y/o fallas en los equipos?	No, solo existen algunos informes de intervenciones de las fallas de los equipos, esto también se debe a que no se cuenta con órdenes de mantenimiento, para un debido registro documentario.
	¿Posee el área de mantenimiento estructura organizativa, manuales de puestos y procedimiento?	No, hay una carencia de un modelo de mantenimiento.
	¿Se elabora algún tipo de informe sobre las actividades de mantenimiento ya sea por averías o por fallas?	Hay informes por fallas de las máquinas que proporciona la empresa, pero en cuanto a las averías no son reportadas por el área de mantenimiento
¿Se cuenta con indicadores de mantenimiento para controlar y mejorar índices de mantenibilidad, confiabilidad y disponibilidad?	No, porque no hay un debido registro documentario que ayude a implementar KPIs.	

Tabla 6
Resultado de la triangulación de datos sobre costos de mantenimiento

Objetivo específico	Pregunta	Resultados
Diagnosticar la situación actual del mantenimiento en el área de mecanizado de la empresa MAQPOWER SAC	Con respecto a los costos de mantenimiento ¿El área de mantenimiento cuenta con un presupuesto anual y a cuánto asciende?	El área de mantenimiento no cuenta con un presupuesto anual, y en cuanto a los costos anuales de mantenimiento ascienden a S/. 245,790.00 nuevos soles
	¿Cuenta el área mantenimiento con clasificación de sus costos?	No se cuenta por el momento con clasificación de costos para el área de mantenimiento
	¿Cómo se registran los costos del área del mantenimiento?	Se registran como gastos
	¿Se manejan horas extras en el área de mantenimiento?	No se manejan horas extras en el área de mantenimiento.
	¿Cuántas personas están en la nómina del área de mantenimiento y cuanto perciben mensualmente?	Solo una persona quien es el jefe de mantenimiento con un sueldo de S/.1,800.00 nuevos soles
	¿Qué porcentaje del costo total de servicios de mantenimiento es el costo de mantenimiento correctivo?	Es el 70% del costo total de servicios de mantenimiento
	¿Qué porcentaje del costo total de servicios de mantenimiento es el costo de mantenimiento preventivo?	Es el 30% del costo total de servicios de mantenimiento
	¿Cuánto es el costo anual de los materiales consumibles que se usan en el área de mantenimiento?	Los costos anuales de los materiales consumibles ascienden a S/. 44,624.00 nuevos soles
	¿Cuánto es el costo anual de los repuestos utilizados para el mantenimiento?	Los costos anuales de los repuestos ascienden a S/. 117,242.00 nuevos soles
	¿Se cuenta con un seguimiento de sobre la rotación de inventario de los repuestos?	No
¿Existen indicadores de costos en el área de mantenimiento?	No se cuenta con indicadores de costos	

Con respecto a los costos de mantenimiento del área de mecanizado de la empresa MAQPOWER se ha realizado la siguiente tabla donde se muestra la distribución de los costos de mantenimiento

Tabla 7
Costos de mantenimiento

Costos de mantenimiento	
Servicios	S/. 52,724.00
Repuestos	S/. 117,242.00
Gestión de mantenimiento	S/. 31,200.00
Consumibles	S/. 44,624.00
Total	S/. 245,790.00

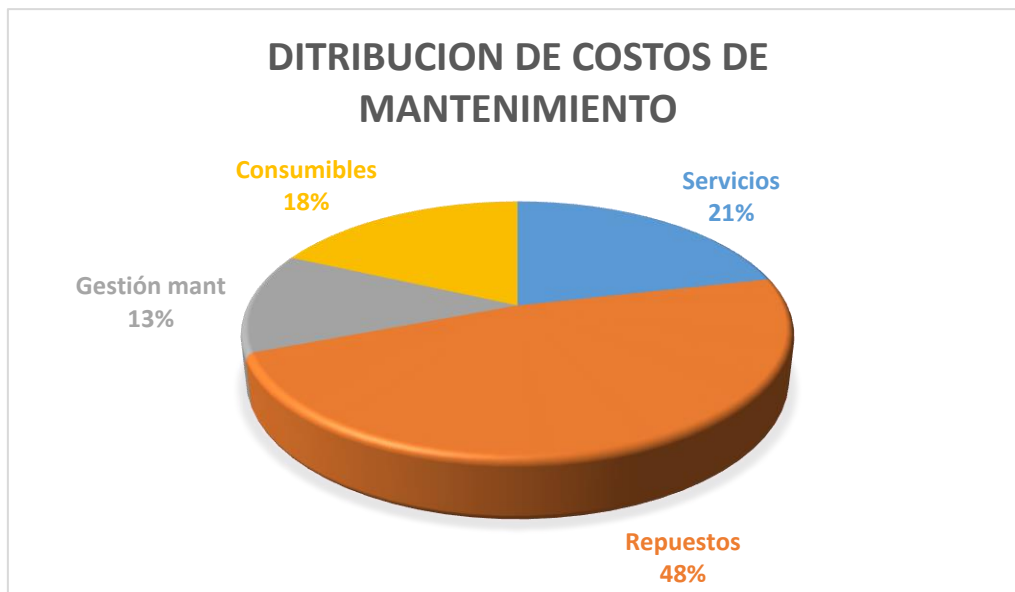


Figura 6. Distribución de costos de mantenimiento

Como se observa en la Figura 6 el mayor porcentaje de los costos de mantenimiento son los costos de repuestos de mantenimiento de las maquinas CNC que representa un 48%, seguido de los costos por servicios de mantenimiento que tiene un 21%, los consumibles representan un 18% y por último los costos de gestión de mantenimiento que representan un 13%.

En cuanto a los costos de servicios de mantenimiento se distribuyen según la tabla siguiente:

Tabla 8
Costos de servicios de mantenimiento

Costos de servicios de mantenimiento		
Mantenimiento correctivo	S/. 36,906.80	70%
Mantenimiento preventivo	S/. 15,817.2	30%
Total	S/. 52,724.00	

Como se muestra en la Tabla 8, el 30% de los costos de servicio de mantenimiento se incurre en los costos de mantenimiento preventivo y el 70% en mantenimiento correctivo.

Con la información validada a través de la técnica triangulación de datos a los informantes, se ha podido obtener una visión más clara sobre la real problemática que viene teniendo el área de mecanizado, la cual se plasmó en el siguiente diagrama de Ishikawa.

3.2.3 Diagrama de Ishikawa

Después haber realizado las entrevistas y el análisis de datos, se pudo detallar de forma más clara las posibles causas que provocan que los costos de mantenimiento sean elevados.

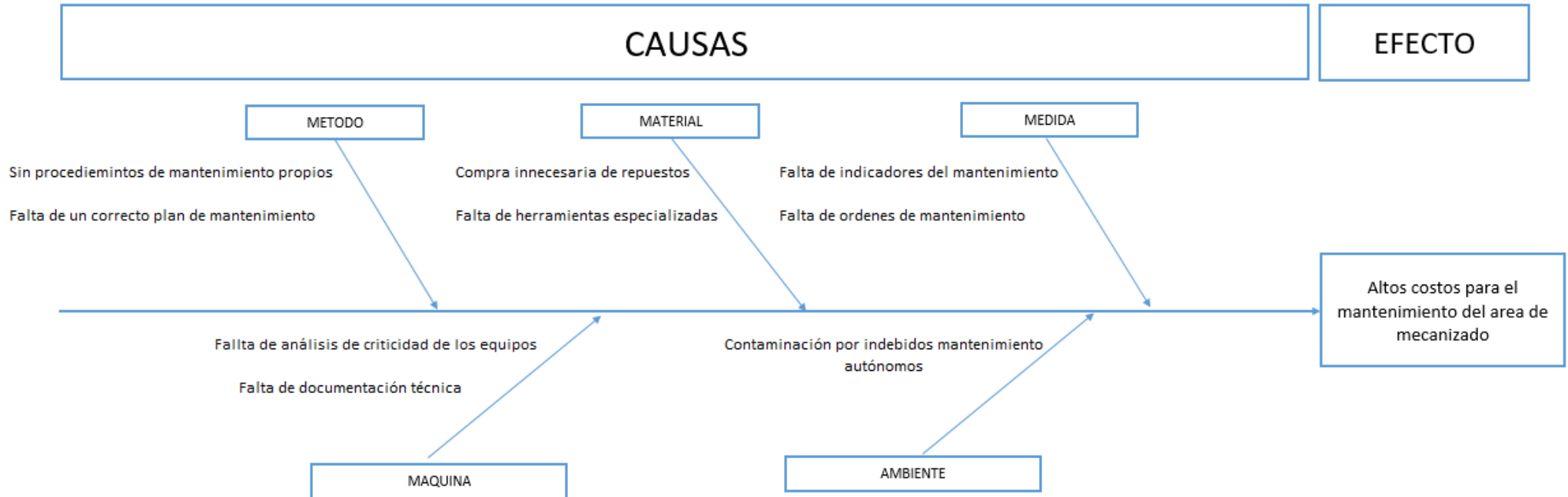


Figura 7. Diagrama de Ishikawa

En la siguiente tabla se muestra el análisis de las posibles causas que originan el efecto de los altos costos del mantenimiento en el área de mecanizado según el diagrama de Ishikawa que se realizó.

Tabla 9
Análisis de las posibles causas que conllevan a la problemática

Causas	Incidencia en los sobre costos
Sin procedimientos de mantenimiento propios	Esta causa incide en los altos costos en mantenimiento de manera que sin procedimientos de mantenimiento se incurre en malas prácticas de actividades de mantenimiento o se realicen de manera empírica causando costos de reprocesos de reparación, es decir en volver a ejecutar un mantenimiento porque este no quedo realmente resuelto.
Falta de un correcto plan de mantenimiento	Esta causa incurre en los altos costos de mantenimiento debido a que el mantenimiento anual preventivo que se ejecuta actualmente es ineficiente y causa que se propicie fallas y averías que provocan paradas o indisponibilidad de maquina produciéndose así costos por dejar de producir, costos por cambios de repuestos y materiales, costos por penalizaciones o por incumplimiento de entrega.
Compra innecesaria de repuestos	Esta causa incide en los sobrecostos de mantenimiento de manera de que al no contar con una gestión de compras de repuestos formalizada por un plan de mantenimiento se realicen costos de repuestos que no se utilizan en realidad.
Falta de herramientas especializadas	Esta causa incurre en los altos costos de mantenimiento en la manera de que los técnicos de Maqpower que apoyan en pequeñas intervenciones en las maquinas CNC`s no cuentan con herramientas especiales que usan los proveedores, ocasionando el no poder resolver pequeñas fallas que se presentan y por lo tanto se opta por solicitar la intervención del proveedor que conlleva a mayores costos.
Falta de indicadores del mantenimiento	Esta causa incurre en sobrecostos de mantenimiento de tal manera que al no contar con estos impide medir y mejorar índices que ocasionan costos por tiempo prolongado de reparación, tiempos cortos para el suceso de fallas e indisponibilidad de equipos.
Falta de órdenes de mantenimiento	Esta causa incide en los sobrecostos de mantenimiento de manera que al no contar con una orden de mantenimiento no se puede registrar las actividades de mantenimiento ni la utilización de materiales o repuestos ni contar con información que brinde mejorar el proceso de mantenimiento, por lo tanto, conlleva a sobrecostos por mal procedimiento.
Falta de análisis de criticidad de los equipos	Esta causa incurre en los altos costos de mantenimiento de tal forma que, al no contar con una criticidad de equipos, los mantenimientos no se priorizan, y se deja de atender lo más importante ocasionando sobre costos por no atender lo principal.
Falta de documentación técnica	Esta causa incurre en los altos costos de mantenimiento de tal forma que, el no contar con documentación técnica ocasiona que el mantenimiento se prolongue y por tanto menos utilización de equipos ocasionando costos por dejar de producir.
Contaminación por indebidos mantenimientos autónomos	Esta causa incide en los sobrecostos de mantenimiento de manera que la contaminación por aceites o refrigerantes en los tableros de sistemas electrónicos ocasionan fallas y detenimiento del equipo, por consecuencia genera costos de indisponibilidad.

3.2.4 Matriz de priorización de causa raíz

Con las causas obtenidas en el Diagrama de Ishikawa se conformó una encuesta tomada al personal involucrado para que estas se puedan ponderar y posteriormente realizar un diagrama de Pareto para así analizar al detalle las principales causas que originan la problemática. El formato de la encuesta se encuentra en los anexos. A continuación, en la tabla 10, se muestra el resultado de priorización de cada causa raíz.

Tabla 10
Cruce de información de las encuestas

Causas / Personal encuestado		Jefe de	Jefe de	Jefe de diseño	Jefe de	Total
		Operaciones	mantenimiento		mecanizado	
1	Falta de un correcto plan de mantenimiento	3	4	3	4	14
2	Falta de indicadores del mantenimiento	4	4	2	3	13
3	Compra innecesaria de repuestos	2	2	2	2	8
4	Falta de herramientas especializadas	2	2	1	2	7
5	Falta de análisis de criticidad de los equipos	4	4	2	2	12
6	Falta de órdenes de mantenimiento	3	4	2	4	13
7	Sin procedimientos de mantenimientos propios	3	4	1	3	11
8	Falta de documentación técnica	2	4	1	3	10
9	Contaminación por indebidos mantenimientos autónomos	1	1	1	1	4

3.2.4.1 Validación de la encuesta

Para la validación de la encuesta Priorización de la causa raíz, se hizo uso del coeficiente alfa de CRONBACH, el cual nos indica que el valor mínimo aceptable para el coeficiente alfa de Cronbach es 0,70; por debajo de ese valor la consistencia interna de la escala utilizada es baja. El coeficiente alfa de CRONBACH para esta encuesta fue de 0.89 lo cual nos indica dicha encuesta tiene una excelente validez, lo cual nos permitió poder aplicar la herramienta de Pareto.

Tabla 11
Valoración de fiabilidad según el coeficiente de alfa de cronbach

α	
<0.53	Validez nula
0.54-0.59	Validez baja
0.60-0.65	Valida
0.66-0.71	Muy valida
0.72-0.99	Excelente validez
1	Validez perfecta

Tabla 12
Índice de coeficiente de cronbach

ENC/No PREG	1	2	3	4	5	6	7	8	9	TOTAL
1	3	4	2	2	4	3	3	2	1	24
2	4	4	2	2	4	4	4	4	1	29
3	3	2	2	1	2	2	1	1	1	15
4	4	3	2	2	2	4	3	3	1	24

Tabla 13
Coefficiente de cronbach

α	0.89338
K	9
\sum VAR	5.25
VARIANZA TOTAL	25.5

3.2.5 Diagrama de Pareto

En la tabla 14 se aprecia como se ordenaron las causas de mayor a menor según las frecuencias obtenidas de las encuestas:

Tabla 14
Frecuencia de las causas

Causas	Descripción	Frecuencia	Acumulado %
CR 1	Falta de un correcto plan de mantenimiento	14	15.22%
CR2	Falta de órdenes de mantenimiento	13	29.35%
CR3	Falta de indicadores del mantenimiento	13	43.48%
CR4	Falta de análisis de criticidad de los equipos	12	56.52%
CR5	Sin procedimientos de mantenimientos propios	11	68.48%
CR6	Falta de documentación técnica	10	79.35%
CR7	Compra innecesaria de repuestos	8	88.04%
CR8	Falta de herramientas especializadas	7	95.65%
CR9	Contaminación por indebidos mantenimientos autónomos	4	100.00%

En la siguiente figura se muestra el Diagrama de Pareto.



Figura 8. Diagrama de Pareto

Con los datos de la Tabla 14, se elaboró el Diagrama de Pareto y se obtuvo como resultado que las causas principales de los sobrecostos de mantenimiento son los que se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 15
Causas principales de los sobrecostos de mantenimiento

CAUSAS	DESCRIPCIÓN
CR1	Falta de un correcto plan de mantenimiento
CR2	Falta de órdenes de mantenimiento
CR3	Falta de indicadores del mantenimiento
CR4	Falta de análisis de criticidad de los equipos
CR5	Sin procedimientos de mantenimiento propios
CR6	Falta de documentación técnica

De acuerdo con la Tabla 15, estas son las causas más importantes en las cuales se enfocará cubrir esta investigación.

3.3 Desarrollo de la propuesta

De acuerdo con el objetivo específico 2 de la presente investigación que es el desarrollar una propuesta de un plan de mantenimiento para reducir costos, se tiene lo siguiente: la propuesta busca fidelizar un plan de mantenimiento basado en un análisis RCM y constituir así una mejora en sus planes de mantenimiento basándonos en los modos de fallas más críticos del equipo; de esta manera reducir los costos o gastos que incurre actualmente el mantenimiento en el área de mecanizado.

3.3.1 Gantt de la propuesta del plan de mantenimiento

A continuación, en la siguiente figura se muestra un diagrama Gantt donde se observa el tiempo que se ha dedicado a las actividades para dar creación al plan de mantenimiento que se propone en la tesis y que se ha desarrollado a lo largo de esta investigación.

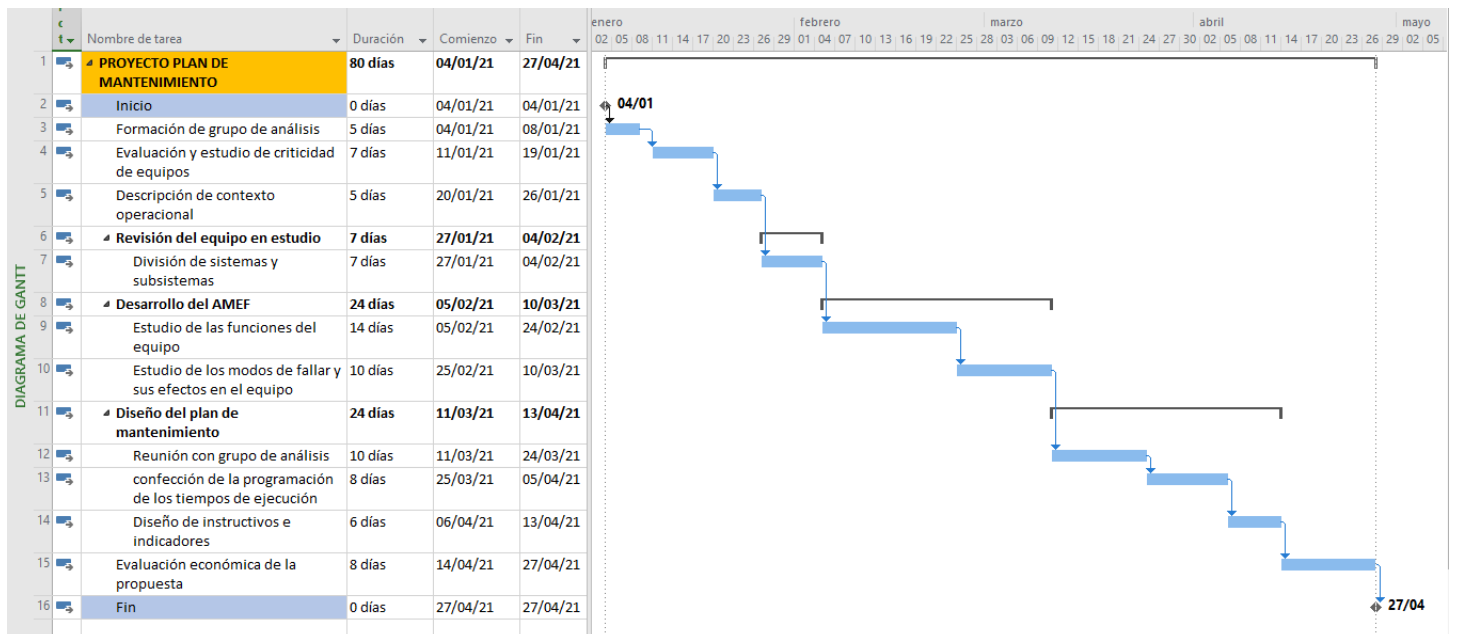


Figura 9. Diagrama Gantt

3.3.2 Formación de grupo de análisis.

Siguiendo las pautas de la metodología del mantenimiento basado en confiabilidad RCM, es necesario formar un grupo de análisis para el desarrollo de la metodología y podamos crear el plan de mantenimiento. La metodología recomienda que el grupo sea el más idóneo posible, esto es que sean las personas más involucradas con la operación, así tenemos la siguiente conformación:

- Facilitador: Investigadores de la tesis
- Especialista: Líder de INTERTECH, empresa contratista.
- Jefe de Mantenimiento
- Jefe de Mecanizado
- Jefe de producción

3.3.3 Evaluación de criticidad de equipos

Según el diagnóstico sobre cuál es la causa que genera sobrecostos en el área de mecanizado de la empresa MAQPOWER SAC, donde se ha determinado que dicha causa es un inadecuado mantenimiento que se efectúa a las máquinas, ahora mediante una evaluación de criticidad de equipos destacaremos cual es la máquina que más importancia tenga para el área y así plantear un plan de mantenimiento adecuado con miras de reducir los costos. De esta manera dejaremos como antecedente de este plan de mantenimiento para que pueda implementarse en las otras máquinas no tan críticas y así llevar un mejor control y gestión del mantenimiento.

La encuesta tomada a los jefes involucrados directamente en el área de mecanizado sobre la criticidad de los equipos se realizó tomando en consideración los puntos tales como: impacto productivo, nivel de repuestos críticos, impacto de costos de reparación, impacto de calidad e impacto de seguridad; bajo una calificación de 1 al 10, siendo 1 de menor impacto y 10 de mayor impacto. La encuesta tiene el nombre de Encuesta de Evaluación de Criticidad de

Equipos y ha sido validada por juicio de expertos, el modelo de esta encuesta se encuentra en los anexos.

3.3.3.1 Criterios de evaluación

Para la evaluación se ha tenido en consideración los siguientes puntos:

- Cada factor es evaluado del 1 – 10.
- El valor máximo de Criticidad que se puede obtener es de 130.
- Para las Frecuencias de Fallas de todos los equipos se ha tomado un valor de 1, ya que la información en este asunto no ha sido fehaciente, al no contar con historial o registros en el área de mantenimiento.
- La ecuación matemática de la criticidad más conocida en la literatura está dada de la siguiente manera (Del Castillo, 2009).

$$CRITICIDAD = Frecuencia\ de\ falla \times Consecuencia$$

Donde la Consecuencia = (Impacto productivo x Nivel de repuestos críticos) + Impacto costo de reparación + Impacto seguridad + Impacto de calidad.

- Para la calificación de criticidad se contó con la siguiente tabla:

Tabla 16
Tabla de Calificación de criticidad

RANGO	CALIFICACION
130 - 101	Critico
100 - 81	Importante
80 - 1	Prescindible

3.3.3.2 Clasificación de los equipos

A continuación, en la tabla 17 se muestra la lista de equipos clasificados según la criticidad por los criterios mencionados anteriormente y producto de las encuestas tomadas por los especialistas del entorno del mantenimiento del área de mecanizado de la empresa MAQPOWER SAC.

Tabla 17

Tabla de clasificación de equipos

MAQUINAS	Frecuencia de fallas	Impacto Productivo	Nivel de Repuestos Críticos	Impacto Costo Reparación	Impacto de Calidad	Impacto de Seguridad	Consecuencia	Criticidad
1 C.M CNC V40iL LEDWELL	1	10	9	9	9	9	120	120
2 C.M CNC VM25 MILLTRONICS	1	9	8	8	8	9	95	95
3 TORNO CNC LYNX 300M DOOSAN N°7	1	8	8	9	9	8	93	93
4 TORNO CNC -LTC-20i LEADWELL	1	8	8	9	8	8	93	93
5 TORNO CNC LYNX 300M DOOSAN N°8	1	7	8	7	8	8	80	80
6 FRESADORA UNIVERSAL S80-SACHMAN	1	7	6	7	7	7	62	62
7 TORNO CONVENCIONAL SN500A-TRENS	1	7	6	6	7	7	59	59

De la tabla anterior, podemos observar que la calificación de la maquina más crítica para el área de mecanizado es el C.M CNC V40il LEDWELL, por lo que a continuación desarrollaremos un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM dejando la posibilidad más adelante que se pueda aplicar a las otras máquinas viendo la reducción de costos que conlleva un plan de mantenimiento propuesto.

3.3.3.3 Validación de encuesta de evaluación de criticidad de equipos

Para la validación de la encuesta Criticidad de los equipos, se hizo uso del coeficiente alfa de CRONBACH, el cual nos indica que el valor mínimo aceptable para el coeficiente alfa de Cronbach es 0,70; por debajo de ese valor la consistencia interna de la escala utilizada es baja. El coeficiente alfa de CRONBACH para esta encuesta fue de 0.87 lo cual nos indica dicha encuesta tiene una excelente validez, lo cual nos permitió realizar la evaluación de criticidad de los equipos.

Tabla 18
Índice de coeficiente de Cronbach

MAQ/No PREG	1	2	3	4	5	6	TOTAL
1	1	10	9	9	9	9	47
2	1	9	8	8	8	9	43
3	1	8	8	9	9	8	43
4	1	8	8	9	8	8	42
5	1	7	8	7	8	8	39
6	1	7	6	7	7	7	35
7	1	7	6	6	7	7	34

Tabla 19
coeficiente de Cronbach

α	0.87816
K	7
\sum VAR	4.6530612
VARIANZA TOTAL	18.816327

3.3.4 Descripción de contexto operacional

3.3.4.1 Operación de mecanizar

Para el proceso de fabricación de piezas, el material es retirado gradualmente de una pieza inicial de trabajo, por medio de una serie de operaciones, hasta llegar a una forma y medidas requeridas, la eliminación de material puede darse por medio de herramientas metálicas las cuales pueden tener uno o varios puntos o filos de corte o por medio de ruedas abrasivas (Knight & Boothroyd, 2006).

3.3.5 Sistemas y subsistemas de equipo a estudiar

Como parte de la metodología que se está siguiendo en esta investigación, se procedió a hacer una clasificación de las partes de la maquina a estudiar, C.M CNC V40il LEDWELL, en sistema y subsistemas de manera que se pueda relacionar con sus modos de falla correspondiente y luego poder vincular con las acciones de mantenimiento que se desprenderán luego del análisis.

A continuación, la tabla de sistemas y subsistemas del equipo.

Tabla 20
Sistemas y subsistemas del equipo CM CNC V-40il LEDWELL

SISTEMAS	SUBSISTEMAS
Unidad eléctrica	Gabinete eléctrico
Ejes	Conexionado eléctrico
	Finales de carrera ejes
ATC (Automatic Tool System)	Servomotores
	Tornillos de esfera
	Brazo
	Soportes de herramientas
Unidad refrigerante	Sensor posición torreta
	O`ring acople interno
Unidad hidráulica	Estanque refrigerante
	Conjunto de bomba hidráulico
Unidad lubricación	Válvula reductora de presión
	Estanque hidráulico
CNC 7200	Conjunto de bomba hidráulico
	Estanque hidráulico
Husillo	Conjunto bomba hidráulica
	Botonera y selectores
Puerta	Parámetros
	Correas de transmisión
	Ventilador
	Motor eléctrico
	Válvula neumática
	Plato
	Drawbar
Block (cuerpo husillo)	
Pistola neumática	Rodamiento puerta
	Riel puerta
	Switch de seguridad puerta
	Conjunto Pistola
	Manguera de pistola

A continuación, en la figura 10 se muestra el equipo en estudio, el centro de mecanizado CNC V-40iL LEADWELL.



Figura 10. CM CNC V-40iL LEADWELL.
Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=kRUjej3Ob2U&t=21s>

3.3.6 Desarrollo del Análisis de modos y efectos de falla.

A continuación, se hizo uso de la herramienta Análisis de modos y efectos de falla (AMEF), que nos sugiere el procedimiento de la metodología RCM, para que de esta forma tengamos mapeados los modos y efectos de fallos que se producen en nuestro equipo a estudiar y así prepararnos para definir las tareas que minimizaran o eliminaran dichos fallos. Es en este apartado donde se originará el código AMEF, compuesto por las funciones enumerados del 1 al 9, las fallas funcionales identificadas con las letras A, B y C, dependiendo la cantidad de fallas por función, y los modos de falla enumerados con 1, 2 o 3 por cada falla funcional. Cabe mencionar que para la realización del AMEF se consultó al grupo de análisis de la investigación.

En la tabla 21 se muestra el análisis de modo y efectos de falla del equipo C.M CNC V40iL LEDWELL.

Tabla 21
Análisis de modos y efectos de fallas (1/4)

FUNCIONES		FALLA FUNCIONAL		MODOS DE FALLA		EFECTOS DE FALLA	
1	Sujetar herramienta con una presión determinada para realizar mecanización	A	Atasco de la herramienta en portaherramientas de husillo	1	Bolas de retención del drawbar están secas	Detención de maquina por alarma de sincronización	
2	Efectuar a punto cero de referencia el retorno del equipo	A	No se efectúa el retorno del equipo a punto cero de referencia	1	Final de carrera de eje con problemas	Cae presión hidráulica totalmente al efectuar retorno del equipo	
				2	Desorientación de puntos de referencia en parámetros del CNC	Se presenta la alarma de sobre recorrido casi al término de la operación de retorno	
3	Sostener pieza durante mecanizado de forma uniforme y sin fluctuación	A	Pieza se suelta durante mecanizado	1	Fuga de estanque hidráulico	A) Al ver manómetro se verifica una presión hidráulica insuficiente	
				2	Fuga estanque refrigerante	B) Faltan pernos de fijación de estanque	
						C) Desgaste empaquetadura	
						A) Pedalera con refrigerante, activación de pedal	
						B) Faltan pernos de fijación	
						C) Desgaste empaquetadura	

Tabla 21
Análisis de modos y efectos de fallas (2/4)

	FUNCIONES	FALLA FUNCIONAL		MODOS DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
4	ATC debe realizar los movimientos (desplazar y girar) de acuerdo con su programación no perdiendo la alineación respecto al centro del husillo	A Carrusel porta herramienta no realiza los movimientos requeridos	1	Ductos de salida del sistema hidráulico obstruidos	Porta herramienta no se desplaza, falta de limpieza (filtro)
		B Carrusel porta herramienta pierde alineación respecto a centro del husillo	1	Presencia de desgaste o deformación en base de apoyo de porta herramienta	Aumento de vibraciones en mecanizado
			1	Módulo de husillo con alarma, obstinándose a entregar energía a motor de husillo	Alarma en pantalla CNC relacionado con servo amplificador de husillo
5	Husillo debe cumplir con la realización de los giros a una velocidad de corte programada y de manera fluida	A Husillo no gira al generar instrucción	2	Husillo trabado mecánicamente	Si se intenta girar manualmente no se puede realizar esta acción
			3	Selección de velocidades no realizadas	Parpadeo de luz de confirmación de velocidades (pantalla CNC)
		B Husillo no se detiene al finalizar mecanizado	1	Correas de transmisión en mal estado	Sonido en motor husillo al finalizar su labor
	C Husillo genera exceso de vibraciones	1	Motor eléctrico posee fuga eléctrica a tierra	Excesos de vibración al girar con o sin plato asentado	

Tabla 21
Análisis de modos y efectos de fallas (3/4)

FUNCIONES		FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA		EFFECTOS DE FALLA
6	Mecanizar componentes sin superar desviaciones diametrales permitidas por las dimensiones programadas	A Desviación sobre las dimensiones diametrales permitidas	1	Holgura entre rodamientos de tornillo (Eje X)	En las mediciones reales superan las permitidas (teóricas) en todas las simulaciones
			2	Eje de husillo desalineado (respecto eje Z)	Pieza mecanizada presenta caras cónicas
7	Conservar de manera limpia y constante la refrigeración líquida necesaria y el medio durante el proceso de mecanizado	A No sale liquido refrigerante desde torreta	1	Entrada de bomba refrigerante obstruida	Liquido refrigerante contaminado. Nivel de refrigerante y ventilador de bomba no esté en óptimas condiciones
			B	No se conserva limpio el medio durante el proceso de mecanizado	1 Fuga de refrigerante desde estanque

Tabla 21
Análisis de modos y efectos de fallas (4/4)

FUNCIONES		FALLA FUNCIONAL		MODOS DE FALLA		EFFECTOS DE FALLA
8	Lubricar componentes y partes móviles del equipo durante 10 segundos cada 20 minutos	A	Lubricación deficiente	1	Bomba de lubricación obstruida	Se aprecia lubricación deficiente en bancada y en guías. Al accionar manualmente, el manómetro marca presión, pero disminuye en un rango de tiempo
				2	Manómetro representa una presión inferior a 0.3 bar	Intervalos de tiempo de lubricado cambian
9	Cierre y apertura automática de puerta principal al iniciar y finalizar proceso	A	Apertura y cierre defectuoso	1	Switch de puerta corrido	Cierra puerta, pero no inicia ciclo por alarma de puerta abierta

3.3.7 Jerarquización de modos de fallos

Una vez definidos los eventos de fallas se procede a jerarquizar el riesgo de cada uno de los modos de fallas en función del impacto que generan los mismos dentro del contexto operacional. Para esta jerarquización se usó del indicador NPR (Número de Prioridad de Riesgo), que lo que busca es que se tenga una clasificación de los modos de fallos según su impacto en seguridad y medio ambiente, calidad, producción y mantenimiento.

3.3.7.1 Cálculo del Número de Prioridad de Riesgo

El cálculo del NPR se da por la siguiente ecuación:

$$NPR = S \times O \times D$$

Donde NPR = Número de Prioridad de Riesgo

S = Severidad; O = Ocurrencia; D= Detección.

Según la norma SAE J1739 (2009), los criterios de valorización son valores del 1 al 10.

A continuación, las consideraciones de los parámetros con sus tablas correspondientes.

Severidad (S): Según la norma SAE J1739 (2009) la severidad es el rango asociado con el efecto más grave para un modo de falla determinado. Este parámetro está basado en factores de seguridad e impacto operacional.

En la tabla siguiente se muestra los valores para este parametro.

Tabla 22
 Criterio de valores de la severidad

EFEECTO	CRITERIO: CONSECUENCIA O SEVERIDAD DEL EFEECTO	VALOR
Peligros sin advertencia	Pone en peligro la seguridad del operador. Muy alta valorización del efecto respecto a la consecuencia producida, debido a que el modo de fallo afecta peligrosamente a la vida del operario. La falla no se advierte al ocurrir.	10
Peligros con advertencia	Pone en peligro la seguridad del operador. Muy alta valorización del efecto respecto a la consecuencia producida, debido a que el modo de fallo afecta peligrosamente a la vida del operario. La falla se advierte al ocurrir.	9
Muy alto	Perturbaciones muy grave a la línea productiva. Equipo inoperable en un 100% y sus tiempos de reparación son igual o mayor a 180 mín. Encargado de producción muy insatisfecho.	8
Alto	Perturbaciones muy grave a la línea productiva. Equipo inoperable en un 100% y sus tiempos de reparación entre 120 – 179 mín. Encargado de producción muy insatisfecho.	7
Moderado	Perturbación a la línea productiva. Equipo inoperable en un 100% y sus tiempos de reparación entre 60 – 119 mín. Encargado de producción muy insatisfecho.	6
Bajo	Perturbaciones en la línea productiva. Equipo inoperable en un 100% y sus tiempos de reparación entre 30 – 59 mín. Encargado de producción insatisfecho.	5
Muy bajo	Perturbaciones en la línea productiva. Equipo inoperable en un 100% y sus tiempos de reparación entre 1 – 29 mín. Encargado de producción insatisfecho.	4
Menor	Perturbaciones a la línea productiva. Equipo operable pero no con todos los items necesario, con bajo rendimiento respecto a los tiempos de ciclo (disminución 50% del ideal). Baja en la calidad del producto. Encargado de producción insatisfecho.	3
Muy menor	Perturbaciones a la línea productiva. Equipo operable pero no con todos los items necesario, con bajo rendimiento respecto a los tiempos de ciclo (disminución 80% del ideal). Baja en la calidad del producto. Encargado de producción insatisfecho.	2
Ninguno	Sin consecuencia del efecto.	1

Tomado de “ Plan de mantenimiento para torno CNC de Renault Cormecanica”, tesis de pregrado, por Contreras, D (2017). Universidad Técnica Federico Santa María en Chile.

Ocurrencia (O): Según la norma SAE J1739 (2009) la ocurrencia es la probabilidad de que ocurra una causa / mecanismo específico durante la vida útil del diseño. El número de clasificación de probabilidad de ocurrencia tiene un significado relativo en lugar de un valor absoluto. En la siguiente tabla se muestra los criterios de valores de ocurrencia.

Tabla 23
Criterio de valores de ocurrencia

Ocurrencia	Criterio: Tasa de falla	Valor
Muy alto	≥ 1 en 2	10
Alto	1 en 3	9
	1 en 4	8
	1 en 6	7
Moderado	1 en 8	6
	1 en 10	5
	1 en 12	4
Bajas	1 en 14	3
Muy Bajas	1 en 16	2
Remota	1 en 20	1

Tomado de “ Plan de mantenimiento para torno CNC de Renault Cormecanica”, tesis de pregrado, por Contreras, D (2017). Universidad Técnica Federico Santa María en Chile.

Detección (D): Según la norma SAE J1739 (2009) la detección es una clasificación relativa, dentro del alcance del AMEF individual. Para lograr una clasificación más baja, generalmente se debe mejorar el control de diseño planificado (por ejemplo, actividades de validación y / o verificación).

En la tabla siguiente se muestra los criterios de los valores de detección.

Tabla 24
Criterio de valores de detección

Detección	Criterio: Probabilidad de detección en base a experiencia	Valor
Casi imposible	Pérdidas de tiempo (mayor a tres turnos) en detectar una vez que falló el equipo.	10
Muy remota	Pérdidas de tiempo en detectar (se detecta dos turnos) una vez que falló el equipo.	9
Remota	Pérdidas de tiempo en detectar (se detecta un turno) una vez que falló el equipo.	8
Muy baja	Pérdidas de tiempo en detectar (se detecta 4 horas, medio turno) una vez que falló el equipo.	7
Baja	Se detecta antes de que ocurra la falla. Técnicos especialistas demoran más 120 minutos en dar con el modo de fallo.	6
Moderada	Se detecta antes de que ocurra la falla. Técnicos especialistas demoran entre 90 - 120 minutos en dar con el modo de fallo.	5
Moderadamente alta	Se detecta antes de que ocurra la falla. Técnicos especialistas demoran entre 60 - 90 minutos en dar con el modo de fallo.	4
Alta	Se detecta antes de que ocurra la falla. Técnicos especialistas demoran entre 30 - 60 minutos en dar con el modo de fallo.	3
Muy alta	Se detecta antes de que ocurra la falla. Operador de activo demora entre 5 – 30 minutos en dar con el modo de fallo.	2
Detectable	Se detecta antes de que ocurra la falla. Operador de activo descubre la falla de manera inmediata.	1

Tomado de “ Plan de mantenimiento para torno CNC de Renault Cormecanica”, tesis de pregrado, por Contreras, D (2017). Universidad Técnica Federico Santa María en Chile.

En la tabla 25 se muestra a continuación la jerarquización de los modos de fallo mediante el cálculo de NPR a cada uno de ellos, ordenadamente desde el más alto NPR hasta el menor que presentan los modos de fallo; se muestra también el sistema y subsistema que corresponden. Para la obtención del resultado NPR se tuvo el apoyo del grupo de análisis.

Tabla 25

Jerarquización de modo de fallos (1/2)

ID (AMFE)	MODOS DE FALLOS		S	O	D	RPN	SISTEMA	SUBSISTEMA
1	4-A-1	Ductos de salida del sistema hidráulico obstruidos	10	8	9	720	Unidad hidráulica	Conjunto de bomba hidráulica
2	5-C-1	Motor eléctrico posee fuga eléctrica a tierra	8	8	9	576	Husillo	Motor eléctrico
3	5-B-1	Correas de transmisión en mal estado	6	7	7	294	Husillo	Correas de transmisión
4	3-A-1	Fuga de estanque hidráulico	9	8	4	288	Unidad hidráulica	Estanque hidráulico
5	4-B-1	Presencia de desgaste o deformación en base de apoyo de porta herramienta	7	9	4	252	ATC	Soporte porta herramienta
6	7-B-1	Fuga de refrigerante desde estanque	10	8	3	240	Unidad refrigerante	Estanque refrigerante
7	3-A-2	Fuga estanque refrigerante	10	8	3	240	Unidad refrigerante	Estanque refrigerante
8	5-A-2	Husillo trabado mecánicamente	7	7	4	196	Husillo	Plato
9	7-A-1	Entrada de bomba refrigerante obstruida	4	5	8	160	Unidad refrigerante	Conjunto de bomba refrigerante
10	6-A-1	Holgura entre rodamientos de tornillo (Eje X)	2	8	9	144	Ejes	Tornillo de esfera
11	1-A-1	Bolas de retención del drawbar están secas	5	7	4	140	Husillo	Drawbar

Tabla 25

Jerarquización de modo de fallos (2/2)

ID (AMFE)	MODOS DE FALLOS	S	O	D	RPN	SISTEMA	SUBSISTEMA
12 9-A-1	Switch de puerta corrido	4	9	3	108	Puerta	Switch puerta
13 2-A-2	Desorientación de puntos de referencia en parámetros del CNC	4	2	7	56	CNC 7200	Parámetros CNC
14 8-A-1	Bomba de lubricación obstruida	7	1	7	49	Unidad de lubricación	Conjunto de bomba de lubricación
15 2-A-1	Final de carrera de eje con problemas	7	1	7	49	Ejes	Final de carrera
16 8-A-2	Manómetro representa una presión inferior a 0.3 bar	7	1	4	28	Unidad de lubricación	Conjunto de bomba de lubricación
17 6-A-2	Eje de husillo desalineado (respecto eje Z)	3	1	8	24	Husillo	Block
18 5-A-3	Selección de velocidades no realizadas	8	2	1	16	CNC	Parámetros CNC
19 5-A-1	Módulo de husillo con alarma, obstinándose a entregar energía a motor de husillo	5	2	1	10	CNC	Parámetros CNC

3.3.8 Árbol lógico de decisión de tareas de mantenimiento

A continuación, se procedió a analizar los 19 modos de falla encontrados para el equipo CM CNC V-40il LEAD WELL para poder determinar las actividades de mantenimiento que corresponderían a cada uno de ellos, utilizando como herramienta el Árbol Lógico de Decisión, figura 11, para luego completar la hoja de decisión, tabla 26, en donde se analizaron consecuencias de fallo oculto (H), consecuencia para la seguridad o el medio ambiente (E), Consecuencia operacionales (O) y no operacionales (S), respetando el sustento técnico determinado por el grupo de análisis.

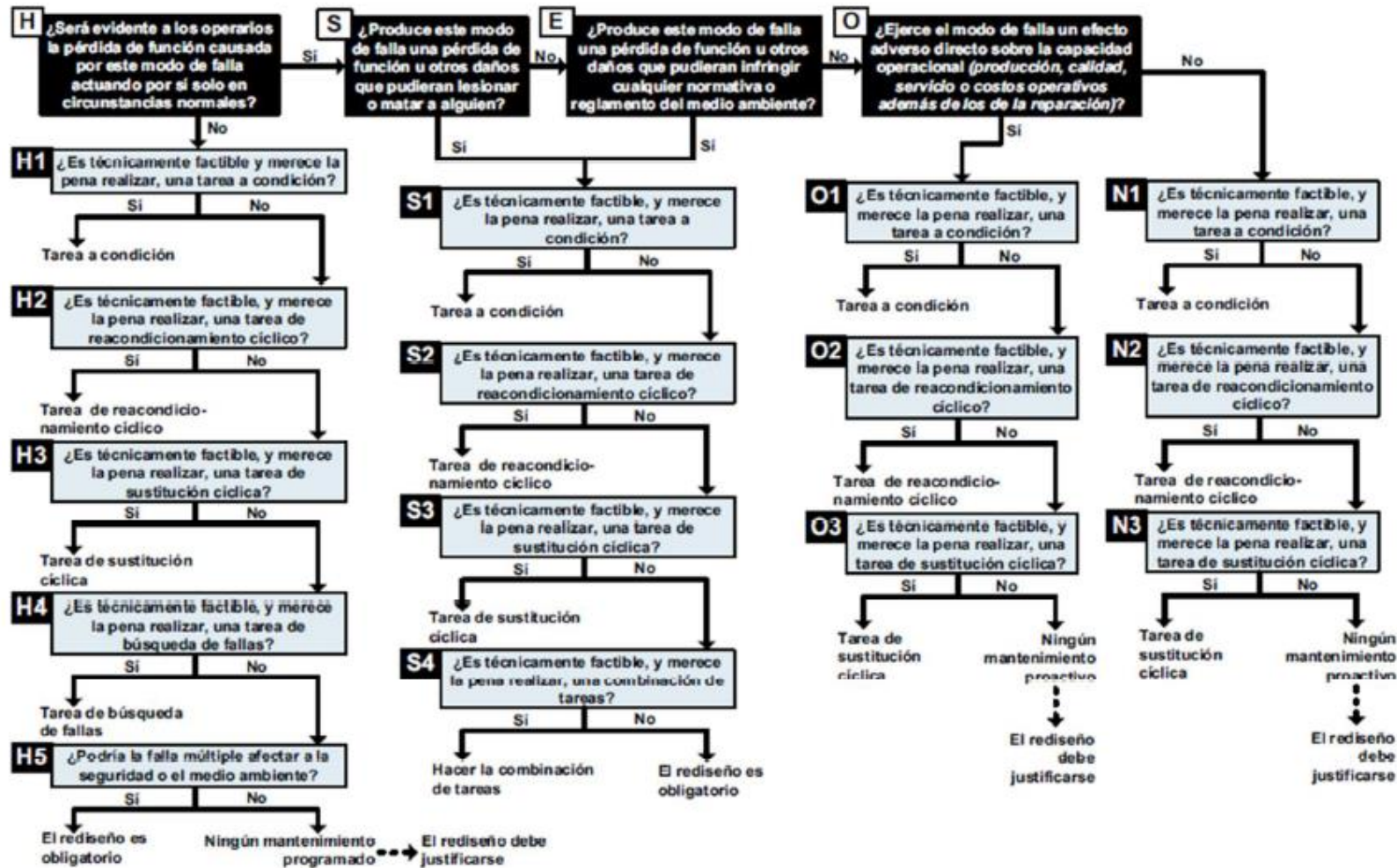


Figura 11. Árbol Lógico de Decisión.

Tomado de “Propuesta de mantenimiento de un plan de mantenimiento centrado en la fiabilidad (RCM) para reducir los costos operativos de una empresa manufacturera de calzado”, tesis de pregrado, por Calderón, M (2020). Universidad Privada del Norte.

Tabla 26
 Hoja de decisión (1/2)

REFERENCIA DE INFORMACION			EVALUACION DE LAS CONSECUENCIAS				HI	H2	H3	TAREAS "A FALTA DE				TAREAS PROPUESTAS	PERIODO	A REALIZAR POR		
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	O1	O2	O3	H4				H5	S4
4	A	1	S	N	S	-	N	S	-	-	-	-	-	-	-	Limpieza de partes de bomba, cambio de filtro si se encuentra en estado defectuoso. Limpieza de ductos de bomba hidráulica.	Semestral	Mecánico
5	C	1	S	S	-	-	N	S	-	-	-	-	-	-	-	Medir resistencias con multímetro (Rmax bobinas 5% y Ra 10 Mohm). Verificar estado de ventilador y rodamiento.	Trimestral	Eléctrico
5	B	1	N	-	-	-	N	S	-	-	-	-	-	-	-	Ajuste de tensión de correa y aplicar gota de lubricante.	Trimestral	Mecánico
3	A	1	S	N	S	-	N	S	-	-	-	-	-	-	-	Verificar estado de empaquetadura estanque. Cambio si presenta desgaste. Adaptar de manera correcta todos los pernos de fijación de depósito.	Cuatrimestral	Mecánico
4	B	1	S	N	N	S	N	S	-	-	-	-	-	-	-	Verificar estado, reparar soportes deteriorados y cambiar los que tengan exceso de desgaste y deformación.	Cuatrimestral	Mecánico
7	B	1	S	S	-	-	N	S	-	-	-	-	-	-	-	Readaptar de manera correcta todos los pernos de fijación de depósito, verificando que no contenga fuga.	Semestral	Mecánico
3	A	2	S	S	-	-	N	S	-	-	-	-	-	-	-	Verificar estado de empaquetadura de estanque. Cambiar si presenta desgaste.	Cuatrimestral	Mecánico
5	A	2	S	N	N	S	N	S	-	-	-	-	-	-	-	Inspección, limpieza y lubricación en transmisión y acoplamientos.	Trimestral	Mecánico
7	A	1	S	N	S	-	N	S	-	-	-	-	-	-	-	Limpieza de partes de bomba, cambio de filtro si se encuentra en estado defectuoso. Limpieza de ductos de bomba refrigerante.	Semestral	Mecánico

Tabla 26
 Hoja de decisión (2/2)

REFERENCIA DE INFORMACION			EVALUACION DE LAS CONSECUENCIAS				HI	H2	H3	TAREAS "A FALTA DE"				TAREAS PROPUESTAS	PERIODO	A REALIZAR POR
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4				
							O1	O2	O3							
6	A	1	N	-	-	-	N	S	-	-	-	-	Comprobar que holgura entre rodamientos de contacto angular no supere los 0.04 mm, de lo contrario adecuar/cambiar rodamientos.	Semestral	Mecánico	
1	A	1	S	N	N	S	N	S	-	-	-	-	Aplique grasa RED-i a las bolas de retención.	Trimestral	Mecánico	
9	A	1	S	S	-	-	N	S	-	-	-	-	Limpiar switch puerta, verificar conexiones y corregir anomalías. Incluye reemplazo si estado es defectuoso.	Bimensual	Eléctrico	
2	A	2	N	-	-	-	N	S	-	-	-	-	Revisar funcionamiento de programa y parámetros, volver a referenciar.	Semestral	Electrónico	
8	A	1	S	N	S	-	N	S	-	-	-	-	Limpieza o cambio de filtro si se encuentra en estado defectuoso	Semestral	Mecánico	
2	A	1	S	S	-	-	N	S	-	-	-	-	Revisar, limpiar y/o reemplazar finales con problemas	Bimensual	Eléctrico	
8	A	2	S	N	N	S	N	S	-	-	-	-	Verificar presión, si se presenta anomalía hacer limpieza y cambio de filtro y aceite.	Bimensual	Mecánico	
6	A	2	S	N	N	S	N	S	-	-	-	-	Comprobar desviación con mecanizado de prueba y corregir si se supera margen de error 0,0033%	Trimestral	Mecánico	
5	A	3	S	N	N	S	N	S	-	-	-	-	Limpiar botonera y verificar funcionamiento de parámetros de CNC	Trimestral	Electrónico	
5	A	1	S	N	N	S	N	S	-	-	-	-	Verificar funcionamiento de parámetros y revisar voltajes de entrada y salida de servoamplificador. Realizar limpieza a ventilador de servoamplificador	Trimestral	Eléctrico	

3.3.9 Plan de mantenimiento

Luego de contar con un análisis de modos y efecto de falla y haber priorizado estos modos mediante la jerarquización de riesgos de estos mismos mediante el criterio del indicador NPR para luego de ello, usar la hoja de decisión que dio respuesta a las preguntas del diagrama de decisión y en consecuencia determinar las acciones de mantenimientos para cada uno de los 19 modos de falla descritos en la investigación, se procedió a crear el plan de mantenimiento para el equipo crítico CM CNC V-40il leadwell. Cabe mencionar que todo este análisis fue apoyado por la experiencia y el conocimiento del grupo de análisis creado para la investigación.

La propuesta de un plan de mantenimiento descrito consta de una programación de los mantenimientos y documentos que son necesarios para mejorar la gestión del mantenimiento dentro de la empresa MAQPOWER SAC que carece de estos, dando paso posteriormente a llevar indicadores que se apoyen de los datos obtenidos de estas herramientas.

3.3.9.1 Programación del mantenimiento

A continuación, en la Tabla 27 se muestra las tareas a realizar por cada modo de falla analizado, con el tiempo de ejecución, el periodo y el ejecutor; cabe señalar que esta programación se confecciono según las experiencias de los especialistas involucrados en el área y más precisamente en este equipo.

Tabla 27
Programa de mantenimiento (1/2)

ID (AMFE)	SUBSISTEMA	TAREA A REALIZAR	TIEMPO ESTIMADO (hh:mm)	PERIODO	EJECUTOR ESPECIALISTA	
1	4-A-1	Conjunto de bomba hidráulica	Limpieza de partes de bomba, cambio de filtro si se encuentra en estado defectuoso. Limpieza de ductos de bomba hidráulica.	5:00	Semestral	Mecánico
2	5-C-1	Motor eléctrico	Medir resistencias con multímetro (Rmax bobinas 5% y Ra 10 Mohm). Verificar estado de ventilador y rodamiento.	3:00	Trimestral	Eléctrico
3	5-B-1	Correas de transmisión	Ajuste de tensión de correa y aplicar gota de lubricante.	2:00	Trimestral	Mecánico
4	3-A-1	Estanque hidráulico	Verificar estado de empaquetadura estanque. Cambio si presenta desgaste. Adaptar de manera correcta todos los pernos de fijación de depósito.	1:00	Cuatrimestral	Mecánico
5	4-B-1	Soporte porta herramienta	Verificar estado, reparar soportes deteriorados y cambiar los que tengan exceso de desgaste y deformación.	4:00	Cuatrimestral	Mecánico
6	7-B-1	Estanque refrigerante	Readaptar de manera correcta todos los pernos de fijación de depósito, verificando que no contenga fuga.	1:00	Semestral	Mecánico
7	3-A-2	Estanque refrigerante	Verificar estado de empaquetadura de estanque. Cambiar si presenta desgaste.	1:00	Cuatrimestral	Mecánico
8	5-A-2	Block (cuerpo husillo)	Inspección, limpieza y lubricación de transmisión y acoplamientos.	1:30	Trimestral	Electrónico
9	7-A-1	Conjunto de bomba refrigerante	Limpieza de partes de bomba, cambio de filtro si se encuentra en estado defectuoso. Limpieza de ductos de bomba refrigerante.	5:00	Semestral	Mecánico

Tabla 27
Programa de mantenimiento (2/2)

ID (AMFE)	SUBSISTEMA	TAREA A REALIZAR	TIEMPO ESTIMADO (hh:mm)	PERIODO	EJECUTOR ESPECIALISTA
10 6-A-1	Tornillo de esfera	Comprobar que holgura entre rodamientos de contacto angular no supere los 0.04 mm, de lo contrario adecuar/cambiar rodamientos.	4:00	Semestral	Mecánico
11 1-A-1	Drawbar	Aplique grasa RED-i a las bolas de retención.	2:00	Trimestral	Mecánico
12 9-A-1	Switch puerta	Limpiar switch puerta, verificar conexiones y corregir anomalías. Incluye reemplazo si estado es defectuoso.	1:30	Bimensual	Eléctrico
13 2-A-2	Parámetros CNC	Revisar funcionamiento de programa y parámetros, volver a referenciar.	2:00	Semestral	Electrónico
14 8-A-1	Conjunto de bomba de lubricación	Limpieza o cambio de filtro si se encuentra en estado defectuoso	5:00	Semestral	Mecánico
15 2-A-1	Final de carrera	Revisar, limpiar y/o reemplazar finales con problemas	1:30	Bimensual	Mecánico
16 8-A-2	Conjunto de bomba de lubricación	Verificar presión, si se presenta anomalía hacer limpieza y cambio de filtro y aceite.	2:00	Bimensual	Mecánico
17 6-A-2	Block	Comprobar desviación con mecanizado de prueba y corregir si se supera margen de error 0,0033%	2:00	Trimestral	Mecánico
18 5-A-3	Parámetros CNC	Limpiar botonera y verificar funcionamiento de parámetros de CNC	2:30	Trimestral	Electrónico
19 5-A-1	Parámetros CNC	Verificar funcionamiento de parámetros y revisar voltajes de entrada y salida de servoamplificador. Realizar limpieza a ventilador de servoamplificador	2:00	Trimestral	Eléctrico

En la siguiente tabla se muestra el calendario según las tareas programadas.

Tabla 28
Calendario del programa de mantenimiento

ID (AMFE)	SUBSISTEMA	TAREA A REALIZAR	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
4-A-1	Conjunto de bomba hidráulica	Limpieza de partes de bomba, cambio de filtro si se encuentra en estado defectuoso. Limpieza de ductos de bomba hidráulica.		X						X				
5-C-1	Motor eléctrico	Medir resistencias con multímetro (Rmax bobinas 5% y Ra 10 Mohm). Verificar estado de ventilador y rodamiento.			X			X			X			X
5-B-1	Correas de transmisión	Ajuste de tensión de correa y aplicar gota de lubricante.	X			X			X			X		
3-A-1	Estanque hidráulico	Verificar estado de empaquetadura estanque. Cambio si presenta desgaste. Adaptar de manera correcta todos los pernos de fijación de depósito.		X				X				X		
4-B-1	Soporte porta herramienta	Verificar estado, reparar soportes deteriorados y cambiar los que tengan exceso de desgaste y deformación.				X				X				X
7-B-1	Estanque refrigerante	Readaptar de manera correcta todos los pernos de fijación de depósito, verificando que no contenga fuga.	X						X					
3-A-2	Estanque refrigerante	Verificar estado de empaquetadura de estanque. Cambiar si presenta desgaste.			X				X				X	
5-A-2	Block	Inspección, limpieza y lubricación en transmisión y acoplamientos.		X			X			X			X	
7-A-1	Conjunto de bomba refrigerante	Limpieza de partes de bomba, cambio de filtro si se encuentra en estado defectuoso. Limpieza de ductos de bomba refrigerante.			X						X			
6-A-1	Tornillo de esfera	Comprobar que holgura entre rodamientos de contacto angular no supere los 0.04 mm, de lo contrario adecuar/cambiar rodamientos.					X						X	
1-A-1	Drawbar	Aplique grasa RED-i a las bolas de retención.	X			X			X			X		
9-A-1	Switch puerta	Limpiar switch puerta, verificar conexiones y corregir anomalías. Incluye reemplazo si estado es defectuoso.		X		X		X		X		X		X
2-A-2	Parámetros CNC	Revisar funcionamiento de programa y parámetros, volver a referenciar.					X						X	
8-A-1	Conjunto de bomba de lubricación	Limpieza o cambio de filtro si se encuentra en estado defectuoso			X						X			
2-A-1	Final de carrera	Revisar, limpiar y/o reemplazar finales con problemas	X		X		X		X		X		X	
8-A-2	Conjunto de bomba de lubricación	Verificar presión, si se presenta anomalía hacer limpieza y cambio de filtro y aceite.		X		X		X		X		X		X
6-A-2	Block	Comprobar desviación con mecanizado de prueba y corregir si se supera margen de error 0,0033%			X			X			X			X
5-A-3	Parámetros CNC	Limpiar botonera y verificar funcionamiento de parámetros de CNC	X			X			X			X		
5-A-1	Parámetros CNC	Verificar funcionamiento de parámetros y revisar voltajes de entrada y salida de servoamplificador. Realizar limpieza a ventilador de servoamplificador		X			X			X			X	

3.3.9.2 Documentos de mantenimiento

Como parte de la propuesta de un plan de mantenimiento para reducir costos en el área de mecanizado de la empresa MAQPOWER SAC, se presenta los siguientes documentos para llevar un registro en cuanto a los mantenimientos y sus costos asociados.

Orden de mantenimiento : Este documento permitira tomar los datos de tiempos de reparación, tipo de averia, mantenimiento ejecutado, repuestos utilizados y tiempo de reposicion del ciclo productivo. Esta implementacion de orden de mantenimiento permitira obtener indicadores con los cuales se podran registrar en un programa de excel automatizado con lo que se lograra llevar un control y posterior mejoramiento de estos indicadores. A continuación se muestra en la Figura 12 la ficha de orden de mantenimiento.

 EQUIPOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA		ORDEN DE MANTENIMIENTO			
N° DE ORDEN		FECHA DE SOLICITUD			
SOLICITADO POR		HORA DE SOLICITUD			
		MÁQUINA			
ÁREA		CÓDIGO			
PRIORIDAD	1	2	3	Definición de priorización: 1: alto - 2: Medio - 3: Bajo	
PROGRAMACIÓN DE LA TAREA DE MANTENIMIENTO					
EMPRESA ENCARGADA				FECHA Y HORA DE FINALIZACIÓN	
FECHA Y HORA DE INICIO					
DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO					
FALLA		AVERIA		MANT. CORRECTIVO	MANT. PREVENTIVO
OPERACIÓN					
HERRAMIENTAS					
OBSERVACIÓN					
MATERIALES Y REPUESTOS					
N°	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN		CANTIDAD	COSTO
1					
2					
3					
4					
5					
6					
COSTO TOTAL					
OBSERVACIONES					
INSPECCIONADO POR:			RESPONSABLE:		
NOMBRE			NOMBRE		
CARGO			CARGO		
FIRMA			FIRMA		

Figura 12. Ficha de orden de mantenimiento

3.3.9.3 Revisión de Indicadores

Como se menciono anteriormente, el área de mantenimiento en la actualidad no cuenta con indicadores que puedan medir su proceso como tal, por lo que se propone establecer indicadores procedentes de la información de las ordenes de mantenimiento.

Los indicadores propuestos son lo siguientes:

- **MTBF** : Este indicador brindara la información sobre que tan confiable son los equipos antes que empiecen a fallar, lo que se espera es que tienda a un valor de tiempo alto.
- **MTTR** : Este indicador hara saber que tan efectivo es la intervención de mantenimiento en términos de tiempo de ejecución. Se espera que sea el menor tiempo posible.
- **Disponibilidad** : Este indicador mostrara que tan operativo se encuentra nuestros equipos para que sigan funcionando en el tiempo que se requiere.
- **Cumplimiento del plan de mantenimiento** : Este indicador señalara en que porcentaje se cumple los mantenimientos programados en el plan y luego de ahí poder medir la efectividad de su ejecución.

En la siguiente figura se muestra cómo se considerara registrar por mes cada uno de los indicadores para cada una de las maquinas, el formato completo se encuentra en los anexos.

MAQUINAS AREA MECANIZADO		MTTR		MTBF		DISPONIBILIDAD		Cumplimiento del plan de mantenimiento	
		Medido	META	Medido	META	Medido	META	Medido	META
1	C.M CNC VM25 MILLTRONICS		1,5 H		200 H		97%		100%
2	C.M CNC V40iL LEDWELL		1,5 H		200 H		97%		100%
3	TORNO CNC LYNX 300M DOOSAN N°7		1,5 H		200 H		97%		100%
4	TORNO CNC -LTC-20i LEADWELL		1,5 H		200 H		97%		100%
5	TORNO CNC LYNX 300M DOOSAN N°8		1,5 H		200 H		97%		100%
6	TORNO CONVENCIONAL SN500A-TRENS		1,5 H		200 H		97%		100%
7	FRESADORA UNIVERSAL S80-SACHMAN		1,5 H		200 H		97%		100%

Figura 14. Indicadores propuestos

3.3.10 Flujograma del proceso de mantenimiento propuesto

A continuación, se muestra en la figura 15, la propuesta de un flujograma de proceso de mantenimiento preventivo, que, a diferencia del flujograma actual, se puede observar que se considera la ejecución del plan del mantenimiento propuesto, el cual contiene actividades ajustadas a ciertas frecuencias mensuales según el estudio de la investigación. También se sugiere el uso de la ficha de orden de mantenimiento, la cual es de vital importancia para la recaudación de información que derivará al llenado de otros documentos como el formato de indicadores y el historial de fallas. Todos estos documentos con llevan a un mejor análisis de las actividades que favorece al plan de mantenimiento y mejoran la gestión del área.

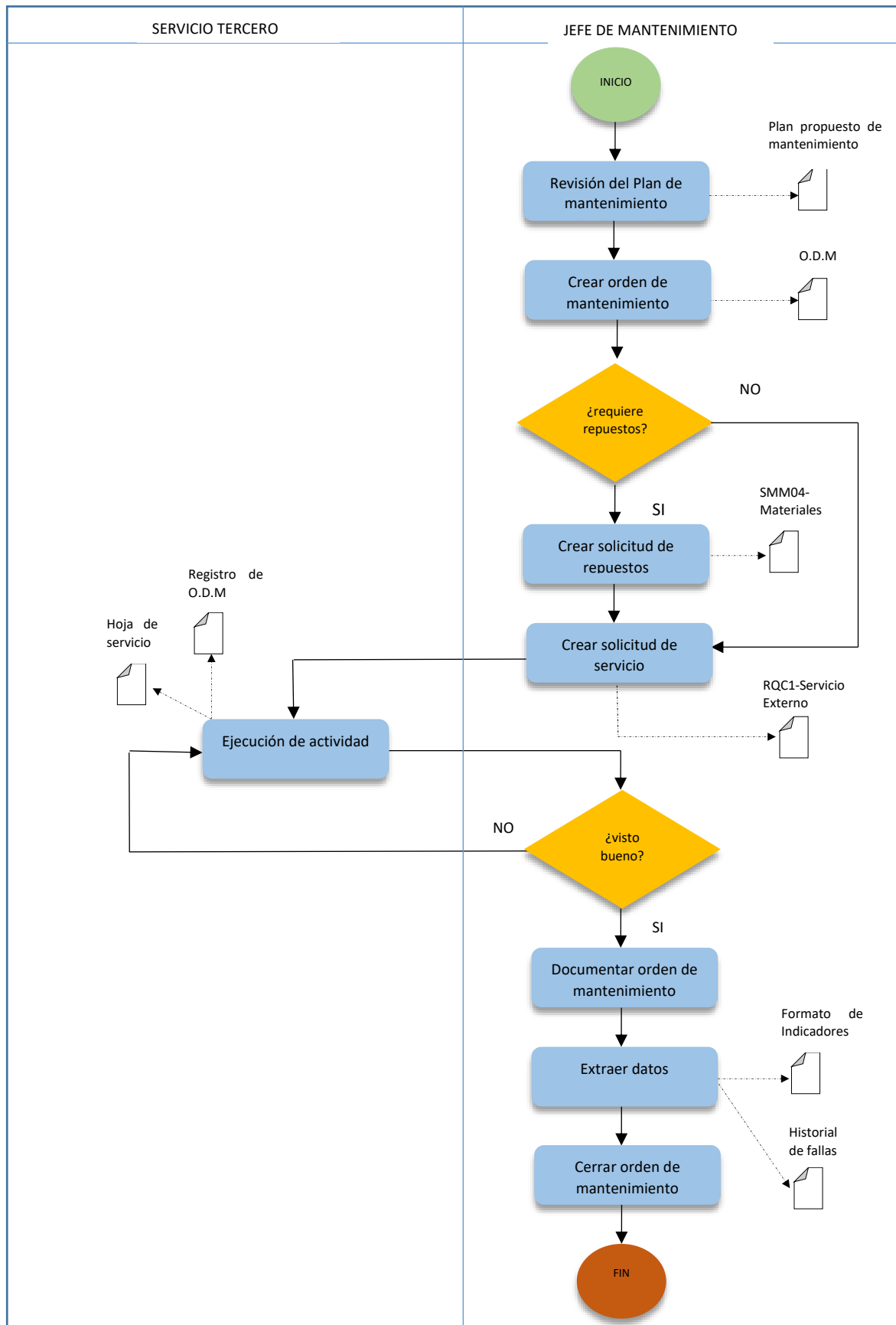


Figura 15. Flujograma propuesto de mantenimiento

3.4 Evaluación económica de la propuesta

3.4.1 Consideraciones para el cálculo de costos

Una buena gestión de mantenimiento implica tener mapeado todos los costos en que se incurre al realizar cualquier tipo de mantenimiento, entre estos podemos mencionar, los costos de servicio, costos de insumos, costos de repuestos y el que tiene mayor impacto monetario es el costo en que se incurre por dejar producir a causa de un mantenimiento correctivo, es por ello que se ha buscado poder obtener el costo de producción por hora en el área de mecanizado de la empresa MAQPOWER.

A continuación, en las siguientes tablas se detalla los datos de producción y el cálculo del costo de producción (data obtenida del responsable de costos).

Tabla 29

Datos de producción

DATOS DE PRODUCCION		
PROMEDIO DE CANTIDAD PRODUCIDA X MES	1390	UND
COSTO TOTAL X MES	\$71,418.17	\$
HORAS POR MES	200	HR

Tabla 30

Costo de producción por hora

COSTO DE PRODUCCION POR HORA	
MARGEN DE GANANCIA	100%
COSTO PROMEDIO POR UNIDAD	\$51.38
UNIDADES PRODUCIDAS POR HORA	6.95
COSTO X HORA	\$357.09
COSTO X HORA EN SOLES	S/. 1,328.38
UTILIDADES	S/. 1,328.38

T.C: 3.72

Tenemos que el costo de producción por hora es S/.1,328.38, el cual es el mismo a las ganancias debido a que aún la empresa está organizándose en costear correctamente lo que produce en el área de mecanizado, por lo cual tiene un margen de ganancia supuesto de 100%, ello para poder afrontar esta carencia del costeo.

Es por ello que se ha trabajado con este monto de margen de ganancia para los costos de modo de falla que se analizaran.

Con respecto a los costos de servicios de los mantenimientos en la maquina en estudio CM CNC V40il LEDWELL, estos fueron consultados a la empresa contratista INTERTECH que nos brindó dichos costos.

3.4.2 Costos por modos de fallo

A continuación, en las siguientes tablas se muestra el análisis económico con referencia a los costos que produce cada modo de falla cuando se considera un mantenimiento preventivo (costo anticipado) y cuando no se considera, ocasionando así un mantenimiento correctivo (costo no anticipado).

Tabla 31
 ID AMEF 4-A-1

ID AMEF		4-A-1		
MODO DE FALLA	Ductos de salida del sistema hidráulico obstruidos			
SISTEMA	Unidad hidráulica			
SUBSISTEMA	Conjunto de bomba hidráulica			
COSTO POR PREVENIR (ANTICIPADA)	Cantidad	Unidad	Cost/unid	Costo (S/.)
Repuestos (Filtro)	1	unid.	S/. 150.00	S/. 150.00
Costo de servicio	1	unid.	S/. 300.00	S/. 300.00
Otros costos directos de mantto				
Tiempo parada de equipo para mantto	5	horas	-	-
Tiempo de proceso detenido	0	horas	-	-
Utilidades perdidas por proceso detenido	-	-	-	-
Costo de M.O de producción ocioso	5	hr/hombre	S/. 5.34	S/. 26.70
Costo adicional (horas extras, etc.)				
Materiales perdidos o deteriorados por M.F				
Otros costos de mantto. ocasionados				
Subtotal				S/. 476.70
Frecuencia de preventivo	2	veces/años		
Costo total por reparación				S/. 953.40
COSTO DE REPARACIÓN (NO ANTICIPADO)	Cantidad	Unidad	Cost/unid	Costo (S/.)
Repuestos (Filtro)	1	unid.	S/. 150.00	S/. 150.00
Costo de servicio	1	unid.	S/. 300.00	S/. 300.00
Tiempo de equipo detenido	5	horas		
Tiempo de proceso detenido	5	horas		
Utilidades perd. por interrup. de proceso			S/. 1,328.38	S/. 6,641.89
Costo de M.O de producción ocioso por M.F	5		S/. 5.34	S/. 26.70
Subtotal				S/. 7,118.59
Frecuencia de ocurrencia de falla	1	veces/años		
Costo total si no se anticipa				S/. 7,118.59

En la tabla 31 se puede observar que la diferencia entre hacer preventivo y no hacerlo con lleva a un monto de S/. 6,165.19 soles.

Tabla 32
 ID AMEF 5-C-1

ID AMEF		5-C-1		
MODO DE FALLA	Motor eléctrico posee fuga eléctrica a tierra			
SISTEMA	Husillo			
SUBSISTEMA	Motor eléctrico			
COSTO POR PREVENIR (ANTICIPADA)	Cantidad	Unidad	Cost/unid	Costo (S/.)
Repuestos	0	unid.	-	-
Costo de servicio	1	unid.	S/. 150.00	S/. 150.00
Otros costos directos de mantto				
Tiempo parada de equipo para mantto	3	horas	-	-
Tiempo de proceso detenido	0	horas	-	-
Utilidades perdidas por proceso detenido	-	-	-	-
Costo de M.O de producción ocioso	3	hr/hombre	S/. 5.34	S/. 16.02
Costo adicional (horas extras, etc)				
Materiales perdidos o deteriorados por M.F				
Otros costos de mantto. ocasionados				
Subtotal				S/. 166.02
Frecuencia de preventivo	4	veces/años		
Costo total por reparación				S/. 664.08
COSTO DE REPARACIÓN (NO ANTICIPADO)	Cantidad	Unidad	Cost/unid	Costo (S/.)
Repuestos (rodamientos)	2	unid.	S/. 85.00	S/. 170.00
Costo de servicio	1	unid.	S/. 350.00	S/. 350.00
Tiempo de equipo detenido	6	horas		
Tiempo de proceso detenido	6	horas		
Utilidades perd. por interrup. de proceso			S/. 1,328.38	S/. 7,970.27
Costo de M.O de producción ocioso por M.F	6	hr/hombre	S/. 5.34	S/. 32.04
Subtotal				S/. 8,522.31
Frecuencia de ocurrencia de falla	1	veces/años		
Costo total si no se anticipa				S/. 8,522.31

En la tabla 32 se puede observar que la diferencia entre hacer preventivo y no hacerlo con lleva a un monto de S/. 7,858.23 soles.

Tabla 33
 ID AMEF 5-B-1

ID AMEF	5-B-1			
MODO DE FALLA	Correas de transmisión en mal estado			
SISTEMA	Husillo			
SUBSISTEMA	Correas de transmisión			
COSTO POR PREVENIR (ANTICIPADA)	Cantidad	Unidad	Cost/unid	Costo (S/.)
Repuestos	0	unid.	-	-
Costo de servicio	1	unid.	S/. 150.00	S/. 150.00
Otros costos directos de mantto				
Tiempo parada de equipo para mantto	2	horas	-	-
Tiempo de proceso detenido	0	horas	-	-
Utilidades perdidas por proceso detenido	-	-	-	-
Costo de M.O de producción ocioso	2	hr/hombre	S/. 5.34	S/. 10.68
Costo adicional (horas extras, etc)				
Materiales perdidos o deteriorados por M.F				
Otros costos de mantto. ocasionados				
Subtotal				S/. 160.68
Frecuencia de preventivo	4	veces/años		
Costo total por reparación				S/. 642.72
COSTO DE REPARACIÓN (NO ANTICIPADO)	Cantidad	Unidad	Cost/unid	Costo (S/.)
Repuestos (correas)	2	unid.	S/. 104.00	S/. 208.00
Costo de servicio	1	unid.	S/. 200.00	S/. 200.00
Tiempo de equipo detenido	5	horas		
Tiempo de proceso detenido	5	horas		
Utilidades perd. por interrup. de proceso			S/. 1,328.38	S/. 6,641.89
Costo de M.O de producción ocioso por M.F	5		S/. 5.34	S/. 26.70
Subtotal				S/. 7,076.59
Frecuencia de ocurrencia de falla	1	veces/años		
Costo total si no se anticipa				S/. 7,076.59

En la tabla 33 se puede observar que la diferencia entre hacer preventivo y no hacerlo con lleva a un monto de S/. 6,433.87 soles.

Tabla 34
 ID AMEF 3-A-1

ID AMEF		3-A-1		
MODO DE FALLA		Fuga de estanque hidráulico		
SISTEMA		Unidad hidráulica		
SUBSISTEMA		Estanque hidráulico		
COSTO POR PREVENIR (ANTICIPADA)	Cantidad	Unidad	Cost/unid	Costo (S/.)
Repuestos (empaquetadura)	1	unid.	S/. 15.00	S/. 15.00
Costo de servicio	1	unid.	S/. 100.00	S/. 100.00
Otros costos directos de mantto				
Tiempo parada de equipo para mantto	1	horas	-	-
Tiempo de proceso detenido	0	horas	-	-
Utilidades perdidas por proceso detenido	-	-	-	-
Costo de M.O de producción ocioso	1	hr/hombre	S/. 5.34	S/. 5.34
Costo adicional (horas extras, etc)				
Materiales perdidos o deteriorados por M.F				
Otros costos de mantto. ocasionados				
Subtotal				S/. 120.34
Frecuencia de preventivo	3	veces/años		
Costo total por reparación				S/. 361.02
COSTO DE REPARACIÓN (NO ANTICIPADO)	Cantidad	Unidad	Cost/unid	Costo (S/.)
Repuestos (empaquetadura)	1	unid.	S/. 15.00	S/. 15.00
Costo de servicio	1	unid.	S/. 100.00	S/. 100.00
Tiempo de equipo detenido	1	horas		
Tiempo de proceso detenido	1	horas		
Utilidades perd. por interrup. de proceso			S/. 1,328.38	S/. 1,328.38
Costo de M.O de producción ocioso por M.F	1	hr/hombre	S/. 5.34	S/. 5.34
Subtotal				S/. 1,448.72
Frecuencia de ocurrencia de falla	1	veces/años		
Costo total si no se anticipa				S/. 1,448.72

En la tabla 34 se puede observar que la diferencia entre hacer preventivo y no hacerlo con lleva a un monto de S/. 1,087.70 soles.

Tabla 35
 ID AMEF 4-B-1

ID AMEF	4-B-1			
MODO DE FALLA	Presencia de desgaste o deformación en base de apoyo de porta herramienta			
SISTEMA	ATC			
SUBSISTEMA	Soporte porta herramienta			
COSTO POR PREVENIR (ANTICIPADA)	Cantidad	Unidad	Cost/unid	Costo (S/.)
Repuestos	0	unid.	-	-
Costo de servicio	1	unid.	S/. 300.00	S/. 300.00
Otros costos directos de mantto				
Tiempo parada de equipo para mantto	4	horas	-	-
Tiempo de proceso detenido	0	horas	-	-
Utilidades perdidas por proceso detenido	-	-	-	-
Costo de M.O de producción ocioso	4	hr/hombre	S/. 5.34	S/. 21.36
Costo adicional (horas extras, etc.)				
Materiales perdidos o deteriorados por M.F				
Otros costos de mantto. ocasionados				
Subtotal				S/. 321.36
Frecuencia de preventivo	3	veces/años		
Costo total por reparación				964.08
COSTO DE REPARACIÓN (NO ANTICIPADO)	Cantidad	Unidad	Cost/unid	Costo (S/.)
Repuestos (soportes)	4	unid.	S/. 200.00	S/. 800.00
Costo de servicio	1	unid.	S/. 400.00	S/. 400.00
Tiempo de equipo detenido	6	horas		
Tiempo de proceso detenido	6	horas		
Utilidades perd. por interrup. de proceso			S/. 1,328.38	S/. 7,970.27
Costo de M.O de producción ocioso por M.F	6		S/. 5.34	S/. 32.04
Subtotal				S/. 9,202.31
Frecuencia de ocurrencia de falla	1	veces/años		
Costo total si no se anticipa				S/. 9,202.31

En la tabla 35 se puede observar que la diferencia entre hacer preventivo y no hacerlo con lleva a un monto de S/. 8,238.23 soles.

Tabla 36
 ID AMEF 7-B-1

ID AMEF	7-B-1			
MODO DE FALLA	Fuga de refrigerante desde estanque			
SISTEMA SUBSISTEMA	Unidad refrigerante Estanque refrigerante			
COSTO POR PREVENIR (ANTICIPADA)	Cantidad	Unidad	Cost/unid	Costo (S/.)
Repuestos	0	unid.	-	-
Costo de servicio	1	unid.	S/. 50.00	S/. 50.00
Otros costos directos de mantto				
Tiempo parada de equipo para mantto	1	horas	-	-
Tiempo de proceso detenido	0	horas	-	-
Utilidades perdidas por proceso detenido	-	-	-	-
Costo de M.O de producción ocioso	1	hr/hombre	S/. 5.34	S/. 5.34
Costo adicional (horas extras, etc.)				
Materiales perdidos o deteriorados por M.F				
Otros costos de mantto. ocasionados				
Subtotal				S/. 55.34
Frecuencia de preventivo	2	veces/años		
Costo total por reparación				S/. 110.68
COSTO DE REPARACIÓN (NO ANTICIPADO)	Cantidad	Unidad	Cost/unid	Costo (S/.)
Repuestos (pernos)	8	unid.	S/. 1.20	S/. 9.60
Costo de servicio	1	unid.	S/. 50.00	S/. 50.00
Tiempo de equipo detenido	1	horas		
Tiempo de proceso detenido	1	horas		
Utilidades perd. por interrumpir. el proceso			S/. 1,328.38	S/. 1,328.38
Costo de M.O de producción ocioso por M.F	1		S/. 5.34	S/. 5.34
Subtotal				S/. 1,393.32
Frecuencia de ocurrencia de falla	1	veces/años		
Costo total si no se anticipa				S/. 1,393.32

En la tabla 36 se puede observar que la diferencia entre hacer preventivo y no hacerlo con lleva a un monto de S/. 1,282.64 soles.

Tabla 37
 ID AMEF 3-A-2

ID AMEF		3-A-2		
MODO DE FALLA		Fuga estanque refrigerante		
SISTEMA		Unidad refrigerante		
SUBSISTEMA		Estanque refrigerante		
COSTO POR PREVENIR (ANTICIPADA)	Cantidad	Unidad	Cost/unid	Costo (S/.)
Repuestos (empaquetadura)	1	unid.	S/. 15.00	S/. 15.00
Costo de servicio	1	unid.	S/. 100.00	S/. 100.00
Otros costos directos de mantto				
Tiempo parada de equipo para mantto	1	horas	-	-
Tiempo de proceso detenido	0	horas	-	-
Utilidades perdidas por proceso detenido	-	-	-	-
Costo de M.O de producción ocioso	1	hr/hombre	S/. 5.34	S/. 5.34
Costo adicional (horas extras, etc.)				
Materiales perdidos o deteriorados por M.F				
Otros costos de mantto. ocasionados				
Subtotal				S/. 120.34
Frecuencia de preventivo	3	veces/años		
Costo total por reparación				S/. 361.02
COSTO DE REPARACIÓN (NO ANTICIPADO)	Cantidad	Unidad	Cost/unid	Costo (S/.)
Repuestos (empaquetadura)	1	unid.	S/. 15.00	S/. 15.00
Costo de servicio	1	unid.	S/. 100.00	S/. 100.00
Tiempo de equipo detenido	1	horas		
Tiempo de proceso detenido	1	horas		
Utilidades perd. por interrumpir el proceso			S/. 1,328.38	S/. 1,328.38
Costo de M.O de producción ocioso por M.F	1	hr/hombre	S/. 5.34	S/. 5.34
Subtotal				S/. 1,448.72
Frecuencia de ocurrencia de falla	1	veces/años		
Costo total si no se anticipa				S/. 1,448.72

En la tabla 37 se puede observar que la diferencia entre hacer preventivo y no hacerlo con lleva a un monto de S/. 1,087.70 soles.

Tabla 38
 ID AMEF 5-A-2

ID AMEF		5-A-2		
MODO DE FALLA		Husillo trabado mecánicamente		
SISTEMA		Husillo		
SUBSISTEMA		Block (cuerpo husillo)		
COSTO POR PREVENIR (ANTICIPADA)	Cantidad	Unidad	Cost/unid	Costo (S/.)
Repuestos	0	unid.	-	-
Costo de servicio	1	unid.	S/. 200.00	S/. 200.00
Otros costos directos de mantto				
Tiempo parada de equipo para mantto	1.5	horas	-	-
Tiempo de proceso detenido	0	horas	-	-
Utilidades perdidas por proceso detenido	-	-	-	-
Costo de M.O de producción ocioso	1.5	hr/hombre	S/. 5.34	S/. 8.01
Costo adicional (horas extras, etc.)				
Materiales perdidos o deteriorados por M.F				
Otros costos de mantto. ocasionados				
Subtotal				S/. 208.01
Frecuencia de preventivo	4	veces/años		
Costo total por reparación				S/. 832.04
COSTO DE REPARACIÓN (NO ANTICIPADO)	Cantidad	Unidad	Cost/unid	Costo (S/.)
Repuestos (acople)	1	unid.	S/. 920.00	S/. 920.00
Costo de servicio	1	unid.	S/. 400.00	S/. 400.00
Tiempo de equipo detenido	2	horas		
Tiempo de proceso detenido	2	horas		
Utilidades perd. por interrumpir el proceso			S/. 1,328.38	S/. 2,656.76
Costo de M.O de producción ocioso por M.F	2		S/. 5.34	S/. 10.68
Subtotal				S/. 3,987.44
Frecuencia de ocurrencia de falla	1	veces/años		
Costo total si no se anticipa				S/. 3,987.44

En la tabla 38 se puede observar que la diferencia entre hacer preventivo y no hacerlo con lleva a un monto de S/. 3,155.40 soles.

Tabla 39
 ID AMEF 7-A-1

ID AMEF	7-A-1			
MODO DE FALLA	Entrada de bomba refrigerante obstruida			
SISTEMA	Unidad refrigerante			
SUBSISTEMA	Conjunto de bomba refrigerante			
COSTO POR PREVENIR (ANTICIPADA)	Cantidad	Unidad	Cost/unid	Costo (S/.)
Repuestos (Filtro)	1	unid.	S/. 150.00	S/. 150.00
Costo de servicio	1	unid.	S/. 300.00	S/. 300.00
Otros costos directos de mantto				
Tiempo parada de equipo para mantto	5	horas	-	-
Tiempo de proceso detenido	0	horas	-	-
Utilidades perdidas por proceso detenido	-	-	-	-
Costo de M.O de producción ocioso	5	hr/hombre	S/. 5.34	S/. 26.70
Costo adicional (horas extras, etc.)				
Materiales perdidos o deteriorados por M.F				
Otros costos de mantto. ocasionados				
Subtotal				S/. 476.70
Frecuencia de preventivo	2	veces/años		
Costo total por reparación				S/. 953.40
COSTO DE REPARACIÓN (NO ANTICIPADO)	Cantidad	Unidad	Cost/unid	Costo (S/.)
Repuestos (Filtro)	1	unid.	S/. 150.00	S/. 150.00
Costo de servicio	1	unid.	S/. 300.00	S/. 300.00
Tiempo de equipo detenido	5	horas		
Tiempo de proceso detenido	5	horas		
Utilidades perd. por interrumpir el proceso			S/. 1,328.38	S/. 6,641.89
Costo de M.O de producción ocioso por M.F	5		S/. 5.34	S/. 26.70
Subtotal				S/. 7,118.59
Frecuencia de ocurrencia de falla	1	veces/años		
Costo total si no se anticipa				S/. 7,118.59

En la tabla 39 se puede observar que la diferencia entre hacer preventivo y no hacerlo con lleva a un monto de S/. 6,165.19 soles.

Tabla 40
 ID AMEF 6-A-1

ID AMEF	6-A-1			
MODO DE FALLA	Holgura entre rodamientos de tornillo (Eje X)			
SISTEMA	Ejes			
SUBSISTEMA	Tornillo de esfera			
COSTO POR PREVENIR (ANTICIPADA)	Cantidad	Unidad	Cost/unid	Costo (S/.)
Repuestos	0	unid.	0	0
Costo de servicio	1	unid.	S/. 400.00	S/. 400.00
Otros costos directos de mantto				
Tiempo parada de equipo para mantto	4	horas	-	-
Tiempo de proceso detenido	0	horas	-	-
Utilidades perdidas por proceso detenido	-	-	-	-
Costo de M.O de producción ocioso	4	hr/hombre	S/. 5.34	S/. 21.36
Costo adicional (horas extras, etc.)				
Materiales perdidos o deteriorados por M.F				
Otros costos de mantto. ocasionados				
Subtotal				S/. 421.36
Frecuencia de preventivo	2	veces/años		
Costo total por reparación				S/. 842.72
COSTO DE REPARACIÓN (NO ANTICIPADO)	Cantidad	Unidad	Cost/unid	Costo (S/.)
Repuestos (rodamientos)	2	unid.	S/. 250.00	S/. 500.00
Costo de servicio	1	unid.	S/. 800.00	S/. 800.00
Tiempo de equipo detenido	6	horas		
Tiempo de proceso detenido	6	horas		
Utilidades perd. por interrumpir el proceso			S/. 1,328.38	S/. 7,970.27
Costo de M.O de producción ocioso por M.F	6		S/. 5.34	S/. 32.04
Subtotal				S/. 9,302.31
Frecuencia de ocurrencia de falla	1	veces/años		
Costo total si no se anticipa				S/. 9,302.31

En la tabla 40 se puede observar que la diferencia entre hacer preventivo y no hacerlo con lleva a un monto de S/. 8,459.59 soles.

Tabla 41
 ID AMEF 1-A-1

ID AMEF	1-A-1			
MODO DE FALLA	bolas de retención del drawbar están secas			
SISTEMA	Husillo			
SUBSISTEMA	Drawbar			
COSTO POR PREVENIR (ANTICIPADA)	Cantidad	Unidad	Cost/unid	Costo (S/.)
Repuestos	0	unid.	-	-
Costo de servicio	1	unid.	S/. 200.00	S/. 200.00
Otros costos directos de mantto				
Tiempo parada de equipo para mantto	2	horas	-	-
Tiempo de proceso detenido	0	horas	-	-
Utilidades perdidas por proceso detenido	-	-	-	-
Costo de M.O de producción ocioso	2	hr/hombre	S/. 5.34	S/. 10.68
Costo adicional (horas extras, etc.)				
Materiales perdidos o deteriorados por M.F				
Otros costos de mantto. ocasionados				
Subtotal				S/. 210.68
Frecuencia de preventivo	4	veces/años		
Costo total por reparación				S/. 842.72
COSTO DE REPARACIÓN (NO ANTICIPADO)	Cantidad	Unidad	Cost/unid	Costo (S/.)
Repuestos (rodamientos)	2	unid.	S/. 250.00	S/. 500.00
Costo de servicio	1	unid.	S/. 800.00	S/. 800.00
Tiempo de equipo detenido	5	horas		
Tiempo de proceso detenido	5	horas		
Utilidades perd. por interrumpir el proceso			S/. 1,328.38	S/. 6,641.89
Costo de M.O de producción ocioso por M.F	5		S/. 5.34	S/. 26.70
Subtotal				S/. 7,968.59
Frecuencia de ocurrencia de falla	1	veces/años		
Costo total si no se anticipa				S/. 7,968.59

En la tabla 41 se puede observar que la diferencia entre hacer preventivo y no hacerlo con lleva a un monto de S/. 7,125.87 soles.

Tabla 42
 ID AMEF 9-A-1

ID AMEF		9-A-1		
MODO DE FALLA		Switch de puerta corrido		
SISTEMA		Puerta		
SUBSISTEMA		Switch puerta		
COSTO POR PREVENIR (ANTICIPADA)	Cantidad	Unidad	Cost/unid	Costo (S/.)
Repuestos	0	unid.	-	-
Costo de servicio	1	unid.	S/. 100.00	S/. 100.00
Otros costos directos de mantto				
Tiempo parada de equipo para mantto	1.5	horas	-	-
Tiempo de proceso detenido	0	horas	-	-
Utilidades perdidas por proceso detenido	0	0	-	-
Costo de M.O de producción ocioso	1.5	hr/hombre	S/. 5.34	S/. 8.01
Costo adicional (horas extras, etc)				
Materiales perdidos o deteriorados por M.F				
Otros costos de mantto. ocasionados				
Subtotal				S/. 108.01
Frecuencia de preventivo	6	veces/años		
Costo total por reparación				S/. 648.06
COSTO DE REPARACIÓN (NO ANTICIPADO)	Cantidad	Unidad	Cost/unid	Costo (S/.)
Repuestos (switch)	2	unid.	S/. 46.00	S/. 92.00
Costo de servicio	1	unid.	S/. 300.00	S/. 300.00
Tiempo de equipo detenido	2	horas		
Tiempo de proceso detenido	2	horas		
Utilidades perd. por interrumpir el proceso			S/. 1,328.38	S/. 2,656.76
Costo de M.O de producción ocioso por M.F	2		S/. 5.34	S/. 10.68
Subtotal				S/. 3,059.44
Frecuencia de ocurrencia de falla	1	veces/años		
Costo total si no se anticipa				S/. 3,059.44

En la tabla 42 se puede observar que la diferencia entre hacer preventivo y no hacerlo con lleva a un monto de S/. 2,411.38 soles.

Tabla 43
 ID AMEF 2-A-2

ID AMEF		2-A-2		
MODO DE FALLA		Desorientación de puntos de referencia en parámetros del CNC		
SISTEMA		CNC 7200		
SUBSISTEMA		Parámetros CNC		
COSTO POR PREVENIR (ANTICIPADA)	Cantidad	Unidad	Cost/unid	Costo (S/.)
Repuestos	0	unid.	-	-
Costo de servicio	1	unid.	S/. 300.00	S/. 300.00
Otros costos directos de mantto				
Tiempo parada de equipo para mantto	2	horas	-	-
Tiempo de proceso detenido	0	horas	-	-
Utilidades perdidas por proceso detenido	-	-	-	-
Costo de M.O de producción ocioso	2	hr/hombre	S/. 5.34	S/. 10.68
Costo adicional (horas extras, etc.)				
Materiales perdidos o deteriorados por M.F				
Otros costos de mantto. ocasionados				
Subtotal				S/. 310.68
Frecuencia de preventivo	2	veces/años		
Costo total por reparación				S/. 621.36
COSTO DE REPARACIÓN (NO ANTICIPADO)	Cantidad	Unidad	Cost/unid	Costo (S/.)
Repuestos	0	unid.	-	-
Costo de servicio	1	unid.	S/. 300.00	S/. 300.00
Tiempo de equipo detenido	2	horas		
Tiempo de proceso detenido	2	horas		
Utilidades perd. por interrumpir el proceso			S/. 1,328.38	S/. 2,656.76
Costo de M.O de producción ocioso por M.F	2		S/. 5.34	S/. 10.68
Subtotal				S/. 2,967.44
Frecuencia de ocurrencia de falla	1	veces/años		
Costo total si no se anticipa				S/. 2,967.44

En la tabla 43 se puede observar que la diferencia entre hacer preventivo y no hacerlo con lleva a un monto de S/. 2,346.08 soles.

Tabla 44
 ID AMEF 8-A-1

ID AMEF		8-A-1		
MODO DE FALLA		Bomba de lubricación obstruída		
SISTEMA		Unidad de lubricación		
SUBSISTEMA		Conjunto de bomba de lubricación		
COSTO POR PREVENIR (ANTICIPADA)	Cantidad	Unidad	Cost/unid	Costo (S/.)
Repuestos (Filtro)	1	unid.	S/. 150.00	S/. 150.00
Costo de servicio	1	unid.	S/. 300.00	S/. 300.00
Otros costos directos de mantto				
Tiempo parada de equipo para mantto	5	horas	-	-
Tiempo de proceso detenido	0	horas	-	-
Utilidades perdidas por proceso detenido	-	-	-	-
Costo de M.O de producción ocioso	5	hr/hombre	S/. 5.34	S/. 26.70
Costo adicional (horas extras, etc.)				
Materiales perdidos o deteriorados por M.F				
Otros costos de mantto. ocasionados				
Subtotal				S/. 476.70
Frecuencia de preventivo	2	veces/años		
Costo total por reparación				S/. 953.40
COSTO DE REPARACIÓN (NO ANTICIPADO)	Cantidad	Unidad	Cost/unid	Costo (S/.)
Repuestos (Filtro)	1	unid.	S/. 150.00	S/. 150.00
Costo de servicio	1	unid.	S/. 300.00	S/. 300.00
Tiempo de equipo detenido	5	horas		
Tiempo de proceso detenido	5	horas		
Utilidades perd. por interrumpir el proceso			S/. 1,328.38	S/. 6,641.89
Costo de M.O de producción ocioso por M.F	5		S/. 5.34	S/. 26.70
Subtotal				S/. 7,118.59
Frecuencia de ocurrencia de falla	1	veces/años		
Costo total si no se anticipa				S/. 7,118.59

En la tabla 44 se puede observar que la diferencia entre hacer preventivo y no hacerlo con lleva a un monto de S/. 6,165.19 soles.

Tabla 45
 ID AMEF 2-A-1

ID AMEF		2-A-1		
MODO DE FALLA		Final de carrera de eje con problemas		
SISTEMA SUBSISTEMA		Ejes Final de carrera		
COSTO POR PREVENIR (ANTICIPADA)	Cantidad	Unidad	Cost/unid	Costo (S/.)
Repuestos	0	unid.	-	-
Costo de servicio	1	unid.	S/. 100.00	S/. 100.00
Otros costos directos de mantto				
Tiempo parada de equipo para mantto	1.5	horas	-	-
Tiempo de proceso detenido	0	horas	-	-
Utilidades perdidas por proceso detenido	-	-	-	-
Costo de M.O de producción ocioso	1.5	hr/hombre	S/. 5.34	S/. 8.01
Costo adicional (horas extras, etc.)				
Materiales perdidos o deteriorados por M.F				
Otros costos de mantto. ocasionados				
Subtotal				S/. 108.01
Frecuencia de preventivo	6	veces/años		
Costo total por reparación				S/. 648.06
COSTO DE REPARACIÓN (NO ANTICIPADO)	Cantidad	Unidad	Cost/unid	Costo (S/.)
Repuestos (Finales de carreras)	2	unid.	S/. 50.00	S/. 100.00
Costo de servicio	1	unid.	S/. 300.00	S/. 300.00
Tiempo de equipo detenido	2	horas		
Tiempo de proceso detenido	2	horas		
Utilidades perd. por interrumpir el proceso			S/. 1,328.38	S/. 2,656.76
Costo de M.O de producción ocioso por M.F	2		S/. 5.34	S/. 10.68
Subtotal				S/. 3,067.44
Frecuencia de ocurrencia de falla	1	veces/años		
Costo total si no se anticipa				S/. 3,067.44

En la tabla 45 se puede observar que la diferencia entre hacer preventivo y no hacerlo con lleva a un monto de S/. 2,419.38 soles.

Tabla 46
 ID AMEF 8-A-2

ID AMEF	8-A-2			
MODO DE FALLA	Manómetro representa una presión inferior a 0.3 bar			
SISTEMA	Unidad de lubricación			
SUBSISTEMA	Conjunto de bomba de lubricación			
COSTO POR PREVENIR (ANTICIPADA)	Cantidad	Unidad	Cost/unid	Costo (S/.)
Repuestos	0	unid.	-	-
Costo de servicio	1	unid.	S/. 200.00	S/. 200.00
Otros costos directos de mantto				
Tiempo parada de equipo para mantto	2	horas	-	-
Tiempo de proceso detenido	0	horas	-	-
Utilidades perdidas por proceso detenido	-	-	-	-
Costo de M.O de producción ocioso	2	hr/hombre	S/. 5.34	S/. 10.68
Costo adicional (horas extras, etc.)				
Materiales perdidos o deteriorados por M.F				
Otros costos de mantto. ocasionados				
Subtotal				S/. 210.68
Frecuencia de preventivo	6	veces/años		
Costo total por reparación				S/. 1,264.08
COSTO DE REPARACIÓN (NO ANTICIPADO)	Cantidad	Unidad	Cost/unid	Costo (S/.)
Repuestos (Filtro)	1	unid.	S/. 150.00	S/. 150.00
Costo de servicio	1	unid.	S/. 200.00	S/. 200.00
Tiempo de equipo detenido	2	horas		
Tiempo de proceso detenido	2	horas		
Utilidades perd. por interrumpir el proceso			S/. 1,328.38	S/. 2,656.76
Costo de M.O de producción ocioso por M.F	2		S/. 5.34	S/. 10.68
Subtotal				S/. 3,017.44
Frecuencia de ocurrencia de falla	1	veces/años		
Costo total si no se anticipa				S/. 3,017.44

En la tabla 46 se puede observar que la diferencia entre hacer preventivo y no hacerlo con lleva a un monto de S/. 1,753.36 soles.

Tabla 47
 ID AMEF 6-A-2

ID AMEF		6-A-2		
MODO DE FALLA		Eje de husillo desalineado (respecto eje Z)		
SISTEMA		Husillo		
SUBSISTEMA		Block		
COSTO POR PREVENIR (ANTICIPADA)	Cantidad	Unidad	Cost/unid	Costo (S/.)
Repuestos	0	unid.	-	-
Costo de servicio	1	unid.	S/. 300.00	S/. 300.00
Otros costos directos de mantto				
Tiempo parada de equipo para mantto	2	horas	-	-
Tiempo de proceso detenido	0	horas	-	-
Utilidades perdidas por proceso detenido	-	-	-	-
Costo de M.O de producción ocioso	2	hr/hombre	S/. 5.34	S/. 10.68
Costo adicional (horas extras, etc.)				
Materiales perdidos o deteriorados por M.F				
Otros costos de mantto. ocasionados				
Subtotal				S/. 310.68
Frecuencia de preventivo	4	veces/años		
Costo total por reparación				S/. 1,242.72
COSTO DE REPARACIÓN (NO ANTICIPADO)	Cantidad	Unidad	Cost/unid	Costo (S/.)
Repuestos	0	unid.	-	-
Costo de servicio	1	unid.	S/. 300.00	S/. 300.00
Tiempo de equipo detenido	2	horas		
Tiempo de proceso detenido	2	horas		
Utilidades perd. por interrumpir el proceso			S/. 1,328.38	S/. 2,656.76
Costo de M.O de producción ocioso por M.F	2		S/. 5.34	S/. 10.68
Subtotal				S/. 2,967.44
Frecuencia de ocurrencia de falla	1	veces/años		
Costo total si no se anticipa				S/. 2,967.44

En la tabla 47 se puede observar que la diferencia entre hacer preventivo y no hacerlo con lleva a un monto de S/. 1,724.72 soles.

Tabla 48
 ID AMEF 5-A-3

ID AMEF	5-A-3			
MODO DE FALLA	Selección de velocidades no realizadas			
SISTEMA	CNC			
SUBSISTEMA	Parámetros CNC			
COSTO POR PREVENIR (ANTICIPADA)	Cantidad	Unidad	Cost/unid	Costo (S/.)
Repuestos	0	unid.	-	-
Costo de servicio	1	unid.	S/. 300.00	S/. 300.00
Otros costos directos de mantto				
Tiempo parada de equipo para mantto	2.5	horas	-	-
Tiempo de proceso detenido	0	horas	-	-
Utilidades perdidas por proceso detenido	-	-	-	-
Costo de M.O de producción ocioso	2.5	hr/hombre	S/. 5.34	S/. 13.35
Costo adicional (horas extras, etc.)				
Materiales perdidos o deteriorados por M.F				
Otros costos de mantto. ocasionados				
Subtotal				S/. 313.35
Frecuencia de preventivo	4	veces/años		
Costo total por reparación				S/. 1,253.40
COSTO DE REPARACIÓN (NO ANTICIPADO)	Cantidad	Unidad	Cost/unid	Costo (S/.)
Repuestos	0	unid.	-	-
Costo de servicio	1	unid.	S/. 300.00	S/. 300.00
Tiempo de equipo detenido	2.5	horas		
Tiempo de proceso detenido	2.5	horas		
Utilidades perd. por interrumpir el proceso			S/. 1,328.38	S/. 3,320.94
Costo de M.O de producción ocioso por M.F	2.5		S/. 5.34	S/. 13.35
Subtotal				S/. 3,634.29
Frecuencia de ocurrencia de falla	1	veces/años		
Costo total si no se anticipa				S/. 3,634.29

En la tabla 48 se puede observar que la diferencia entre hacer preventivo y no hacerlo con lleva a un monto de S/. 2,380.89 soles.

Tabla 49
 ID AMEF 5-A-1

ID AMEF	5-A-1			
MODO DE FALLA	Módulo de husillo con alarma, obstinándose a entregar energía a motor de husillo			
SISTEMA	CNC			
SUBSISTEMA	Parámetros CNC			
COSTO POR PREVENIR (ANTICIPADA)	Cantidad	Unidad	Cost/unid	Costo (S/.)
Repuestos	0	unid.	-	-
Costo de servicio	1	unid.	S/. 250.00	S/. 250.00
Otros costos directos de mantto				
Tiempo parada de equipo para mantto	2	horas	-	-
Tiempo de proceso detenido	0	horas	-	-
Utilidades perdidas por proceso detenido	-	-	-	-
Costo de M.O de producción ocioso	2	hr/hombre	S/. 5.34	S/. 10.68
Costo adicional (horas extras, etc.)				
Materiales perdidos o deteriorados por M.F				
Otros costos de mantto. ocasionados				
Subtotal				S/. 260.68
Frecuencia de preventivo	4	veces/años		
Costo total por reparación				S/. 1,042.72
COSTO DE REPARACIÓN (NO ANTICIPADO)	Cantidad	Unidad	Cost/unid	Costo (S/.)
Repuestos (Ventilador)	1	unid.	S/. 96.00	S/. 96.00
Costo de servicio	1	unid.	S/. 300.00	S/. 300.00
Tiempo de equipo detenido	2.5	horas		
Tiempo de proceso detenido	2.5	horas		
Utilidades perd. por interrumpir el proceso			S/. 1,328.38	S/. 3,320.94
Costo de M.O de producción ocioso por M.F	2.5		S/. 5.34	S/. 13.35
Subtotal				S/. 3,730.29
Frecuencia de ocurrencia de falla	1	veces/años		
Costo total si no se anticipa				S/. 3,730.29

En la tabla 49 se puede observar que la diferencia entre hacer preventivo y no hacerlo con lleva a un monto de S/. 2,687.57 soles.

3.4.3 Costos que evita la propuesta

De acuerdo al objetivo general de esta investigación que es el de determinar en qué medida la propuesta del plan de mantenimiento reduce costos en el área de mecanizado, se indica lo siguiente: según las tablas anteriores mostradas sobre los costos que se incurre en por cada modo de fallo, se observa que por cada uno de ellos existe una diferencia entre los costos de mantenimiento por prevenir y los costos de reparación (no anticipada), debido principalmente a lo que se deja de percibir como ganancia por tener un detenimiento del equipo en proceso. En la siguiente tabla se muestra cuáles son los costos que evitamos, por modo de fallo, si se implementara la propuesta.

Tabla 50
Costos evitados por la propuesta

ÍTEM	ID AMEF	DETALLE	COSTO EVITADO
1	4-A-1	Ductos de salida del sistema hidráulico obstruidos	S/ 6,165.19
2	5-C-1	Motor eléctrico posee fuga eléctrica a tierra	S/ 7,858.23
3	5-B-1	Correas de transmisión en mal estado	S/ 6,433.87
4	3-A-1	Fuga de estanque hidráulico	S/ 1,087.70
5	4-B-1	Presencia de desgaste o deformación en base de apoyo de porta herramienta	S/ 8,238.23
6	7-B-1	Fuga de refrigerante desde estanque	S/ 1,282.64
7	3-A-2	Fuga estanque refrigerante	S/ 1,087.70
8	5-A-2	Husillo trabado mecánicamente	S/ 3,155.40
9	7-A-1	Entrada de bomba refrigerante obstruida	S/ 6,165.19
10	6-A-1	Holgura entre rodamientos de tornillo (Eje X)	S/ 8,459.59
11	1-A-1	bolas de retención del drawbar están secas	S/ 7,125.87
12	9-A-1	Switch de puerta corrido	S/ 2,411.38
13	2-A-2	Desorientación de puntos de referencia en parámetros del CNC	S/ 2,346.08
14	8-A-1	Bomba de lubricación obstruida	S/ 6,165.19
15	2-A-1	Final de carrera de eje con problemas	S/ 2,419.38
16	8-A-2	Manómetro representa una presión inferior a 0.3 bar	S/ 1,753.36
17	6-A-2	Eje de husillo desalineado (respecto eje Z)	S/ 1,724.72
18	5-A-3	Selección de velocidades no realizadas	S/ 2,380.89
19	5-A-1	Módulo de husillo con alarma, obstinándose a entregar energía a motor de husillo	S/ 2,687.57
TOTAL			S/ 78,948.15

3.4.4 Inversión de la propuesta

En las siguientes tablas se muestra el presupuesto de inversión para la propuesta del mantenimiento preventivo.

Tabla 51
Inversión para la elaboración del plan de mantenimiento

Concepto	Personal	Cantidad	Costo unidad	Total
Estudio del mantenimiento y creación del plan preventivo	Investigador	2	S/. 1,500	S/. 3,000
Entregable del proyecto	-	1	S/. 2,000	S/. 2,000
Auditoria	-	6	S/. 800	S/. 4,800
			Sub total	S/. 9,800

Tabla 52
Costo de capacitación al personal

Concepto	Personal	Cantidad	Número de horas	Costo H-H	Total
Capacitación del plan de mantenimiento	Jefe de Mantenimiento	1	24	S/. 9.37	S/. 224.88
Capacitación del plan de mantenimiento	Jefe de Producción	1	24	S/. 15.62	S/. 374.88
Capacitación del plan de mantenimiento	Jefe de Operaciones	1	24	S/. 26.04	S/. 624.96
Capacitación del plan de mantenimiento	Jefe de Logística	1	24	S/. 7.29	S/. 174.96
Capacitación del plan de mantenimiento	Operadores	7	24	S/. 5.34	S/. 897.12
				Sub total	S/. 2,296.80

Tabla 53
Costo de útiles de escritorio

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Total
Pizarra acrílica	1	S/. 90	S/. 90
Plumones	5	S/. 3	S/. 15
Hojas bond A4	2	S/. 17	S/. 34
Tinta negra y de color	4	S/. 45	S/. 180
Lapiceros de colores	6	S/. 3.5	S/. 21
Archivador	3	S/. 25	S/. 75
Engrampadora	1	S/. 12	S/. 12
Caja de grapas	2	S/. 6.90	S/. 13.80
Perforador	1	S/. 12	S/. 12
Corrector	2	S/. 3	S/. 6
Resaltador de colores	4	S/. 4	S/. 16
Sub total			S/. 474.80

De las tablas anteriores calculamos el total del presupuesto para esta propuesta, que se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 54
Costo total del presupuesto

Concepto	Monto
Inversión para la elaboración del plan de mantenimiento	S/. 9,800
Costo de capacitación al personal	S/. 2,296.80
Costo de útiles de escritorio	S/. 474.80
Total	S/. 12,571.60

Como se observa el monto de la inversión total asciende a S/. 12,571.60 nuevos soles.

3.4.5 Análisis económico

A continuación, se presenta el flujo de caja de la propuesta con los datos obtenidos como ingresos y egresos.

Tabla 55
Flujo de caja

PERIODO	0	1	2	3	4	5	6
INVERSION							
Diseño de plan de mantenimiento	S/. 5,000.00						
Capacitación de personal	S/. 2,296.80						
Costo de útiles de escritorio	S/. 474,80						
Auditoria		S/. 800,00	S/. 800,00	S/. 800,00	S/. 800,00	S/. 800,00	S/. 800,00
TOTA DE INVERSION	S/. 7,771.60						
INGRESOS							
Costos evitados por la propuesta		S/.13,158.03	S/.13,158.03	S/.13,158.03	S/.13,158.03	S/.13,158.03	S/.13,158.03
FLUJO DE CAJA	-S/. 7,771.60	S/.12,358.03	S/.12,358.03	S/.12,358.03	S/.12,358.03	S/.12,358.03	S/.12,358.03

3.4.5.1 Indicadores financieros

A continuación, en la tabla 56 se muestran los indicadores financieros.

Tabla 56

Indicadores Financieros

RETORNO DE LA INVERSION	
TASA	16 %
VAN	37,764.46
TIR	158 %
COSTO/BENEFICIO	5.86

Considerando los indicadores financieros obtenidos podemos asegurar que la propuesta es viable ya que muestra un VAN > 0, y un B/C > 1, que en nuestro caso el de S/. 5.86 soles, esto quiere decir que por cada nuevo sol invertido se obtendrá una ganancia de S/. 4.86 soles.

3.5 Validación de hipótesis

La presente investigación, tiene como corte una propuesta de un plan de mantenimiento, que se recomienda que se aplique en la empresa con el objetivo de plasmar la reducción de costos en el área de mecanizado a raíz de la aplicación del plan de mantenimiento con la Metodología RCM, sin embargo, para validar la hipótesis planteada en esta investigación estadísticamente, se ha realizado los siguientes pasos:

1. Se realizó una tabla sintetizando el modo de falla, costo evitado por modo de falla, y las meses en que se daría el mantenimiento.
2. Se realizó la suma de los costos evitados por mes y se procedió a proyectar mediante Excel y la herramienta previsión.
3. Definir H0 y H1
4. Se aplico Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

Se busca evaluar si resulta conveniente invertir en aplicar la propuesta de plan de mantenimiento a través de la metodología RCM para reducir los costos en el área de mecanizado. Para ello, toma en cuenta los costos evitados (datos que se tienen a partir del desarrollo de la propuesta del plan de mantenimiento) por mes, teniendo en cuenta los 19 modos de fallos y el cronograma del mantenimiento. Por ende, tenemos:

H0: El plan de mantenimiento no reduce los costos

H1: El plan de mantenimiento reduce los costos

Tabla 57

Tabla sintetizada por modo de falla

Modo de falla	Costo evitado por modo de falla	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	S/ 6,165.19		X						X				
2	S/ 7,858.23			X			X			X			X
3	S/ 6,433.87	X			X			X			X		
4	S/ 1,087.70		X				X				X		
5	S/ 8,238.23				X				X				X
6	S/ 1,282.64	X						X					
7	S/ 1,087.70			X				X				X	
8	S/ 3,155.40		X			X			X			X	
9	S/ 6,165.19			X						X			
10	S/ 8,459.59					X						X	
11	S/ 7,125.87	X			X			X			X		
12	S/ 2,411.38		X		X		X		X		X		X
13	S/ 2,346.08					X						X	
14	S/ 6,165.19			X						X			
15	S/ 2,419.38	X		X		X		X		X		X	
16	S/ 1,753.36		X		X		X		X		X		X
17	S/ 1,724.72			X			X			X			X
18	S/ 2,380.89	X			X			X			X		
19	S/ 2,687.57		X			X			X			X	

A continuación, se presenta los costos evitados por medio de la propuesta, así como los costos evitados proyectados, a través de la herramienta previsión de Excel.

Tabla 58
Costos evitados por mes

MESES	PROPUESTO	PROYECTADO
1	S/ 19,642.65	S/ 28,228.77
2	S/ 17,260.60	S/ 28,328.68
3	S/ 25,420.41	S/ 28,428.61
4	S/ 28,343.60	S/ 28,528.58
5	S/ 19,068.02	S/ 28,628.59
6	S/ 14,835.39	S/ 28,728.64
7	S/ 20,730.35	S/ 28,828.75
8	S/ 24,411.13	S/ 28,928.93
9	S/ 24,332.71	S/ 29,029.17
10	S/ 21,193.07	S/ 29,129.50
11	S/ 20,155.72	S/ 29,229.91
12	S/ 21,985.92	S/ 29,330.41

Tabla 59
Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	PROPUESTO	PROYECTADO
Media	21448.2975	28779.04493
Varianza	13923173.66	130357.5089
Observaciones	12	12
Coefficiente de correlación de Pearson	0.08138737	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	11	
Estadístico t	-6.827492805	
P(T<=t) una cola	1.42393E-05	
Valor crítico de t (una cola)	1.795884819	
P(T<=t) dos colas	0.003%	
Valor crítico de t (dos colas)	2.20098516	

De la prueba T Student podemos observar que el p value es 0.003 % menor a 0.05 o el 5%, por ende, se rechaza la H_0 y se acepta H_1 el plan de mantenimiento reduce los costos a nivel poblacional, con un nivel de confiabilidad del 95%.

Y si lo que plasmaríamos estos números en el diagrama de Gauss, tenemos que en valor crítico de las colas va de -2.2 por el lado izquierdo y 2.2 por el lado derecho y el estadístico t cae fuera de esta región por lo que se rechaza H_0 .

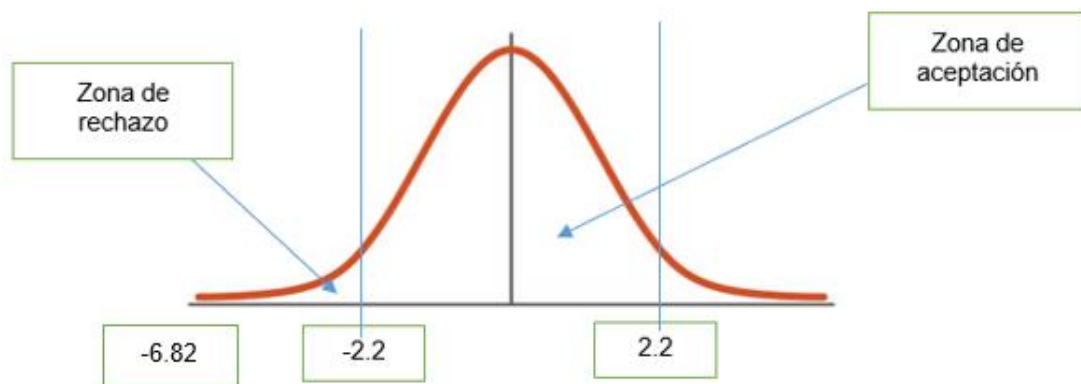


Figura 16. Campana de gauss

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

4.1.1 Limitaciones

Las limitaciones en esta investigación son fundamentalmente la obtención de datos de la gestión de mantenimiento del área de mecanizado, tales como, disponibilidad, confiabilidad, cumplimiento del plan de mantenimiento, entre otros; debido a esto no se han podido establecer indicadores o registros históricos con anterioridad en esta área. Al no encontrarse estos datos limito a la investigación a no poder establecer un tratamiento de estos, para un posible mejoramiento de estos; no obstante gracias a la metodología RCM que se utilizó se pudo establecer que se puede reducir los costos en los que se incurre actualmente.

4.1.2 Interpretación comparativa

En contrastación con nuestra hipótesis general: La propuesta del plan de mantenimiento reduce costos en el área de mecanizado; en la tesis de Gallardo (2017) titulada “Plan de mantenimiento preventivo para aumentar los indicadores operacionales y reducción de costos de mantenimiento de las máquinas de la municipalidad del distrito de Tambogrande-Piura”, siendo esta una investigación pre experimental en donde la problemática de los costos se enfrenta con la solución de un plan de mantenimiento que se realizó por medio de las consideración técnicas de los equipos y análisis de criticidad, con ello se logró mejorar los indicadores y un ahorro de S/92,277.00 soles en mantenimientos.

A sí mismo en la tesis de Escudero (2016) titulada “Propuesta de un programa maestro de mantenimiento preventivo para reducir los costos operativos en la empresa Productos Industriales del Cuero S.A.C.” que propone un programa de mantenimiento, para la mejora y la reducción de costos en el área de mantenimiento con el uso de herramientas de ingeniería como 5s y criticidad de equipos; gracias a esta implementación se logró un ahorro en sus costos de energía y sobre todo en los costos de mantenimiento con una disminución de S/. 2,476.66 soles.

En comparación con esta tesis, se plantea una propuesta de un plan de mantenimiento que reducirá costos de mantenimiento en el área de mecanizado ahorrando un costo de S/.78,948.15 soles.

En contrastación con nuestra hipótesis específica 1: El diagnóstico de la situación actual del mantenimiento en mecanizado muestra deficiencias que conlleva a sobrecostos en el área; en la tesis de Cruz (2017) titulada “Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo en el área de envasado, en la empresa ANYPSA CORPORATION S.A” se realizó un diagnóstico del servicio de mantenimiento en las áreas productivas, a través de la herramienta diagrama de Pareto para obtener al área que origina el 80% de problemas, igualmente se hizo uso de la herramienta diagrama de Ishikawa para detectar las causas que origina la problemática de paradas imprevistas en el área. También en la tesis de Villegas (2016) titulada “Propuesta de mejora en la gestión del área de mantenimiento, para la optimización del desempeño de la empresa MANFER S.R.L.”, se realiza un diagnóstico donde se busca detectar las causas de la deficiencia de la gestión del mantenimiento a través del diagrama de Ishikawa, para luego de por medio de un cruce de indicadores obtener valores para generar frecuencias y así crear un diagrama de Pareto que muestre el 20% de las causas en que concentrarse.

En comparación con esta tesis, se desarrolló un diagnóstico de la problemática de los sobrecostos, que se empezó desde la obtención de resultados de los cuestionarios encausándolos en el diagrama de Ishikawa para un mejor análisis y a partir de una encuesta de ponderación de las mismas, crear un diagrama de Pareto para enfocarnos con esas causas principales que provocan el 80% de la problemática.

En contrastación con nuestra hipótesis específica 2: La propuesta del plan de mantenimiento se desarrollará bajo una metodología llamada RCM o mantenimiento centrado en confiabilidad; en la tesis de Calderón (2020) titulada “Propuesta de implementación de un plan de mantenimiento centrado en la fiabilidad (RCM) para reducir los costos operativos de

una empresa manufacturera de calzado”, para dar solución al problema del aumento de costos operativos que generan reducción de sus márgenes de utilidad se desarrolló un plan de mantenimiento centrado en fiabilidad (RCM), en el cual se hizo uso de herramientas como análisis de criticidad y análisis de modo y efecto de fallas, generando con esta metodología mejoras en la disponibilidad de los equipos y consiguiendo el objetivo de reducción de costos.

Asimismo, en la tesis de Riquelme (2018) titulada “Propuesta de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para una máquina insertadora de cepillos técnicos”, se desarrolló un plan de mantenimiento con las herramientas del RCM o mantenimiento centrado en confiabilidad tales como, criticidad de equipos, análisis AMFE, NPR, diagrama de decisión, el resultado fue que con un plan de mantenimiento con RCM se tiene un mayor ahorro en costos de mantenimientos.

En comparación con esta tesis, para la obtención de un plan de mantenimiento que contribuya a la reducción de costos en el área de mecanizado, se tuvo lugar a la aplicación de la metodología RCM, que consto con el desarrollo de todas sus herramientas en cada una de las etapas en que consiste; esta metodología brindo un plan de mantenimiento capaz de cubrir los modos de falla que pudieran presentarse y de esta manera evitar costos por averías inesperadas.

4.1.3 Implicancias

La propuesta de esta investigación con lleva reorganizar el plan actual de mantenimiento enfocándose, según la metodología aplicada, en establecer actividades más efectivas en función de la criticidad de los activos; consecuentemente el plan de mantenimiento desarrollado ha sido aplicado para la maquina más crítica del área en estudio con el objetivo de reducir los costos en función de su manutención. Queda como sugerencia y recomendación el poder emplear este plan de mantenimiento propuesto, con su metodología y procedimientos, a las demás máquinas de planta para así lograr un mayor beneficio en aras de reducir costos operativos.

4.2 Conclusiones

A continuación, se detallan las siguientes conclusiones:

Se logró diagnosticar la situación actual del mantenimiento en el área de mecanizado de la empresa en estudio, a través de la técnica de análisis de datos llamada triangulación, encontrando deficiencias como falta de procedimientos de mantenimiento, falta de ordenes de mantenimiento, falta de un plan eficaz de mantenimiento, falta de indicadores, falta de clasificación de máquinas por criticidad y falta de documentación técnica.

Se elaboró una propuesta de un plan de mantenimiento en base al equipo C.M CNC V40il LEDWELL, el cual se determinó como el más crítico del área de mecanizado y que se tomó como modelo a seguir para la implementación futura en los demás equipos. Se diseñaron también formatos como la orden de mantenimiento y check list para todas las actividades de mantenimiento que entre otras funcionalidades buscaran recaudar información y crear una base de historial; se propone también indicadores para medir la efectividad de las actividades, hacer seguimiento y tomar medidas correctivas.

Se determinó que la propuesta planteada, demuestra que, a partir de nuevas acciones otorgadas por el plan de mantenimiento propuesto se consigue un costo evitado total de S/.78,948.15 soles, tomando en cuenta todos los modos de fallo, y de esta manera reducir considerablemente los costos de mantenimiento en el área de mecanizado de la empresa Maqpower SAC; además de ser una propuesta viable ya que los indicadores financieros son favorables, los cuales presentan un TIR de 158%, un VAN de S/37,764.46 y un B/C de 5.86, lo que demuestra que por cada sol invertido se obtendrá S/4.86 soles de ganancia.

REFERENCIAS

- Aguilar-Otero, J. R., Torres-Arcique, R., & Magaña-Jiménez, D. (2010). Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 25(1), 15-26.
- Boletín Estadístico Minero. (2020, Julio). Minería se mantiene como principal fuente de país [Boletín de prensa]. Recuperado de <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/publicaciones/variables/2020/bemjul2020.pdf>
- Canal MachinesOutils. (27 de julio de 2017). *LEADWELL VIDEO V 40iL* [Archivo de video]. <https://www.youtube.com/watch?v=kRUjej3Ob2U&t=21s>.
- Calderón, M. (2020). Propuesta de Implementación de un Plan de Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (RCM) para Reducir los Costos Operativos de una Empresa Manufacturera de Calzado (Tesis de pregrado). Universidad Privada del Norte.
- Chávez, R. (2015). Introducción a la Metodología de la Investigación (1ra ed.). Quito, Ecuador. Ediciones UTMACH.
- Contreras, D. (2017). Plan de mantenimiento para tornos CNC de Renault Cormecánica (Tesis de pregrado). Universidad Técnica Federico Santa María.
- Cruz, R. (2017). Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo en el área de envasado, en la empresa ANYPSA CORPORATION S.A. 2017 (Tesis de pregrado). Universidad Privada del Norte.
- De Echave, J. (2012). La minería peruana y los escenarios de transición. *Transiciones*, 61.
- Del Castillo-Serpa, A. M., Brito-Ballina, M. L., & Fraga-Guerra, E. (2009). Análisis de criticidad personalizados//Analysis of Criticality Personalized. *Ingeniería Mecánica*, 12(3), 1-12.

- Dounce, E. (2014). La productividad en el mantenimiento industrial. México D.F, México.
Grupo Editorial Patria, S.A de C.V.
- Escaño, J, Nuevo, A & García, J (2019). Integración de Sistemas de Automatización Industrial.
Madrid, España. Paraninfo.
- Escudero, A. (2016). Propuesta de un Programa Maestro de Mantenimiento Preventivo para
reducir los costos operativos en la empresa Productos Industriales del Cuero S.A.C
(Tesis de pregrado). Universidad Privada del Norte.
- Gallardo, D. (2017). Plan de mantenimiento preventivo para aumentar los indicadores
operacionales y reducción de costos de mantenimiento de las máquinas de la
Municipalidad del distrito de tambo grande – Piura (Tesis de pregrado). Universidad
Cesar Vallejo.
- García, O (2012). Gestión Moderna del Mantenimiento. Bogotá, Colombia. Ediciones de la U.
- Ginjaume, A., & Torre, F. (2005). Ejecución de procesos de mecanizado, conformado y
montaje (2da ed.). Madrid, España. Ediciones Paraninfo, SA.
- Gómez, M (2019). Propuesta de implementación de un plan de mantenimiento preventivo en
el taller de metalmecánica de la empresa Ensamblajes S.A. (Tesis de pregrado).
Universidad de Guayaquil.
- González, F (2010). Auditoria del Mantenimiento e Indicadores de Gestión. Madrid, España.
Editorial Fundación Confemetal.
- González, F (2005). Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado. Madrid, España.
Editorial Fundación Confemetal.
- González, B. (2004). Optimización de las variables envueltas en el maquinado en un centro de
maquinado de control numérico computarizado (Tesis de posgrado). Universidad
Autónoma de Nuevo León.

- Groover, M. P. (1997). Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas. Naucalpan de Juárez, Estado de México. Pearson Educación.
- Gutiérrez, H. (2014). Calidad y Productividad (4ta ed.). México D.F, México. Mc GRAW – HILL Interamericana Editores S.A.
- Hernández, R., Fernández, C & Baptista, P. (2014). Metodología de la Investigación (6ta ed.). México D.F, México. Mc GRAW – HILL Interamericana Editores S.A.
- Knight, W. A., & Boothroyd, G. (2006). Fundamentals of metal machining and machine tools. U.S. CRC Press.
- Lira, A. D., & Aristondo, F. M. (2007). Panorama de la Minería en el Perú. Osinergmin.
- Lourival, T. (2007). Administración Moderna de Mantenimiento. Brasilia, Brasil. Novo Pol Publicaciones.
- Mejía, J. (2018). Diseñar un programa de mantenimiento preventivo en el área de producción de una empresa metalmecánica (Tesis de pregrado) Universidad de Guayaquil.
- Mercado, V., & Peña, J. B. (2016). Modelo de gestión de mantenimiento enfocado en la eficiencia y optimización de la energía eléctrica. Saber, 28(1), 99-105.
- Ministerio de Energías y Minas. (2020). Perú: País Minero. Obtenido de Ministerio de Energías y Minas: http://www.minem.gob.pe/_detalle.php?idSector=1&idTitular=159&idMenu=sub149&idCateg=159
- Montilla, M. C. A. (2016). Fundamentos de mantenimiento industrial. Pereira, Colombia: Editorial Universidad Tecnológica de Pereira.
- Mora, L. A. (2009). Mantenimiento-planeación, ejecución y control. México D.F, México. Alfaomega Grupo Editor.
- Moubray, J. (2004). RCM II. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Editorial Aladon LLC, North Carolina, USA.

- Mugaburu, J. M.-L., Navarro, L. -E & Pastor, A. C.-T. (1997). Gestión integral de mantenimiento. (M. B. Editores, Ed.) Barcelona, Comunidad de Catalunya, España: Marcombo Boixareu Editores.
- Quispe, C. (2020). Implementación de la metodología de weibull para el diseño de un plan de mantenimiento preventivo en las máquinas industriales de la empresa Carrocerías Jácome (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato.
- Reglamento de protección Ambiental para las Actividades de Exploración Minera D.S. N°020-2020-EM (edición setiembre 2020). Recuperado de <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/publicaciones/libros/rexplo/rexplo2020.pdf>
- Riquelme, C (2018). Propuesta de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para una máquina insertadora de cepillos técnicos (Tesis de pregrado). Universidad Técnica Federico Santa María.
- Rodríguez, C., Pozo, T. & Gutiérrez, J. (2006). La triangulación analítica como recurso para la validación de estudios de encuesta recurrentes e investigaciones de réplica en Educación Superior. relieve. Revista electrónica de Investigación y Evaluación Educativa, 12 (2), p. 289-305.
- Society of Automotive Engineers, SAE JA1011: Evaluation criteria for reliability-centered maintenance (RCM) processes, 2 ed., Warrendale: SAE International, 2009.
- Society of Automotive Engineers, SAE J1739: Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA), Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes (Process FMEA), Warrendale: SAE International, 2009.
- Villegas, J. (2016). Propuesta de mejora en la gestión del área de mantenimiento, para la optimización del desempeño de la empresa MANFER S.R.L. Contratistas Generales (Tesis de pregrado). Universidad Católica San Pablo.

ANEXOS

Anexo N° 01: Entrevistas a personal de MAQPOWER SAC, sobre situación actual del mantenimiento en el área de mecanizado.



ENTREVISTA PARA CONOCER LA SITUACION ACTUAL DEL MANTENIMIENTO EN EL AREA DE MECANIZADO DE LA EMPRESA MAQPOWER SAC.

El presente instrumento de entrevista tiene como finalidad la obtención de datos sobre el área de mantenimiento, que contribuirá a la realización de la Propuesta de un plan de mantenimiento para reducir costos en el área de mecanizado en la empresa MAQPOWER SAC., para ello se les realizará la entrevista a los jefes de las áreas de mecanizado, de producción y de mantenimiento, para luego realizar un análisis de los datos obtenidos.

ENTREVISTADO:

AREA:

CARGO:

FECHA:

1. ¿Cómo considera usted el estado de los equipos?
2. ¿Existe algún plan o programa de mantenimiento?
3. Dicho plan de mantenimiento se cumple a cabalidad
4. ¿Qué tipo de mantenimiento se aplica a los equipos actualmente?
5. ¿Cuentan con las herramientas especializadas y repuestos para realizar las tareas de mantenimiento?
6. ¿El mantenimiento se realiza de manera propia o por terceros?
7. ¿Considera correcto el plan de mantenimiento actual? ¿Por qué?
8. ¿Se cuenta con manuales de operación, y/o ordenes de mantenimiento?
9. ¿Se emplean formatos antes y después de realizar alguna tarea de mantenimiento?
10. ¿Frente a una avería se reporta inmediatamente?
11. ¿Las empresas que le realizan el servicio de mantenimiento, acuden inmediatamente para reparar la falla?
12. ¿Se maneja un inventario técnico de los equipos, en el cual se tengan plasmadas cada una de las especificaciones técnicas de ellos?
13. ¿Existe algún registro en el cual se pueda apreciar la causa principal que origina las averías y/o fallas en los equipos?
14. ¿Posee el área de mantenimiento estructura organizativa, manuales de puestos y procedimiento?
15. ¿Se elabora algún tipo de informe sobre las actividades de mantenimiento ya sea por averías o por fallas?
16. ¿Se cuenta con indicadores de mantenimiento para controlar y mejorar índices de mantenibilidad, confiabilidad y disponibilidad?

Anexo N° 02: Entrevistas a personal de MAQPOWER SAC, sobre los costos del mantenimiento en el área de mecanizado.



**ENTREVISTA PARA CONOCER EL MANEJO DE LOS COSTOS EN EL
AREA DE MECANIZADO DE LA EMPRESA MAQPOWER SAC.**

El presente instrumento de entrevista tiene como finalidad la obtención de datos respecto a los costos de mantenimiento, que contribuirá a la realización de la Propuesta de un plan de mantenimiento para reducir costos en el área de mecanizado en la empresa MAQPOWER SAC., para ello se les realizará la entrevista a los jefes de las áreas de mantenimiento, logística y de mecanizado, para luego realizar un análisis de los datos obtenidos.

ENTREVISTADO:

AREA:

CARGO:

FECHA:

1. Con respecto a los costos de mantenimiento ¿El área de mantenimiento cuenta con un presupuesto anual y a cuánto asciende?
2. ¿Cuenta el área mantenimiento con clasificación de sus costos?
3. ¿Cómo se registran los costos del área del mantenimiento?
4. ¿Se manejan horas extras en el área de mantenimiento?
5. ¿Cuántas personas están en la nómina del área de mantenimiento, y cuanto perciben mensualmente?
6. ¿Qué porcentaje del costo total de mantenimiento es el costo de mantenimiento correctivo?
7. ¿Qué porcentaje del costo total de mantenimiento es el costo de mantenimiento preventivo?
8. ¿Cuánto es el costo anual de los materiales consumibles que se usan en el área de mantenimiento?
9. ¿Cuánto es el costo anual de los repuestos utilizados para el mantenimiento?
10. ¿Se cuenta con un seguimiento de sobre la rotación de inventario de los repuestos?
11. Con respecto al servicio de mantenimiento, ¿a cuánto asciende los costos anuales de mantenimiento correctivo?
12. Con respecto al servicio de mantenimiento, ¿a cuánto asciende los costos anuales de mantenimiento preventivo?
13. ¿Existen indicadores de costos en el área de mantenimiento?
14. ¿Existe un control del costo de mantenimiento sobre el costo de producción?
15. ¿Existe un control del costo de mantenimiento sobre el costo las ventas?

Anexo N° 03: Encuesta de evaluación de criticidad de equipos

ENCUESTA DE EVALUACION DE CRITICIDAD DE EQUIPOS							
AREA: MECANIZADO		ENCUESTADO:			FECHA:		
MAQUINAS		Impacto Productivo	Nivel de Repuestos Críticos	Impacto Costo Reparación	Impacto de Calidad	Impacto de Seguridad	PUNTAJE
1	C.M CNC V40iL LEDWELL						
2	C.M CNC VM25 MILLTRONICS						
3	TORNO CNC LYNX 300M DOOSAN N°7						
4	TORNO CNC -LTC-20i LEADWELL						
5	TORNO CNC LYNX 300M DOOSAN N°8						
6	TORNO CONVENCIONAL SN500A-TRENS						
7	FRESADORA UNIVERSAL S80-SACHMAN						
<p>INDICACIONES:</p> <p>1. CADA VALOR ES EVALUADO DE 1 A 10, DONDE 1 ES DE MENOR IMPACTO Y 10 EL DE MAYOR.</p> <p>2. AREA: SE LLENA EL AREA DONDE ESTA UBICAD EL EQUIPO.</p> <p>3. ENCUESTADO: NOMBRE COMPLETO DE LA PERSONA ENCUESTADA.</p> <p>4. EL PUNTAJE ES LA SUMA QUE SE OBTIENE DE LAS CLAIFICACIONES DE CADA MAQUINA.</p>							
ENCUESTADOR:							

Anexo N° 04: Encuesta para determinar los altos costos de mantenimiento


**ENCUESTA PARA DETERMINAR LAS CAUSAS DE LOS ALTOS COSTOS DE
 MANTENIMIENTO EN EL ÁREA DE MECANIZADO**

El presente instrumento de encuesta tiene como finalidad la obtención de datos sobre las causas de los altos costos de mantenimiento en el área de mecanizado, que contribuirá a la realización de la Propuesta de un plan de mantenimiento para reducir costos en el área de mecanizado en la empresa MAQPOWER SAC., para ello se le realizara la encuesta a los jefes de las áreas de mecanizado, de producción, de mantenimiento y jefe de operaciones, para luego realizar un análisis de los datos obtenidos.

MAQPOWER SAC		
Encuesta al personal de la empresa MAQPOWER SAC		
Nombre:		
Cargo:		
Fecha:		
En la escala del 1 al 5 (siendo el 1 de menor impacto y 5 el de mayor), asigne un puntaje para identificar las principales causas que generan los altos costos de mantenimiento en el área de mecanizado.		
Ítem	Causas	Puntaje
a	Sin procedimientos de mantenimiento propios	
b	Tercerización de los trabajos de mantenimiento	
c	Falta de un correcto plan de mantenimiento	
d	Falta de cumplimiento del plan de mantenimiento	
e	Falta de herramientas especializadas	
f	Falta de indicadores del mantenimiento	
g	Falta de órdenes de mantenimiento	
h	Falta de análisis de criticidad de los equipos	
i	Falta de documentación técnica	
j	Contaminación por indebidos mantenimiento autónomos	
k	Compra innecesaria de repuestos	

Anexo N° 05: Matrices para evaluación de expertos.

MATRIZ PARA EVALUACIÓN DE EXPERTOS				
Título de la investigación:	"PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA REDUCIR COSTOS EN EL ÁREA DE MECANIZADO EN LA EMPRESA MAQPOWER SAC EN EL AÑO 2021"			
Línea de investigación:	DESARROLLO SOSTENIBLE Y GESTION EMPRESARIAL			
Apellidos y nombres del experto:	ROMERO ECHEVARRIA LUIS MIGUEL			
El instrumento de medición pertenece a la variable:	PLAN DE MANTENIMIENTO			
Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "x" en las columnas de SÍ o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la coherencia de las preguntas sobre la variable en estudio.				
Ítems	Preguntas	Aprecia		Observaciones
		SÍ	NO	
1	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?	X		
2	¿El instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?	X		
3	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación?	X		
4	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	X		
5	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio?	X		
6	¿La redacción de las preguntas tienen un sentido coherente y no están sesgadas?	X		
7	¿Cada una de las preguntas del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores?	X		
8	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?	X		
9	¿Son entendibles las alternativas de respuesta del instrumento de medición?	X		
10	¿El instrumento de medición será accesible a la población sujeto de estudio?	X		
11	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de responder para, de esta manera, obtener los datos requeridos?	X		
Sugerencias: Aplicable				
Firma del experto:  Luis Miguel Romero Echevarría Doctor en Ingeniería				

MATRIZ PARA EVALUACIÓN DE EXPERTOS

Título de la investigación:	"PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA REDUCIR COSTOS EN EL ÁREA DE MECANIZADO EN LA EMPRESA MAQPOWER SAC EN EL AÑO 2021"
Línea de investigación:	DESARROLLO SOSTENIBLE Y GESTION EMPRESARIAL
Apellidos y nombres del experto:	GONZALES BARDALES ALEXANDER
El instrumento de medición pertenece a la variable:	PLAN DE MANTENIMIENTO

Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "x" en las columnas de SÍ o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la coherencia de las preguntas sobre la variable en estudio.

Ítems	Preguntas	Aprecia		Observaciones
		SÍ	NO	
1	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?	Sí		
2	¿El instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?	Sí		
3	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación?	Sí		
4	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	Sí		
5	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio?	Sí		
6	¿La redacción de las preguntas tienen un sentido coherente y no están sesgadas?	Sí		
7	¿Cada una de las preguntas del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores?	Sí		
8	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?	Sí		
9	¿Son entendibles las alternativas de respuesta del instrumento de medición?	Sí		
10	¿El instrumento de medición será accesible a la población sujeto de estudio?	Sí		
11	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de responder para, de esta manera, obtener los datos requeridos?	Sí		Aquí podrían colocar una pregunta adicional. Consideran el KPI de mantenimiento se debe mostrar en el BSC para poder cumplir con la estrategia de la compañía.

Sugerencias:

Sugiero que el KPI de mantenimiento deber estar como pregunta para el llenado de la encuesta.

Firma del experto:

Mg. Ing. Alexander Gonzales

INGENIERO INDUSTRIAL-PROFESOR DE LA
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE

MATRIZ PARA EVALUACIÓN DE EXPERTOS

Título de la investigación:	"PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA REDUCIR COSTOS EN EL ÁREA DE MECANIZADO EN LA EMPRESA MAQPOWER SAC EN EL AÑO 2021"		
Línea de investigación:	DESARROLLO SOSTENIBLE Y GESTION EMPRESARIAL		
Apellidos y nombres del experto:	ROMERO ECHEVARRIA LUIS MIGUEL		
El instrumento de medición pertenece a la variable:	COSTOS DE MANTENIMIENTO		

Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "x" en las columnas de SÍ o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la coherencia de las preguntas sobre la variable en estudio.

Ítems	Preguntas	Aprecia		Observaciones
		SÍ	NO	
1	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?	X		
2	¿El instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?	X		
3	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación?	X		
4	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	X		
5	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio?	X		
6	¿La redacción de las preguntas tienen un sentido coherente y no están sesgadas?	X		
7	¿Cada una de las preguntas del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores?	X		
8	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?	X		
9	¿Son entendibles las alternativas de respuesta del instrumento de medición?	X		
10	¿El instrumento de medición será accesible a la población sujeto de estudio?	X		
11	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de responder para, de esta manera, obtener los datos requeridos?	X		

Sugerencias:

Aplicable

Firma del experto:

Luis Miguel Romero Echevarría
 Doctor en Ingeniería

MATRIZ PARA EVALUACIÓN DE EXPERTOS

Título de la investigación:	"PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA REDUCIR COSTOS EN EL ÁREA DE MECANIZADO EN LA EMPRESA MAQPOWER SAC EN EL AÑO 2021"
Línea de investigación:	DESARROLLO SOSTENIBLE Y GESTION EMPRESARIAL
Apellidos y nombres del experto:	GONZALES BARDALES ALEXANDER
El instrumento de medición pertenece a la variable:	COSTOS DE MANTENIMIENTO

Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "x" en las columnas de SÍ o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la coherencia de las preguntas sobre la variable en estudio.

Ítems	Preguntas	Aprecia		Observaciones
		SÍ	NO	
1	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?	Sí		
2	¿El instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?	Sí		
3	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación?	Sí		
4	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	Sí		
5	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio?	Sí		
6	¿La redacción de las preguntas tienen un sentido coherente y no están sesgadas?	Sí		
7	¿Cada una de las preguntas del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores?	Sí		
8	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?	Sí		
9	¿Son entendibles las alternativas de respuesta del instrumento de medición?	Sí		
10	¿El instrumento de medición será accesible a la población sujeto de estudio?	Sí		
11	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de responder para, de esta manera, obtener los datos requeridos?	Sí		

Sugerencias:

Ninguna.

Firma del experto:
Mg. Ing. Alexander Gonzales
**INGENIERO INDUSTRIAL-PROFESOR DE LA
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE**

Anexo N° 06: Formato propuesto de toma mensual de indicadores en el área de mantenimiento.

MES ENERO												
MAQUINAS AREA MECANIZADO		HRS PARADA POR REPARACIÓN	Nº PARADAS POR REPARACIÓN	TIEMPO NECESARIO PARA OPERAR	MTTR		MTBF		DISPONIBILIDAD		Cumplimiento del plan de mantenimiento	
					Medido	META	Medido	META	Medido	META	Medido	META
1	C.M CNC VM25 MILLTRONICS			208 h		1,5 H		200 H		97%		100%
2	C.M CNC V40iL LEDWELL			208 h		1,5 H		200 H		97%		100%
3	TORNO CNC LYNX 300M DOOSAN N°7			208 h		1,5 H		200 H		97%		100%
4	TORNO CNC -LTC-20i LEADWELL			208 h		1,5 H		200 H		97%		100%
5	TORNO CNC LYNX 300M DOOSAN N°8			208 h		1,5 H		200 H		97%		100%
6	TORNO CONVENCIONAL SN500A-TRENS			208 h		1,5 H		200 H		97%		100%
7	FRESADORA UNIVERSAL S80-SACHMAN			208 h		1,5 H		200 H		97%		100%

Anexo N° 07: Evidencias fotográficas.

1) Área de mecanizado de la empresa Maqpower S.A.C



2) Observación de campo y entrevistas a informantes.



3) Reuniones con grupo de análisis

