

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



**“DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA
MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE MÁQUINAS DE CORTE CNC LÁSER DE
LA EMPRESA METALMECÁNICA R&G MAQUINARIAS Y SERVICIOS”**

TESIS PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO

AUTOR

JOSÉ CARLOS LEÓN FLORES

ASESOR

FÉLIX ALFREDO GUERRERO ROLDAN

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

Callao, 2024
PERÚ

INFORMACIÓN BÁSICA

FACULTAD:

Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN:

Unidad de investigación de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía.

TÍTULO:

“Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para aumentar la disponibilidad de máquinas de corte CNC láser de la empresa metalmecánica R&G Maquinarias y Servicios”.

AUTOR: LEÓN FLORES JOSÉ CARLOS

DNI: 75452438

ORCID: 0009-0002-9887-2976

ASESOR: GUERRERO ROLDAN FÉLIX ALFREDO

DNI: 08434246

ORCID: 0000-0002-0072-1102

LUGAR DE EJECUCIÓN: Cercado de Lima, Lima - Perú

UNIDAD DE ANÁLISIS: Máquinas de corte CNC láser

TIPO: Aplicada

ENFOQUE: Cuantitativo

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: Pre Experimental

TEMA OCDE: 2.03.01 Ingeniería mecánica

HOJA DE REFERENCIA DE JURADO Y APROBACIÓN

MIEMBROS DEL JURADO EVALUADOR

Presidente: DR. JUAN MANUEL, PALOMINO CORREA

Secretario: MG. ADOLFO ORLANDO, BLAS ZARZOSA

Miembro: MG. JOSE LUIS, YUPANQUI PEREZ

Asesor: DR. FELIX ALFREDO GUERREROROLDAN

N° de Libro: 001

N° de Folio: 205

N° de Acta: 179

Fecha de Aprobación de tesis: 16 DE AGOSTO DEL 2024

Resolución de Consejo de Facultad: N° 110-2024-CF-FIME - Callao

**ACTA N°179 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO**

**LIBRO 001, FOLIO N°205, ACTA N°179 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO TALLER DE
TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO.**

A los 16 días del mes de agosto del año 2024, siendo las 16:35 horas, se reunieron en el Auditorio "Ausberto Rojas Saldaña" sito Av. Juan Pablo II N° 306 Bellavista – Callao, los miembros del **Jurado Evaluador de Sustentación del I Ciclo Taller de Tesis 2024**, designado con Resolución de Consejo de Facultad N° 110-2024-CF-FIME – Callao, 23 de abril de 2024, para la obtención de los **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO**, conformado por los siguientes docentes ordinarios de la Universidad Nacional del Callao:

- | | | |
|-----------------------------------|---|------------|
| ▪ Dr. JUAN MANUEL PALOMINO CORREA | : | Presidente |
| ▪ Mg. ADOLFO ORLANDO BLAS ZARZOSA | : | Secretario |
| ▪ Mg. JOSÉ LUIS YUPANQUI PÉREZ | : | Vocal |

Se dio inicio al acto de sustentación de la tesis del Bachiller **JOSE CARLOS LEÓN FLORES**, quien habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de **INGENIERO MECÁNICO**, sustenta la tesis "**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE MÁQUINAS DE CORTE CNC LÁSER DE LA EMPRESA METALMECÁNICA R&G MAQUINARIAS Y SERVICIOS**", cumpliendo con la sustentación en acto público de acuerdo al artículo 56° de la Resolución de Consejo Universitario N° 150 -2023-CU.-CALLAO, 15 de junio del 2023.

Con el quórum reglamentario, se dio inicio a la exposición de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la exposición y la absolución de las preguntas formuladas por el jurado, y efectuada la deliberación pertinente, acordó por unanimidad: Dar por **APROBADO** en la escala de calificación cualitativa **BUENO** y con calificación cuantitativa de **15 (QUINCE)**, conforme a lo dispuesto en el Artículo 24° del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 150-2023-CU- CALLAO, 15 de junio de 2023.

Se dio por cerrada la Sesión a las 17:15 horas del día 16 de agosto de 2024.



Dr. Juan Manuel Palomino Correa
Presidente



Mg. Adolfo Orlando Blas Zarzosa
Secretario



Mg. José Luis Yupanqui Pérez
Vocal

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y DE ENERGÍA
Jurado Evaluador en las Sustentaciones de Tesis

I N F O R M E


Visto la *Tesis* titulado **“DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE MÁQUINAS DE CORTE CNC LÁSER DE LA EMPRESA METALMECÁNICA R&G MAQUINARIAS Y SERVICIOS”**, presentado por el(la) Bachiller de Ingeniería Mecánica **LEÓN FLORES Jose Carlos**.

A QUIEN CORRESPONDA:

El *Presidente del Jurado Evaluador en la Sustentación de Tesis*, manifiesta que la Tesis se realizó el viernes 16 de agosto del 2024 a las 16:35 horas. en el Auditorio "Ausberto Rojas Saldaña", no habiendo observaciones ni correcciones que incluir, el mismo que en su oportunidad fue cuidadosamente evaluado por cada uno de los miembros del Jurado Evaluador, no presentando ninguna observación en su estructura metodológica y contenido temático.

Se emite el presente informe favorable para los fines pertinentes.

Bellavista, 30 de setiembre del 2024


Dr. **JUAN MANUEL PALOMINO CORREA**
Presidente de Jurado

INFORME FINAL DE TESIS - LEON FLORES

7%
Textos sospechosos

6% Similitudes
1% similitudes entre comillas
< 1% entre las fuentes mencionadas
< 1% Idiomas no reconocidos

Nombre del documento: INFORME FINAL DE TESIS - LEON FLORES.pdf ID del documento: 428c250e2526c51321097f4f5630e1652cb47aa2 Tamaño del documento original: 9,01 MB	Depositante: FIME PREGRADO UNIDAD DE INVESTIGACION Fecha de depósito: 13/8/2024 Tipo de carga: interface fecha de fin de análisis: 13/8/2024	Número de palabras: 30.778 Número de caracteres: 211.475
---	---	---

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes de similitudes

Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.unac.edu.pe https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/20.500.12952/7109/1/TESIS - CACERES SANCHEZ CHRISTI...	< 1%		🔗 Palabras idénticas: < 1% (237 palabras)
2	INFORME FINAL DE TESIS - Collachagua Coz - Chávez Correa.pdf INFOR... #88c67c 🔍 El documento proviene de mi biblioteca de referencias 6 fuentes similares	< 1%		🔗 Palabras idénticas: < 1% (173 palabras)
3	TESIS FINAL MALLMA PEÑA JORGE GUSTAVO.pdf TESIS FINAL MALLMA ... #456a99 🔍 El documento proviene de mi biblioteca de referencias	< 1%		🔗 Palabras idénticas: < 1% (148 palabras)
4	diametral.pe Metalmecánica: ¿Qué es? Situación Actual en el Perú [2024] https://diametral.pe/blog/industria-metalmeccanica-peru/	< 1%		🔗 Palabras idénticas: < 1% (122 palabras)
5	revistas.ucv.edu.pe http://revistas.ucv.edu.pe/index.php/ingnosis/article/download/2477/1984	< 1%		🔗 Palabras idénticas: < 1% (147 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	Documento de otro usuario #53d920 🔍 El documento proviene de otro grupo	< 1%		🔗 Palabras idénticas: < 1% (35 palabras)
2	repositorio.ucv.edu.pe https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/20.500.12692/100798/1/Chavez_SJE - SD.pdf	< 1%		🔗 Palabras idénticas: < 1% (33 palabras)
3	repositorio.ucv.edu.pe https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/20.500.12692/28404/1/Nivanco_PVA.pdf	< 1%		🔗 Palabras idénticas: < 1% (27 palabras)
4	repositorio.ucv.edu.pe https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/98478/Quesquen_PYV-Regalado_LFX...	< 1%		🔗 Palabras idénticas: < 1% (30 palabras)
5	PROYECTO_ ISIDRO NUÑEZ JULIO WALTHER.pdf PROYECTO_ ISIDRO NU... #43ca12 🔍 El documento proviene de mi grupo	< 1%		🔗 Palabras idénticas: < 1% (19 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

1	https://predictiva21.com/analisis-criticidad-integral-activos/
2	https://www.researchgate.net/publication/27298565_El_Proyecto_de_la_Inv
3	https://hdl.handle.net/20.500.11839/7905
4	https://hdl.handle.net/20.500.12952/7109
5	http://hdl.handle.net/11634/37808

DEDICATORIA

A mi padre Jorge L. León por el apoyo incondicional que siempre me ha brindado, y de siempre estar pendiente en cada paso de mi vida.

A mi madre Celia por enseñarme el coraje y la rebeldía de luchar en la vida y nunca darnos por vencidos.

Por último, a mis hermanos, y familiares que siempre me han apoyado incondicionalmente.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por todo lo brindado en esta vida, a mis familiares por sus palabras de aliento y motivarme a ser mejor persona.

A la Universidad Nacional del Callao por la enseñanza, me otorgó los conocimientos necesarios para formarme y desarrollarme en la vida profesional.

A mi asesor de tesis Dr. Guerrero Roldan, por brindarme su orientación y apoyo en la elaboración de la tesis.

A los docentes del ciclo de tesis por sus conocimientos y guía en el proceso de desarrollo de mi tesis.

A la empresa R&G MAQUINARIAS Y SERVICIOS por brindarme las facilidades e información requerida para desarrollar mi tesis.

ÍNDICE

ÍNDICE	1
ÍNDICE DE TABLAS.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	9
RESUMEN.....	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN.....	12
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	15
1.2. Formulación del problema.....	22
1.2.1. Problema general.....	22
1.2.2. Problemas específicos	22
1.3. Objetivos	22
1.3.1. Objetivo general	22
1.3.2. Objetivos específicos.....	22
1.4. Justificación	23
1.4.1. Justificación teórica.....	23
1.4.2. Justificación práctica.....	23
1.4.3. Justificación metodológica.....	24
1.4.4. Justificación económica	24
1.4.5. Justificación ambiental	25
1.5. Delimitantes de la investigación.....	25
1.5.1. Delimitante teórica	25
1.5.2. Delimitante temporal.....	25

1.5.3. Delimitante espacial.....	25
II. MARCO TEÓRICO	26
2.1. Antecedentes: Internacionales y nacionales.....	26
2.1.1. Internacionales	26
2.1.2. Nacionales.....	29
2.2. Bases Teóricas	33
2.2.1. Ingeniería y gestión del mantenimiento.....	33
2.2.2. Definición del mantenimiento	33
2.2.3. Objetivo del mantenimiento	34
2.2.4. Filosofía del mantenimiento.....	35
2.2.5. Evolución del mantenimiento	35
2.2.6. Tipos de mantenimiento.....	38
2.2.7. Definición del mantenimiento preventivo.....	38
2.2.8. Indicadores del mantenimiento	41
2.2.9. Herramientas para el aseguramiento de la calidad en el mantenimiento.....	42
2.2.10. Análisis de criticidad.....	44
2.3. Marco Conceptual	44
2.3.1. Plan de mantenimiento preventivo	44
2.3.2. Disponibilidad.....	45
2.3.3. Costos de mantenimiento	45
2.3.4. Recolección de información	46
2.3.5. Análisis situacional.....	46
2.3.6. Planificación	46
2.3.7. Aplicación de actividades del mantenimiento preventivo	46
2.3.8. Equipos de estudio.....	47

2.4.	Definición de términos básicos.....	54
III.	HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	56
3.1.	Hipótesis.....	56
3.1.1.	Hipótesis general.....	56
3.1.2.	Hipótesis específicas.....	56
3.2.	Operacionalización de variables.....	57
IV.	METODOLOGÍA DEL PROYECTO.....	58
4.1.	Diseño metodológico.....	58
4.2.	Método de investigación.....	59
4.2.1.	Hipotético deductivo.....	59
4.3.	Población y muestra.....	60
4.3.1.	Población.....	60
4.3.2.	Muestra.....	60
4.4.	Lugar de estudio y periodo desarrollado.....	61
4.5.	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.....	61
4.5.1.	Técnicas.....	61
4.5.2.	Instrumentos para la recolección de información.....	62
4.6.	Análisis y procesamiento de datos.....	62
4.6.1.	Etapa 1: Recolección de información.....	64
4.6.2.	Etapa 2: Análisis situacional.....	78
4.6.3.	Etapa 3: Planificación.....	81
4.6.4.	Etapa 4: Aplicación de actividades de mantenimiento.....	99
4.7.	Aspectos éticos de la Investigación.....	105
V.	RESULTADOS.....	107
5.1.	Resultados descriptivos.....	107
5.1.1.	Disponibilidad.....	107

5.1.2.	Confiabilidad	109
5.1.3.	Mantenibilidad.....	111
5.2.	Resultados inferenciales	113
5.2.1.	Disponibilidad.....	113
5.2.2.	Confiabilidad	114
5.2.3.	Mantenibilidad.....	115
VI.	DISCUSIONES DE RESULTADOS.....	117
6.1.	Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados.....	117
6.1.1.	Contrastación de la hipótesis general.....	117
6.1.2.	Contrastación de la hipótesis específica 1	118
6.1.3.	Contrastación de la hipótesis específica 2.....	119
6.2.	Contrastación de los resultados con otros estudios similares.	120
6.3.	Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes.....	122
VII.	CONCLUSIONES	123
VIII.	RECOMENDACIONES	124
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	125
X.	ANEXOS.....	131
ANEXO N°1:	Matriz de consistencia.....	131
ANEXO N°2	Herramienta de ingeniería para el análisis de la problemática	132
ANEXO N°3	Autorización de uso de datos	133
ANEXO N°4:	Informe de opinión de juicio de expertos del instrumento de investigación.....	134
ANEXO N°5:	Ficha de recolección de datos.....	140
ANEXO N° 6:	Cálculo de la hipótesis general mediante software SPSS ...	145
ANEXO N°7:	Información técnica de equipos.	146
ANEXO N°8:	Detalle programación del proceso.....	152

ANEXO N°9: Actividades preventivas restantes	159
ANEXO N°10: Manual del cabezal láser Raytools.....	160
ANEXO N°11: Manual del enfriador de agua Hanli Chiller (mantenimiento)166	
ANEXO N° 12: Costo de la implementación del plan de mantenimiento	170
ANEXON° 13: Detalle de etapas de la implementación del plan de mantenimiento preventivo	174
ANEXO N° 14: Imágenes área de mantenimiento de la empresa	178
ANEXO N° 15: Imágenes de cortes producido por las máquinas de corte .	180

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1 Causas de la baja disponibilidad	20
Tabla 2. 1 Actividades básicas del mantenimiento preventivo	41
Tabla 2. 2 Datos de identificación de la máquina PRIMALASER 1000W	53
Tabla 2. 3 Datos de identificación de la máquina LEAPION 1000W	53
Tabla 2. 4 Datos de identificación de la máquina PRIMALASER 3000W	54
Tabla 4. 1 Etapas del análisis y procesamiento de datos	62
Tabla 4. 2 Tabla de las máquinas de corte CNC láser	64
Tabla 4. 3 Datos de identificación Primalaser 1000W	65
Tabla 4. 4 Datos de identificación Leapion 1000W	66
Tabla 4. 5 Datos de identificación Leapion 3000W	67
Tabla 4. 6 Criterios de impacto de seguridad.....	68
Tabla 4. 7 Criticidad de las máquinas de corte CNC láser.....	70
Tabla 4. 8 Registro de datos iniciales Primalaser 1000W	72
Tabla 4. 9 Registro de datos iniciales Leapion 3000W.....	73
Tabla 4. 10 Resumen de la data inicial por máquina.....	74
Tabla 4. 11 Resumen de la data inicial por mes	74
Tabla 4. 12 Cálculos del MTBF - Pre prueba por mes.....	74
Tabla 4. 13 Cálculos de MTBF por máquina Laser	74
Tabla 4. 14 Cálculo del MTTR - Pre prueba por mes.....	75

Tabla 4. 15 Cálculo del MTTR por máquina Laser.....	75
Tabla 4. 16 Cálculo de la disponibilidad - Pre prueba por mes	76
Tabla 4. 17 Cálculo de la disponibilidad - Pre prueba por máquina de corte láser	76
Tabla 4. 18 Cálculos del MTBF, MTTR y Disponibilidad – Pre Prueba por mes .	76
Tabla 4. 19 Cálculos del MTBF, MTTR y Disponibilidad - Pre Prueba por máquina	76
Tabla 4. 20 Matriz FODA del análisis actual.....	78
Tabla 4. 21 Análisis de criticidad por sistemas	79
Tabla 4. 22 Codificación a los sistemas de la maquina corte láser	82
Tabla 4. 23 Codificación sistemas y subsistemas Primalaser 1000W	82
Tabla 4. 24 Codificación sistemas y subsistemas Leapion 3000W.....	83
Tabla 4. 25 Actividades preventivas sistema control	85
Tabla 4. 26 Actividades preventivas sistema eléctrico - electrónico.....	86
Tabla 4. 27 Actividades preventivas sistema neumático.....	87
Tabla 4. 28 Actividades preventivas sistema mecánico	88
Tabla 4. 29 Actividades preventivas sistema corte.....	89
Tabla 4. 30 Actividades preventivas sistema refrigeración	90
Tabla 4. 31 Actividades preventivas sistema lubricación	91
Tabla 4. 32 Actividades preventivas sistema estructural.....	92
Tabla 4. 33 Fallas relevantes en la implementación Primalaser 1000W	95
Tabla 4. 34 Fallas relevantes en la implementación Leapion 3000W	96
Tabla 4. 35 Stock de repuestos	98
Tabla 4. 36 Resumen de datos post prueba por máquina	102
Tabla 4. 37 Resumen de datos post prueba por mes	102
Tabla 4. 38 Cálculo del MTTR - Post Prueba por mes	102
Tabla 4. 39 Cálculo del MTTR - Post Prueba por máquina.....	102
Tabla 4. 40 Cálculo del MTBF - Post Prueba por mes.....	103
Tabla 4. 41 Cálculo del MTBF - Post Prueba por máquina.....	103
Tabla 4. 42 Cálculo del Disponibilidad - Post Prueba por mes.....	103
Tabla 4. 43 Cálculo del Disponibilidad - Post Prueba por máquina.....	104
Tabla 4. 44 Resumen de los Cálculos del MTBF, MTTR y Disponibilidad - Post	

.....	104
Tabla 4. 45 Resumen de los Cálculos del MTBF, MTTR y Disponibilidad - Post por máquina	104
Tabla 4. 46 Gráfico de Disponibilidad - Post Prueba por mes.....	105
Tabla 4. 47 Gráfico de Disponibilidad - Post Prueba por máquina	105
Tabla 5. 1 Resumen del procesamiento de datos de la disponibilidad	107
Tabla 5. 2 Resumen del procesamiento de datos de la confiabilidad	109
Tabla 5. 3 Resumen del procesamiento de datos de la mantenibilidad.....	111
Tabla 5. 4 Prueba de normalidad de la disponibilidad	113
Tabla 5. 5 Estadísticas de muestras emparejadas pre y post de la disponibilidad	114
Tabla 5. 6 Correlaciones de muestra emparejadas pre y post de la disponibilidad	114
Tabla 5. 7 Prueba de normalidad de la confiabilidad	115
Tabla 5. 8 Estadísticas de muestras emparejadas pre y post de la confiabilidad	115
Tabla 5. 9 Correlaciones de muestras emparejadas pre y post de la confiabilidad	115
Tabla 5. 10 Prueba de la normalidad de la mantenibilidad	116
Tabla 5. 11 Estadística de muestras emparejadas pre y post mantenibilidad...	116
Tabla 5. 12 Correlaciones de muestras emparejadas pre y post mantenibilidad	116
Tabla 6. 13 Prueba de muestras emparejadas para la hipótesis general	117
Tabla 6. 14 Prueba de muestras emparejadas para hipótesis específica 1	118
Tabla 6. 15 Prueba de muestras emparejadas para hipótesis específica 2	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 Espesor máximos de corte para potencias láser.....	18
Figura 1. 2 Disponibilidad operación de las máquinas láser, 2023.....	19
Figura 1. 3 Diagrama de Ishikawa de baja disponibilidad de los equipos	20
Figura 1. 4 Diagrama de Pareto - Análisis de las causas.....	21
Figura 2. 1 Objetivos del mantenimiento.....	35
Figura 2. 2 Evolución del mantenimiento	37
Figura 2. 3 Ejemplo diagrama de Ishikawa.....	43
Figura 2. 4 Matriz de criticidad.....	44
Figura 2. 5 Amplificador óptico.	48
Figura 2. 6 Posición focal.....	50
Figura 2. 7 Proceso de corte por láser.	51
Figura 2. 8 Primalaser 1000W	53
Figura 2. 9 Leapion 1000W	53
Figura 2. 10 Leapion 3000W.....	54
Figura 4. 1 Ubicación R&G Maquinarias y Servicios.....	64
Figura 4. 2 Registro de datos iniciales.....	71
Figura 4. 3 Gráfico de Disponibilidad - Pre Prueba por mes.....	77
Figura 4. 4 Gráfico de Disponibilidad - Pre Prueba por máquina.....	77
Figura 4. 5 Criterio de codificación de las máquinas.....	81
Figura 4. 6 Ficha de registro de mantenimiento.....	93
Figura 4. 7 Ficha de registro de fallas.....	94
Figura 4. 8 Reporte de inspección de máquina láser.....	99
Figura 5. 1 Histograma pre prueba de la disponibilidad.....	108
Figura 5. 2 Histograma post prueba de la disponibilidad.....	108
Figura 5. 3 Comparativa pre - post prueba disponibilidad.....	109
Figura 5. 4 Histograma pre prueba de la confiabilidad	110
Figura 5. 5 Histograma post prueba de la confiabilidad.....	110
Figura 5. 6 Comparativa pre - post prueba confiabilidad.....	111
Figura 5. 7 Histograma pre prueba de la mantenibilidad.....	112
Figura 5. 8 Histograma post prueba de la mantenibilidad.....	112
Figura 5. 9 Comparativa pre – post test mantenibilidad	113

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

CNC	Control numérico computarizado.....	12
CAD	Diseño asistido por computadora.....	12
CAM	Fabricación asistida por computadora.....	12
TPM	Mantenimiento productivo total.....	29
MTTR	Tiempo promedio en reparación.....	31
MTBF	Tiempo promedio entre fallas.....	31
LCC	Life cycle costing.....	36
FMEA	Análisis de modo de falla y efectos.....	36
RCFA	Análisis causa raíz de falla.....	36
RPN	Índice prioritario de riesgo.....	36
MC	Mantenimiento correctivo.....	37
MP	Mantenimiento preventivo.....	37
MPd	Mantenimiento predictivo.....	37
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.....	46

RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado “Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de las máquinas de corte CNC láser de la empresa metalmecánica R&G Maquinarias y Servicios”, consistió como objetivo principal establecer en qué medida el diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejora la disponibilidad de las máquinas de corte CNC láser de la empresa metalmecánica R&G Maquinarias y Servicios, donde se desarrolló en cuatro etapas. Donde se inicia con la recolección de información, análisis situacional, planificación y finalmente aplicación del plan de mantenimiento para evaluar, analizar y calcular la disponibilidad e indicadores.

El tipo de estudio fue aplicado, con un enfoque cuantitativo, con nivel explicativo y un diseño pre - experimental. La población estuvo conformada por las máquinas de corte CNC láser pertenecientes a la empresa R&G Maquinarias y Servicios, mientras que la muestra se determinó mediante un muestro no probabilístico intencional donde mediante un análisis de criticidad se determinó que la muestra fueron dos máquinas de corte CNC láser, se realizó el estudio en dos periodos una pre prueba antes de implementar el plan de mantenimiento preventivo y el post prueba después de implementado. La técnica de investigación utilizada fue la observación, el instrumento de investigación fueron los formatos de recopilación de información. Para analizar los datos pre y post prueba se usó el programa estadístico SPSS.

Antes de aplicar el plan de mantenimiento preventivo a las máquinas de corte CNC láser se obtuvieron como resultado la disponibilidad del 87.4% y después de aplicar el mantenimiento preventivo a las máquinas de corte CNC láser se obtuvo un resultado mayor de la disponibilidad que fue del 94.9%; con lo cual se infiere que aplicando el mantenimiento preventivo a las máquinas de corte CNC láser se obtuvo una mejora de 7.6% en la disponibilidad en las máquinas de corte CNC láser. Se concluyó que el diseño e implementación del mantenimiento preventivo mejoró de manera significativa la disponibilidad de las máquinas de corte CNC láser y preservar la vida útil de las máquinas.

Palabras claves: Diseño, disponibilidad, máquinas de corte CNC láser, plan de mantenimiento preventivo.

ABSTRACT

The present research work entitled "Design of a preventive maintenance plan to improve the availability of the CNC laser cutting machines of the metalworking company R&G Maquinarias y Servicios", consisted of the main objective of establishing to what extent the design and implementation of a plan Preventive maintenance improves the availability of the CNC laser cutting machines of the metalworking company R&G Maquinarias y Servicios, where it was developed in four stages. Where it begins with the collection of information, situational analysis, planning and finally application of the maintenance plan to evaluate, analyze and calculate availability and indicators.

The type of study was applied, with a quantitative approach, with an explanatory level and a pre-experimental design. The population was made up of CNC laser cutting machines belonging to the company R&G Maquinarias y Servicios, while the sample is processed through intentional non-probabilistic sampling where, through a criticality analysis, it is determined that the sample was two CNC laser cutting machines, the study was carried out in two periods: a pre-test before implementing the preventive maintenance plan and a post-test after implementing it. The research technique used was observation, the research instrument was the information collection formats. To analyze the data before and after, the SPSS statistical program was used.

Before applying the preventive maintenance plan to the CNC laser cutting machines, the availability of 87.4% was obtained and after applying preventive maintenance to the CNC laser cutting machines, a higher availability result was obtained, which was 94.9%. %; With which it is concluded that by applying preventive maintenance to CNC laser cutting machines, an increase of 7.6% was obtained in the availability of CNC laser cutting machines. It was concluded that the implementation of preventive maintenance significantly increased the availability of CNC laser cutting machines.

Keywords: Design, availability, CNC laser cutting machines, preventive maintenance plan.

INTRODUCCIÓN

La industria metalmecánica juega un papel fundamental en diferentes sectores económicos a nivel nacional, su capacidad para proveer de maquinaria, bienes de consumo y herramientas especializadas, permite impulsar el desarrollo de industrias como la manufactura, la construcción, el complejo automotriz, la minería y la agricultura, etc. Gracias a su versatilidad y adaptabilidad la industria metalmecánica ofrece soluciones específicas para cada sector, contribuyendo así al desarrollo económico y tecnológico del país (Pardo, 2023).

El campo de la industria metalmecánica está en constante evolución, con nuevas tecnologías y metodologías en desarrollo. El CAD y CAM permiten diseños más precisos y eficientes, mientras que la automatización y la robótica han aumentado la productividad y disminuido los errores humanos.

R&G MAQUINARIAS Y SERVICIOS es una empresa metalmecánica con 12 años de trayectoria en el mercado dedicada al diseño, fabricación e instalación para la industria. Se ubica en la zona industrial del Centro de Lima, donde están sus instalaciones, que comprenden sus oficinas, máquinas y planta de producción. Como parte del desarrollo y modernización de su planta de producción, adquiere su primera máquina de corte CNC láser de fibra de 1000W de la marca Prima Laser (China), de esta primera máquina láser se obtuvo grandes aportes en la producción donde minimizaba errores, optimizaba material y se obtenía una calidad considerable en comparación a los cortes tradicionales que se hacían años atrás (troqueladora, punzonadora, esmeril, guillotina, taladro, tijera, etc.).

Con el tiempo la máquina láser se volvió un proceso clave en el área de producción de la propia empresa y se comienza el desarrollo de servicio a clientes externos. La empresa decide incursionar en el servicio de corte láser, con lo que decide adquirir dos máquinas láser, avanzadas en potencia de la marca Leapion de 1000W y 3000W, el cual permitió realizar cortes de mayor espesor y satisfacer la demanda de la producción y los servicios de corte láser a clientes externos.

Luego de tres años ininterrumpidos, las máquinas por ser nuevas en un inicio no habían presentado problemas, sin embargo, con el paso del tiempo presentaron

averías que se solucionaron de manera correctiva pero que vienen presentando gradualmente un desgaste en las máquinas.

En este caso las máquinas de corte CNC láser tenían una disponibilidad relativamente baja, dado la situación que se presentaba, se esperaba que se produzca una falla para realizar el mantenimiento correctivo, ocurriendo paradas no planificadas y afectando las programaciones de producción, muchas veces retrasando las labores del día.

La empresa cuenta con tres máquinas de corte CNC láser los cuales carecían de un plan de mantenimiento, que vino generando un desarrollo deficiente de las actividades dentro de la empresa, paradas no planificadas, mano de obra perdida, trabajos de corte inconclusos, una baja garantía del servicio, baja calidad de los cortes, costo alto de ejecución de mantenimiento correctivo y desgaste acelerado de los equipos.

Luego de invertir en costosos equipos de corte, se debe esforzar más en el mantenimiento posterior para que la máquina de corte por láser sea más estable y prolongar su vida útil. Como las máquinas láser son en su mayoría exportado de China, no trae la suficiente información y cuidados al momento de la mantención de la máquina. Se presenta dificultades para la obtención de información para la investigación, falta de un catálogo completo del fabricante y la falta de formatos de mantenimiento para la recolección de los datos, no obstante, mediante recopilación de información y estudios similares pudimos abordar de mejor manera el desarrollo de la investigación.

El presente trabajo de investigación titulado “Diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de las máquinas de corte CNC láser de la empresa metalmecánica R&G Maquinarias y Servicios”, tiene como objetivo principal establecer en qué medida el diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejora la disponibilidad de las máquinas de corte CNC láser de la empresa metalmecánica R&G Maquinarias y Servicios.

El presente proyecto de tesis consta de los siguientes VIII capítulos:

Capítulo I - Planteamiento de la investigación, donde se detalla la problemática, asimismo se detalló la importancia de la disponibilidad de las máquinas de corte láser, la causa raíz y las consecuencias de no tener un plan de mantenimiento preventivo (propuesta de solución).

Capítulo II - Marco teórico, se inicia con los antecedentes referente a la implementación de planes de mantenimiento, para tomar como referencia para la presente tesis, además se detallan los conceptos de mantenimiento e ingeniería del mantenimiento.

Capítulo III - Hipótesis y variables, se describió la hipótesis general y específicas de acuerdo a los objetivos definidos. Se definió la variable dependiente e independiente, finalmente se ha realizado la operacionalización de las variables.

Capítulo IV - Diseño metodológico, se hizo referencia a la metodología que se emplea en el trabajo de investigación. Se detalla el tipo y diseño de la investigación. Se detalla la población, lugar de estudio y técnicas de recolección de datos.

En el capítulo V - Resultados, veremos los resultados obtenidos en el trabajo de investigación.

En el capítulo VI - Discusión de resultados, donde contrastamos con nuestros antecedentes nacionales e internacionales con nuestras hipótesis, Por último, detallo las conclusiones a que se llega como también las recomendaciones a seguir y las referencias bibliográficas usadas en el trabajo de investigación. Finalmente tenemos los anexos.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

La industria metalmecánica se caracteriza por estar en constante búsquedas de mejora y avances tecnológicos en la fabricación de herramientas y utillajes. Estas innovaciones tienen como objetivo optimizar los procesos de producción, aumentar la precisión y eficiencia, y ofrecer soluciones más especializadas a las necesidades del sector (Pardo, 2023).

El mercado mundial máquinas de corte CNC láser de fibra alcanzó los 1.800 millones de dólares en 2017 y se prevé que alcance los 4.400 millones de dólares en 2025. Esto supondrá una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del 11,9 % entre 2018 y 2025, así mismo en el mercado mundial, el repentino aumento de las máquinas de corte por láser se ha considerado uno de los avances de mayor crecimiento en la industria de la fabricación. Desde su uso en tecnología avanzada hasta ser dispositivos complementarios para la fabricación. Durante la última década, los proveedores y fabricantes de máquinas de corte por láser crecieron exponencialmente, reemplazando lentamente los procesos de corte tradicionales a los que alguna vez estábamos acostumbrados y con ello nuevas técnicas y herramientas para el mantenimiento de las máquinas. El mercado chino de estos instrumentos dominaba la industria, sin embargo, cada año surgen más empresas extranjeras de fabricación y venta de máquinas de corte por láser (Sohocutting, 2023).

En Europa, la empresa Recam Laser S.L. está ubicada en Caldes de Montbuí – Barcelona, España, en base a su experiencia indican que el mantenimiento preventivo de las máquinas de corte CNC láser es muy importante para sus estándares de calidad y un mejor servicio a sus clientes, además de conseguir aumentar la vida útil de sus máquinas. También indica que resulta más económico mantener las máquinas en buen estado ante la posibilidad de sufrir fallos graves en sus componentes e incluso accidentes con daños a terceros.

La empresa MSS Group ubicada en Madrid – España, brinda servicios de mantenimiento preventivo a máquinas de corte CNC láser de marcas reconocidas, señala que sus clientes han salido beneficiado al aplicar el mantenimiento preventivo a sus equipos, esto se demuestra con la reducción de sus costos de reparación en un 40 %, prolongación de la vida útil y un mayor control de las variables de estado.

En Sudamérica, la empresa IMR S.A.S. ubicado en el país de Colombia, implementando el mantenimiento preventivo en las maquinas CNC, trajo nuevos procesos que logró expandir el catálogo de servicios y productos ofrecidos por la empresa, lo que aumento su capacidad para satisfacer las necesidades del mercado, a su vez la planificación del mantenimiento preventivo ha garantizado el funcionamiento óptimo de las máquinas y la identificación de cuellos de botella optimizando los flujos de trabajo (Dulcey, 2023).

Así mismo en la empresa INDUMETALSA S.A.S. ubicada en Bogotá – Colombia, no cuenta con un plan establecido de mantenimiento y se intervienen las maquinas solo cuando quedan inhabilitadas para su operación lo cual conlleva tener sobre costos debido a los tiempos de inactividad tanto de la máquina como de su operario además de los altos costos de reparación al llevar a cabo netamente el mantenimiento correctivo, existe un estudio concreto de cómo abordar dicha problemática pero no se ha implementado del todo lo que conlleva a tener retrasos en los procesos productivos (Santana, 2022).

Se evidencia que dichas empresas han implementado un mantenimiento preventivo, pero en muchos casos quedan incompletos porque no hay una mejora continua, esto se debe a factores de inversión, a la falta de capacitación de personal, al desconocimiento de las condiciones reales de los equipos y aplicación a activos de baja prioridad.

En el Perú, la empresa Cynara Perú S.A.C., la falta de MP, fichas técnicas y codificación por parte del departamento de mantenimiento de la planta ha

resultado en la reparación de los equipos solo cuando presentan fallas o averías, lo cual no es óptimo para garantizar la continuidad y eficiencia del proceso de producción, también no pueden medir la efectividad del mantenimiento por no tener implementado indicadores, luego de implementado demostró que al implementar un PMP mejoró la disponibilidad de 16 máquinas, lo cual representa un incremento significativo del 6.06% en comparación con el periodo anterior (Urquiza, 2021).

Asimismo, en la empresa MAZ Ingenieros Contratistas S.A.C., tiene un problema similar por la ausencia de un plan de mantenimiento, los equipos se encuentran en continuo funcionamiento, haciéndose indispensable evitar en lo más mínimo la ocurrencia de fallas que produzcan paradas indeterminadas en el proceso de trabajo ya que genera considerables pérdidas y una disminución en la calidad de servicio brindado por la empresa, lo cual asume una baja disponibilidad (Castañeda, 2017).

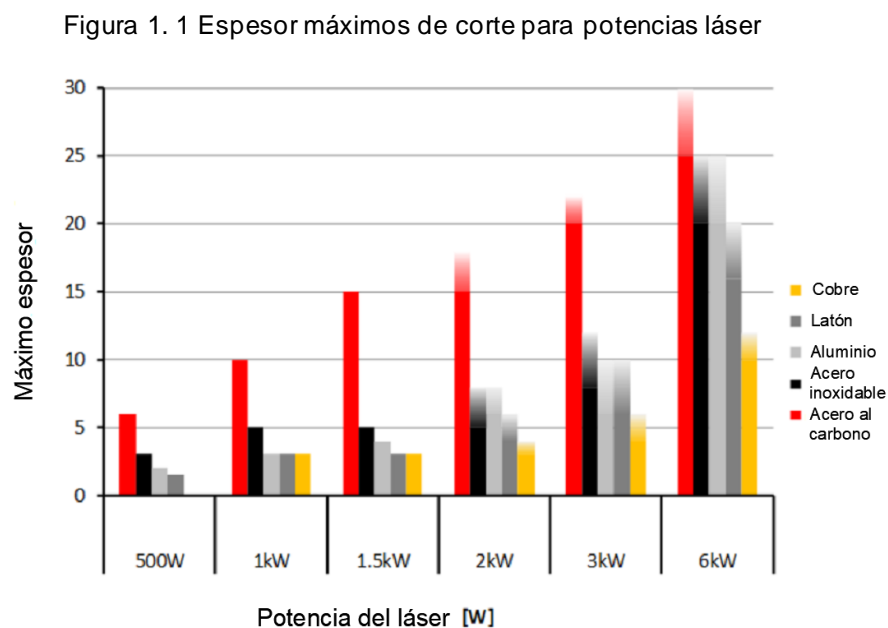
En el Perú, las empresas metalmecánicas sean mediana o gran empresa, aplican el mantenimiento preventivo ya que esto les favorece, y garantizan la disponibilidad de sus maquina y equipos, y de esta manera cumplen con los objetivos de producción y aumentar la vida útil. Por otro lado, aun se tienen empresas metalmecánicas que no confían en aplicar políticas de mantenimiento debido a que no lo ven como una inversión si no como un gasto. Lo cual desconocen que serían de gran utilidad.

A nivel local, la empresa R&G Maquinarias y Servicios busca ofrecer servicios de corte a clientes, muy a parte de su propia producción interna, pero se presentan fallas que repercuten en la producción y en la calidad del corte. Luego de invertir en costosos equipos de corte, se debe esforzar más en el mantenimiento posterior para que las máquinas de corte por láser sean más estables.

Las máquinas de corte láser como la Primalaser de 1000W nos permitía cortar materiales de hasta de 1/4" de espesor en acero inoxidable y 3/8" en acero al carbono, a su vez la máquina Leapion de 3000W que llegaba a

cortar 1/2" en acero inoxidable y 3/4" en acero al carbono, pero estas cambiaron a medida que transcurrió el tiempo debido a la falta de limpieza y mantenimiento del cabezal láser, lo que conllevaba una disminución gradual de corte en espesores requeridos, que venía afectando por una parte a los consumibles (lentes de protección, lentes focales, lente colimador, anillo de cerámica, boquillas) y por otro lado a la producción, produciendo mala calidad en los cortes y errores en la producción continua.

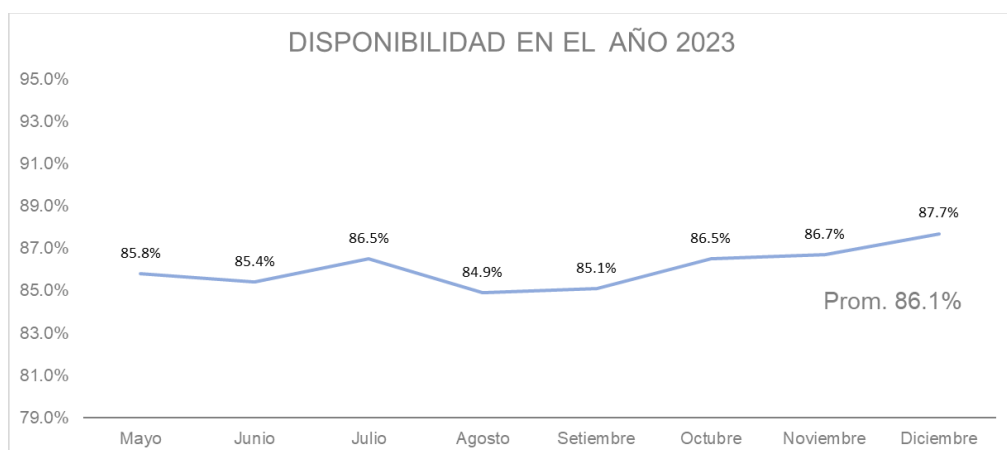
Los consumibles como los lentes de protección tiene un tiempo de vida de 2 a 3 semanas dependiendo las condiciones se opere la máquina, a su vez el lente focal y colimador tienen un tiempo de 6 a 8 meses en condiciones de uso. También influye la limpieza de dichos lentes, al más mínimo polvo o pelusa que ingrese perjudica a todos los lentes, pero mayormente a los de protección. Con la implementación se busca adaptar un área (aislada de polvo y suciedad), donde se pueda realizar los cambios de lentes críticos, sin mayor problema, y con ello una reducción económica de los consumibles. Como se ve en la figura 1.1, el espesor máximo de la lámina de metal que cortan las máquinas de corte por láser de fibra está determinado por la potencia del láser y el material que se corta.



Fuente: SPI Lasers UK Ltd (2020).

Las máquinas de corte CNC láser son el primer paso en el proceso de fabricación de los equipos industriales y gastronómicos de la empresa R&G Maquinarias y Servicios, teniendo total responsabilidad por el flujo de producción interno, cuyas ganancias representan un 85%, a la par el servicio de solo corte láser está en constante aumento, estableciéndose una cartera de clientes considerable, reflejándose en el ingreso diario de trabajos por corte láser. Es de vital importancia dentro de la empresa, convirtiéndose en el activo más crítico. Se sigue en el transcurso del 2023 dentro de los historiales de datos de las máquinas, y se observa en la figura 1.2 la disponibilidad promedio de los últimos 8 meses del 2023 antes de implementar el plan de mantenimiento, el promedio era de 86.1% siendo un valor que estaba por debajo del mínimo deseado.

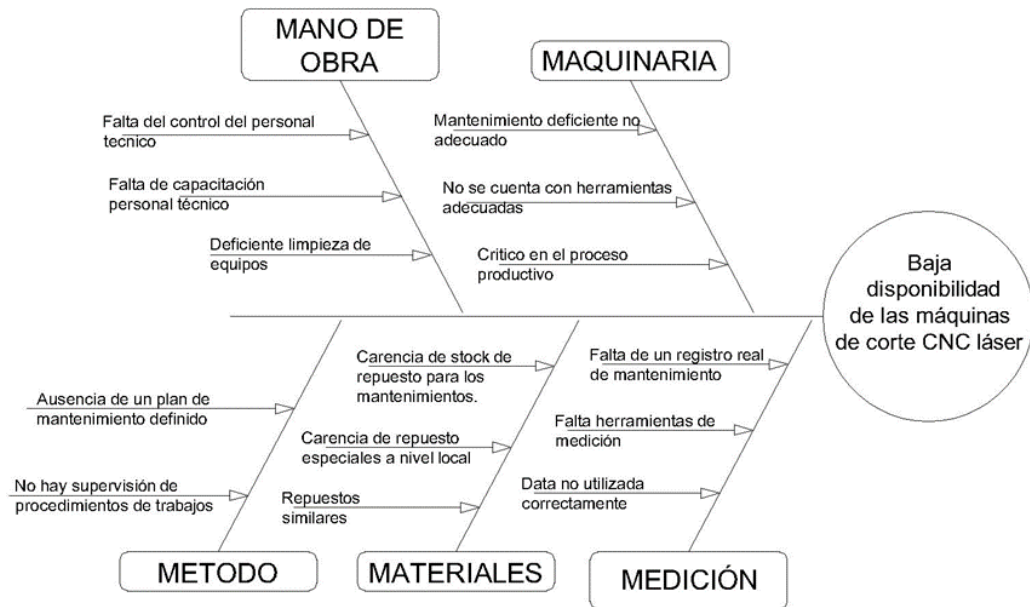
Figura 1. 2 Disponibilidad operación de las máquinas láser, 2023



Usando el diagrama Ishikawa en la figura 1.1, encontramos los motivos que originan estos problemas en las máquinas de corte y se observa que no hay una política de mantenimiento adecuada, no hay un historial y planificación del mantenimiento de las máquinas, personal técnico no está calificado para realizar un buen mantenimiento a las máquinas de corte CNC láser. También el incremento del proceso productivo de la empresa y los servicios de los clientes y las solicitudes de atenciones inmediatas que coordina el área comercial genera que las maquinas no tengan el tiempo necesario para su mantenimiento. Todo esto conlleva a una baja

disponibilidad de las máquinas de corte CNC láser, todo por no aplicar un mantenimiento preventivo y solo realizar mantenimiento correctivo.

Figura 1. 3 Diagrama de Ishikawa de baja disponibilidad de los equipos

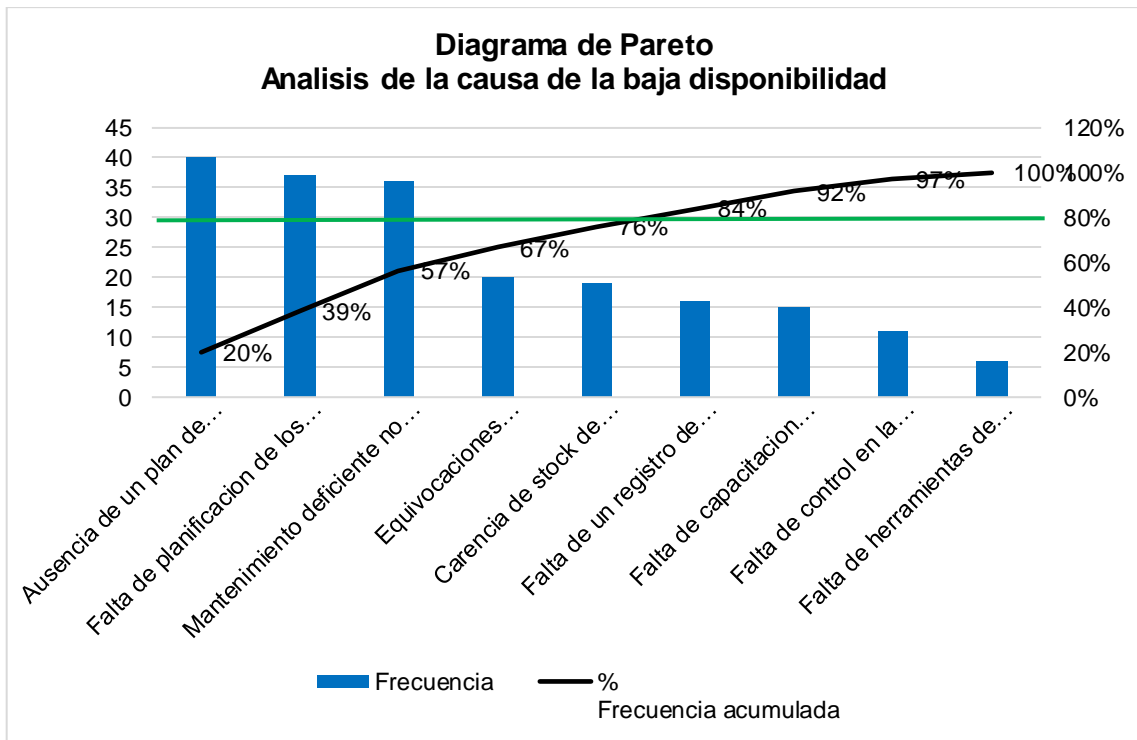


Antes de generar el diagrama de Pareto, se realizó un check list a los operadores y personal involucrados en las máquinas de corte CNC láser para hallar cuanto es la frecuencia de cada causa presentada.

Tabla 1. 1 Causas de la baja disponibilidad

N°	Causas	Frecuencia	%	%
			Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada
C1	Ausencia de un plan de mantenimiento definido	40	20%	20%
C2	Falta de planificación de los mantenimientos	37	19%	39%
C3	Mantenimiento deficiente no adecuado	36	18%	57%
C4	Equivocaciones procedimientos de los trabajos	20	10%	67%
C5	Carencia de stock de repuestos para los mantto	19	10%	76%
C6	Falta de un registro de mantenimiento	16	8%	84%
C7	Falta de capacitación personal técnico	15	8%	92%
C8	Falta de control en la ejecución del mantto	11	6%	97%
C9	Falta de herramientas de medición	6	3%	100%
Total		200	100%	

Figura 1. 4 Diagrama de Pareto - Análisis de las causas



En la figura 1.2 se observan que no había un plan de mantenimiento correctamente definido, no había una planificación de mantenimiento de las máquinas de corte CNC láser, no había un mantenimiento adecuado, equivocaciones en los procedimientos de los trabajos, carencia de stock de repuestos. Estas son las causas que están representando el 80% y se deben solucionar.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿En qué medida el diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejora la disponibilidad de las máquinas de corte CNC láser de la empresa metalmecánica R&G Maquinarias y Servicios?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿En qué medida el diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejora la confiabilidad de las máquinas de corte CNC láser en la empresa metalmecánica R&G Maquinarias y Servicios?
- ¿En qué medida el diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejora la mantenibilidad de las máquinas de corte CNC láser en la empresa metalmecánica R&G Maquinarias y Servicios?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar en qué medida el diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejora la disponibilidad de las máquinas de corte CNC láser de la empresa metalmecánica R&G Maquinarias y Servicios.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar en qué medida el diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejora la confiabilidad de las máquinas de corte CNC láser en la empresa metalmecánica R&G Maquinarias y Servicios.
- Determinar en qué medida el diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejora la mantenibilidad de las

máquinas de corte CNC láser en la empresa metalmecánica R&G Maquinarias y Servicios.

1.4. Justificación

Justificar implica proporcionar fundamentos para la investigación, es decir, explicar por qué es importante realizar la investigación.

1.4.1. Justificación teórica

Bernal (2010) sustenta que cuando el propósito de un trabajo de investigación, es motivar la reflexión y el debate académico sobre el conocimiento existente, confrontar una teoría para verificar resultados o hacer epistemología del conocimiento existente.

Por lo mencionado, la justificación teórica se basa en el estudio de la ingeniería de mantenimiento que permite calcular e interpretar indicadores de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad, además se basa en la ingeniería de manufactura asistida con CNC abordando temas importantes para el desarrollo del informe.

Además, contribuye de manera significativa a la empresa metalmecánica R&G Maquinarias y Servicios, dado que se presenta conocimiento de la Ingeniería del mantenimiento para comprender el concepto de los indicadores de mantenimiento y el mantenimiento preventivo dentro de la investigación.

1.4.2. Justificación práctica

Según Borja (2012), es necesario que la razón práctica esté bien fundamentada y opere como guía para resolver un problema examinando los beneficios del estudio. Esto puede resumirse dando respuesta a la pregunta: "¿Por qué es conveniente realizar la investigación?".

Se justifica la investigación, por que contribuye de una manera practica en el diseño e implementación del plan de mantenimiento preventivo que permite mejorar la disponibilidad de las máquinas de

corte CNC láser de la empresa metalmecánica R&G Maquinarias y Servicios.

Y no solo a la empresa R&G Maquinarias y Servicios, a la fecha las importaciones de estas máquinas láser están en aumento, las MYPE invierten en una máquina que mejore el proceso productivo y eso conlleva a un total cuidado de estos equipos costosos, capacitaciones tanto en el uso como en la instalación, este trabajo de investigación contribuye de manera significativa y práctica a empresas que recién empiezan o en el proceso decidan implementar un plan de mantenimiento preventivo.

1.4.3. Justificación metodológica

Según Espinoza (2010), la justificación metodológica se presenta cuando se propone una nueva técnica o método para la aplicación de la investigación.

La investigación aporta instrumentos que permiten el adecuado registro de los procesos de mantenimiento las cuales ayudan a definir un plan de mantenimiento preventivo utilizando una secuencia de actividades que aumenta la disponibilidad de las máquinas de corte CNC láser en la empresa metalmecánica R&G Maquinarias y Servicios.

1.4.4. Justificación económica

Demuestra las ventajas y las utilidades que se proponen a una organización o a una población a partir de los resultados obtenidos, ya que establece una premisa fundamental y una etapa inicial para completar los proyectos (Carrasco, 2005).

La presente investigación se justifica de manera que la implementación de un adecuado plan de mantenimiento preventivo permitirá a la empresa R&G Maquinarias y Servicio, minimizar el coste de mantenimiento, paradas de producción imprevistas, mejorar la productividad y el rendimiento de las máquinas de corte láser y con ello un aumento de ingresos económicos.

1.4.5. Justificación ambiental

La investigación se justifica ambientalmente en la optimización de las frecuencias de mantenimientos específicamente en los sistemas mecánicos y sistemas de lubricación, lo que permitirá reducir las intervenciones por cambio de lubricante y engrase, logrando una disminución de los desechos, además de optimizar la eficiencia de las máquinas, se evitará la necesidad de reemplazar con frecuencia, lo que a su vez reduce el uso de materias y recursos. En resumen, la investigación ayudará a una gestión más responsable y sostenible de la empresa en cuanto al uso de energías y materiales.

1.5. Delimitantes de la investigación

1.5.1. Delimitante teórica

El trabajo de investigación está delimitado teóricamente por las bases que implican la teoría de ingeniería de mantenimiento (estudios y estrategias), a fin de mejorar la disponibilidad, a su vez abordando estudios sobre la ingeniería de manufactura asistida con CNC y todos sus sistemas, subsistemas y componentes que comprenden para un funcionamiento óptimo.

1.5.2. Delimitante temporal

El informe final de investigación tiene como limitante temporal un rango de 6 meses en un análisis pre prueba (3 meses) y post prueba (3 meses), puesto que la obtención de la data comprendida en ese rango, es suficiente para dar indicadores confiables.

1.5.3. Delimitante espacial

El presente trabajo de investigación tiene una limitante espacial, puesto que depende únicamente de las máquinas de corte CNC Láser para realizar el análisis y obtener los resultados esperados. Ya que las acciones de mantenimiento se realizaron en la planta de producción ubicada en Av. Guillermo Dansey 936 – Cercado de Lima.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes: Internacionales y nacionales

2.1.1. Internacionales

Dulcey (2023), en su tesis “Implementación de procesos de manufactura y mantenimiento preventivo en máquinas herramienta de control numérico computarizado (CNC) en la empresa Industrias IMR S.A.S.” desarrollado para obtener el grado de Ingeniero Mecatrónico en la Universidad Santo Tomás, Bucaramanga – Colombia tuvo como objetivo general mejorar la eficiencia y productividad de los procesos de fabricación de la empresa Industrias IMR S.A.S. por medio de la implementación de programas de mecanizado en máquinas herramienta CNC, adoptando la planeación de mantenimiento preventivo y el análisis cuellos de botella. El tipo de investigación es aplicado y el autor concluye que se pudo cumplir con el alcance establecido y la implementación de nuevos procesos logró expandir el catálogo de servicios y productos ofrecidos por la empresa, lo que aumento su capacidad para satisfacer las necesidades del mercado, a su vez la planificación del mantenimiento preventivo ha garantizado el funcionamiento óptimo de las máquinas y la identificación de cuellos de botella optimizando los flujos de trabajo, resalta la planificación del mantenimiento preventivo en las máquinas CNC.

Esta investigación brindó información sobre las consideraciones que se debe de tener para elaborar un plan de mantenimiento preventivo para máquinas CNC, además del análisis de los diferentes requerimientos de mantenimiento de cada máquina, apoyándose del manual del fabricante, junto con el registro de mantenimientos previos dentro de la empresa.

Barreto y Polanco (2020), en su tesis “Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo para la cortadora de plasma CNC COMBIREX 4000 de la empresa metalmecánica IDEMEC S. A”

desarrollado para obtener el grado de Ingeniero Mecánico en la UNIVERSIDAD DE AMERICA, Bogotá -Colombia; tuvo como objetivo aplicar un plan de mantenimiento preventivo al equipo más crítico de la empresa, la cortadora de plasma CNC Combirex 4000, debido a su trabajo de alta complejidad que repercute en la línea productiva. El tipo de investigación es aplicada con un nivel explicativo, la recopilación de datos y estudio de la investigación se hizo dentro de las instalaciones de IDEMEC S.A. y su metodología de enfoque se centra en el plan de mantenimiento preventivo basado en RCM con la evaluación de los indicadores, codificación de equipos, clasificación de funciones, determinación de los modos de falla(a partir de diagramas de Ishikawa y Pareto), matriz de evaluación de los modos de fallo y por último la determinación de las tareas preventivas. Como conclusión se obtuvo un aumento en la disponibilidad de la maquina plasma CNC Combirex en un 17%, el plan de mantenimiento se diseñó de acuerdo a los pasos dados por el RCM, teniendo en cuenta los fallos presentados por el equipo y los componentes más importantes del mismo, desarrollando una herramienta que permita la prevención de fallas, para disminuir los tiempos muertos y generar el aumento de la confiabilidad en caso de su implementación.

La investigación se relaciona con la problemática planteada dado que presenta una metodología de investigación la cual sirvió de base para realizar el presente estudio, ya que parte desde la recopilación de información hasta la implementación de actividades de mantenimiento preventivo.

Loya (2020), en su tesis “Diseño de un plan de mantenimiento predictivo para el área de abastecimiento corte térmico de la empresa Sedemi” trabajo de investigación para obtener el título de Ingeniero Industrial en la Universidad Tecnológica Indoamericana, Quito – Ecuador; tuvo como objetivo general el diseño de un plan de mantenimiento preventivo mediante la aplicación de la técnica termográfica para el mejoramiento de la confiabilidad y disponibilidad

de la maquinaria crítica en el área de abastecimiento corte térmico de la empresa Sedemi, donde se identificó los equipos integrados dentro del proceso productivo mediante el análisis de criticidad, además describió los componentes críticos de la maquinaria utilizando la información de los manuales técnicos de la empresa, con ello se hizo una comparación de las actividades de mantenimiento correctivo con la aplicación técnica del mantenimiento predictivo basándose en la data del departamento de mantenimiento, luego realiza el plan y cronograma de mantenimiento predictivo con la información obtenida de los componentes críticos e información de manuales técnicos para que se establezca la frecuencia de revisión de los componentes. El tipo de investigación fue aplicada, como conclusión se obtuvo un incremento de la disponibilidad ya que inicialmente tenía 96 % y al final con la implementación del plan predictivo se obtuvo una disponibilidad del 98%. Como recomendación indica que se debe registrar ordenadamente la información obtenida al aplicar el plan predictivo, para así generar una base de datos confiable la cual se pueda ingresar en un futuro al GMAO (Gestión de mantenimiento asistido por ordenador).

La investigación se asimila al presente trabajo de investigación, ya que presenta una metodología de elaboración que pretende desarrollar una planificación del mantenimiento que busco en todo momento mejorar la disponibilidad, además del impacto que se tuvo en la producción, lo que permitió a la empresa mejorar su rendimiento en el mercado competitivo.

Pagatini (2017), en su tesis “Implementación del índice global de rendimiento operativo – IROG, en máquinas de corte por láser CNC”, para obtener el título de Ingeniero de Producción en la Universidad de Caxias do Soul, Caxias do Soul – Brasil, tuvo como objetivo en la investigación desarrollar una propuesta para la implementación del índice global de desempeño operativo en máquinas de corte láser CNC, permitió analizar la eficiencia de dos máquinas de mayor valor

añadido de la empresa, además logró estratificar el porcentaje de los ejes que componen el IROG (disponibilidad, rendimiento y calidad) y con los resultados obtenidos se pudieron realizar mejoras significativas. El tipo de investigación fue aplicada con un nivel pre experimental, donde tuvo como población y muestra las dos máquinas de corte por láser CNC, con los resultados obtenidos se pudo realizar mejoras significativas, reduciendo el tiempo de inactividad de la máquina. Con la implementación de las mejoras propuestas, el índice de disponibilidad había aumentado considerablemente, aumentando en consecuencia el OEE de las máquinas láser CNC en un 6% y un 9%. Este estudio logró aumentar el índice OEE en un 6% en la máquina de corte por láser 1 y en un 9% el índice en la máquina 2. A través del análisis de confiabilidad, se pudo notar la gran cantidad de paradas causadas por la limpieza de las lentes, debido a que los filtros estaban en problemas. Se cambiaron y hubo una disminución significativa en la limpieza de lentes, por lo que aumentó la disponibilidad de ambas máquinas, como la máquina 2, que tuvo su disponibilidad aumentada en un 10%.

2.1.2. Nacionales

Quesquén y Regalado (2022), en su tesis “Implementación del Mantenimiento Productivo Total para mejorar la Eficiencia General de la máquina de corte automática en SIMA Metal Mecánica, Chimbote-2021” trabajo de investigación para obtener el título de Ingeniero Industrial en la Universidad Cesar Vallejo, tuvo como objetivo de investigación implementar el TPM para mejorar la eficiencia general de la máquina de corte automática en SIMA Metal Mecánica. Fue un estudio de tipo aplicada con un diseño experimental en la clasificación pre-experimental, asimismo el estudio tuvo como población las 4 máquinas de oxicorte y 2 de corte del área de habilitado de Sima Metal Mecánica y la muestra fue la máquina de corte automática CNC ESAB Suprarex, el muestreo fue no probabilístico por conveniencia, los

instrumentos empleados fueron el registro de historial de fallas, formatos de programa de mantenimiento, check list 5'S, registro de evaluación de los factores OEE y demás instrumentos que sirvieron para la implementación del TPM. Se obtuvo como resultados que las principales causas de la baja eficiencia general de la máquina, fueron las paradas no programadas y el elevado costo de mantenimiento correctivo, además se determinó el OEE inicial, el cual tuvo un valor de 40%. La implementación del TPM, a través de 4 de sus pilares generó un aumento de la disponibilidad de 72 a 80%, el rendimiento de 57 a 69% y calidad de 99 a 100%, y finalmente se obtuvo un valor OEE de 55%. Se concluyó que la implementación del TPM aumenta el OEE de la máquina de corte, puesto que se incrementó un 15%. La investigación se asimila al presente informe final, ya que presenta una metodología de elaboración que pretende desarrollar una planificación del mantenimiento que busco en todo momento mejorar la disponibilidad en base a la metodología TPM, además del impacto que se tuvo en la producción, lo que permitió a la empresa alargar la vida útil de la máquina y mejorar su rendimiento en el mercado competitivo.

Cáceres (2022), en su tesis "Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para incrementar la disponibilidad de las grúas hidráulicas articuladas de la empresa corporación ELMARVI S.A.C." para obtener el título profesional de ingeniero mecánico en la Universidad Nacional del Callao, tuvo como objetivo principal diseñar un plan de mantenimiento preventivo para aumentar la disponibilidad de los equipos y desarrolló una metodología de tipo aplicada con diseño experimental y nivel pre - experimental, con un enfoque cuantitativo y un estudio longitudinal, inicio al identificar la ausencia de un plan de mantenimiento en las grúas, lo cual aminoraba los servicios de izamiento de cargas que requieren las mineras por tener una disponibilidad por debajo del 90%, para conseguir el diseño del plan de mantenimiento, inició con la recopilación de información, después

realizó un análisis situacional de los equipos a fin de determinar las fallas relevantes en los equipos críticos, luego identificó las causas raíz en los componentes críticos de los equipos, incluyo acciones que permitieron eliminar las fallas potenciales antes que se vuelvan fallas funcionales, por último utilizo indicadores de tal manera que se pueda realizar una medición de la eficiencia del plan de mantenimiento implementado. El informe concluye con una mejora que determinó el promedio del MTBF pre prueba es 49.88 horas y el promedio post prueba es del 55.6375 horas corroborando un incremento en la confiabilidad de 5.76 horas, además el promedio del MTTR pre prueba es 6.41 horas y el promedio post prueba es de las 2.275 horas una reducción del MTTR en 4.1375 horas por lo que la mantenibilidad incrementa. La investigación también concluye que su disponibilidad promedio inicial es de $Disp. Inicial=87\%$ y que al término de su investigación la disponibilidad promedio es del $Disp. final =95\%$.

Carrillo y Arteaga (2021) cuya investigación se titula “Implementación de la gestión de mantenimiento para mejorar la productividad en la máquina CNC de la empresa TFM, Chimbote-2021” trabajo de investigación para obtener el grado de Ingeniero Industrial en la Universidad Cesar Vallejo – Lima, tuvo como objetivo principal determinar como la gestión de mantenimiento mejora la productividad en la máquina CNC de la empresa TFM, desarrollo una metodología de tipo aplicada con nivel descriptivo y un enfoque cuantitativo, además de un diseño pre – experimental. Tomo como población el área de maestranza, la población está conformada por el registro de toda la temporada de mantenimiento llevada a cabo el año 2019. Como primer paso del método de análisis de datos, se realizó el diagnóstico situacional de la problemática de la empresa, resaltando los bajos niveles de confiabilidad y disponibilidad de la maquinaria, posterior a ello se llevó a cabo la descripción a la propuesta basada en la gestión de mantenimiento para la empresa TFM, luego, mediante el empleo de la estadística descriptiva se realizan cálculos

correspondientes tomando como referencia los indicadores de las variables en estudio, entre tanto, para la contratación de la hipótesis, se empleó la estadística inferencial, haciendo uso de la prueba de normalidad con la finalidad de determinar si los datos son o no paramétricos. Al final el informe concluyo con la identificación de los niveles de la confiabilidad y la disponibilidad antes de la aplicación de la propuesta, de donde evidenciaron bajos tiempos de operación de la maquinaria y, por el contrario, altos tiempos de reparación, así también se demostró que el tiempo promedio entre reparación era excesivo, ocasionando esto que se tengan bajos niveles de confiabilidad y disponibilidad de la maquinaria. Finalmente, la evolución de la disponibilidad de la maquinaria antes y después, todo ello al cabo de las 8 semanas históricas y proyectadas, en tal sentido, en el estado anterior la disponibilidad presentó un promedio del $Disp. Inicial=83.28\%$, mientras que posterior a la implementación de la propuesta, se alcanzó un promedio del $Disp. final= 89.61\%$.

Ramos (2017) en su tesis de investigación “Aumento de la disponibilidad mediante la implementación de un plan de mantenimiento preventivo a las maquinarias de la empresa Atlanta metal drill S.A.C”. desarrollado para obtener el grado de Ingeniero Mecánico en la Universidad Nacional de Trujillo. El objetivo fue implementar un plan de mantenimiento, para incrementar la disponibilidad de las máquinas en esa empresa. Esto se debió a la baja disponibilidad que presentaban estas mismas por motivos de las paradas constantes a causa de fallas inesperadas, para implementar dicho plan, llevo a cabo un procedimiento identificando las fallas y realizando una matriz de criticidad de las máquinas. Tomó como población 23 máquinas (todas de la empresa). Después que realizó el análisis de criticidad, destaco que cuatro máquinas eran críticas en el proceso, procede a realizar un plan de mantenimiento preventivo para las mismas, realizando un cronograma de actividades a realizar de manera periódica, sus proyecciones en los próximos seis meses.

Su estudio fue un diseño no experimental con un tipo de investigación descriptiva, aplicando las técnicas de observación directa, entrevista y material bibliográfico. La investigación concluye que su disponibilidad promedio inicial es de $\text{Disp. Inicial} = 97.38\%$ y que al término de su investigación la disponibilidad promedio proyectada es del $\text{Disp. final} = 98\%$.

Además, como recomendación en base a los resultados obtenidos estableció la creación de un puesto de trabajo que se encargue de la gestión de mantenimiento, así mismo de la implementación de indicadores de control, definición de procedimiento y el programa de mantenimiento.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Ingeniería y gestión del mantenimiento

Arata y Furlanetto (2005), nos dice que el concepto base que da lugar a la ingeniería de mantenimiento es la mejora continua del proceso de gestión del mantenimiento mediante la inclusión de conocimiento, inteligencia y análisis que sirvan de apoyo a la toma de decisiones en el área del mantenimiento, orientadas a favorecer el resultado económico y operacional global.

Además, la ingeniería de mantenimiento, que está relacionada con el análisis y la modelización de los datos obtenidos durante la ejecución del plan de mantenimiento, permite mejorar continuamente las estrategias, como la programación y planificación de las operaciones, con el objetivo de garantizar la consecución de resultados productivos y económicos con el menor coste global posible.

2.2.2. Definición del mantenimiento

Fernández (2005) define el mantenimiento como la organización de acciones que mantienen o restablecen una máquina en un estado de funcionamiento correcto. Lo considera un factor crucial en la calidad de los productos y puede usarse para competir considerablemente.

Las inconsistencias en el funcionamiento del equipo de producción conducen a una variabilidad excesiva del producto y, por lo tanto, a una producción defectuosa.

El autor Mora (2009) considera que el objetivo primordial del mantenimiento es aumentar la confiabilidad de los sistemas de producción mientras están en proceso de realización de actividades. La operación de las máquinas está directamente relacionada con el mantenimiento, siendo el objetivo primordial evitar eventos indeseables como paradas que no son necesarias.

Así mismo el autor Montilla (2015) define el mantenimiento como un conjunto de actividades que se planifican y coordinan con la intención de mantener los equipos en un estado operativo, lo más cercano posible a su estado teórico, a un menor costo (económico, de tiempo, de insumos), de forma segura para el personal y el medio ambiente, y de manera que apoye positivamente el cumplimiento de los objetivos de una organización.

La definición según norma ISO 14224 (2016), nos dice que es la realización de todas las acciones técnicas y administrativas, incluyendo las acciones de supervisión, destinadas a mantener o restablecer un activo a un estado en el que pueda llevar a cabo una función requerida

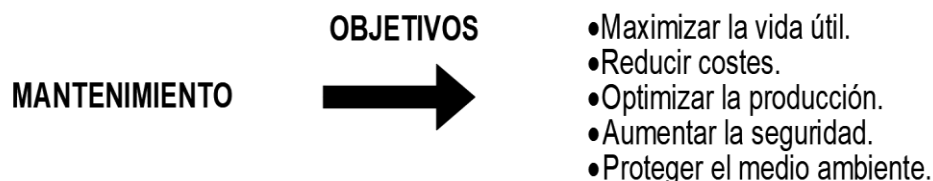
Los distintos enfoques o procedimientos que se utilizan en el proceso de mantenimiento de una empresa, una máquina, un equipo o un sistema se determinan en función de cuál de ellos es el más adecuado y produce los mejores resultados posibles. Dicho de otro modo, es esencial investigar cuál de estos enfoques aumentará la fiabilidad, la disponibilidad y reducirá los gastos.

2.2.3. Objetivo del mantenimiento

El objetivo del mantenimiento es lograr, con el menor coste posible, el mayor tiempo de servicio productivo de la maquinaria y las instalaciones (máxima disponibilidad). Esto se hace con el fin de lograr los niveles más altos posibles de calidad y productividad del

producto, garantizando al mismo tiempo una mejora de la seguridad operativa y protección del medio ambiente. Como se muestra en la figura 2.1 de los objetivos de mantenimiento.

Figura 2. 1 Objetivos del mantenimiento



2.2.4. Filosofía del mantenimiento

Al realizar el mantenimiento no basta con examinar, lubricar o sustituir componentes; también es necesario tener en cuenta la calidad y el rendimiento de los materiales. La selección de la máquina y su correcta instalación son los primeros pasos del proceso de mantenimiento propiamente dicho. Por otra parte, el diseño y la fabricación de la propia máquina deben basarse en el principio de la MANTENIBILIDAD. Por último, el mantenimiento no debe limitarse a lo que es beneficioso sólo para el equipo; también debe ser lo más beneficioso para las finanzas de la empresa, debe ser práctico, eficaz y económico, y debe aplicarse en la medida suficiente para lograr la plena disponibilidad del equipo y el mayor nivel posible de productividad empresarial.

2.2.5. Evolución del mantenimiento

Moubray (2004) menciona que el mantenimiento ha evolucionado durante las últimas décadas de la siguiente manera:

a. Etapa I:

Para llevar a cabo las primeras acciones de mantenimiento correctivo y aportar soluciones inmediatas a las paradas no programadas, durante la Etapa I se emplea y forma a personal de diversas disciplinas de mecánica, electricidad y electrónica.

b. Etapa II:

Después tiene lugar la fase II, que es cuando la organización empieza a establecer medidas de mantenimiento preventivo y

adquiere conocimientos sobre sus propias técnicas y tecnologías de prevención y predicción. Estas técnicas y tecnologías incluyen rutinas de inspección, planes preventivos, mediciones y evaluación del estado de los equipos.

c. Etapa III:

El proceso tiene lugar cuando las empresas deciden implantar un marco que permita la construcción secuencial, lógica y ordenada de un conjunto de tareas de mantenimiento. Esto se hace con el fin de gestionar y operar el mantenimiento dentro de un sistema, como TPM, RCM u otro sistema similar.

d. Etapa IV:

En este punto, las empresas empiezan a construir sus propios sistemas de cálculo de costes de mantenimiento utilizando el método LCC (Life Cycle Costing). Además, se inicia el registro histórico de averías y reparaciones, y se comprende y utiliza la curva de Davies para mejorar la competitividad del mantenimiento.

e. Etapa V:

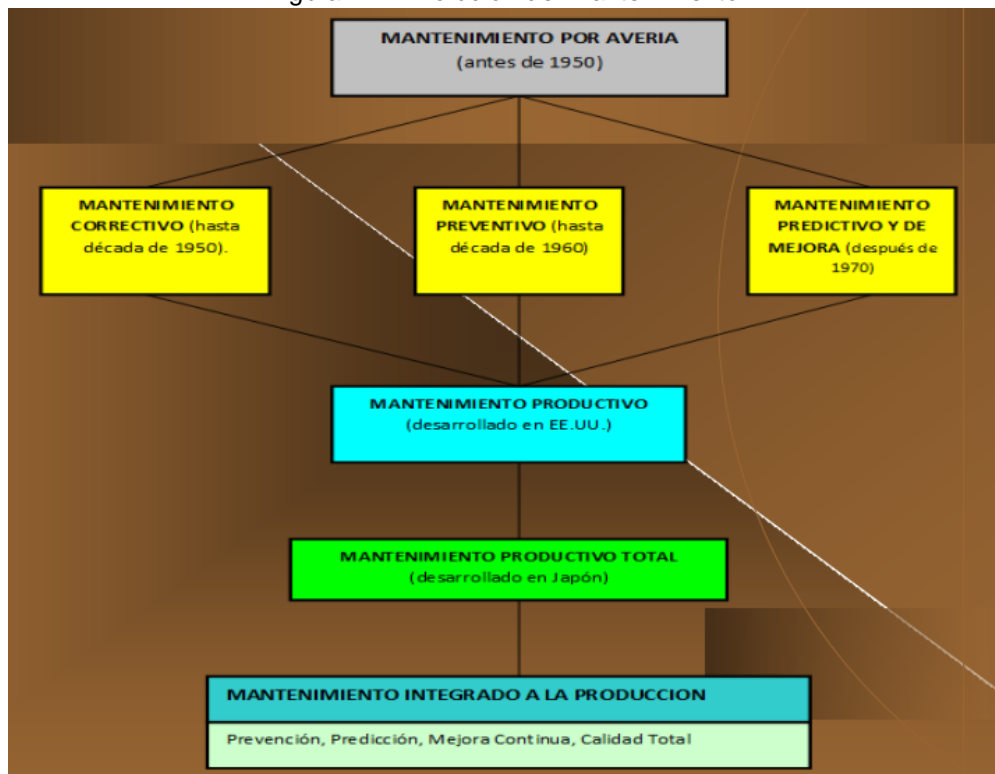
Además, se define mediante la creación del FMEA, RCFA y RPN, así como la unificación del sistema de información de mantenimiento y producción. Se adoptan indicadores sobre la calidad, los costes y el tiempo de cada actividad de mantenimiento, lo que establece un control total del mantenimiento en tiempo real.

f. Etapa VI:

Para reducir el tiempo necesario para las reparaciones, la cantidad de dinero que se gasta en mantenimiento y la cantidad de capital circulante que se necesita, se invierte en investigación y desarrollo de ingeniería.

En la figura 2.2 se observa como el mantenimiento ha ido evolucionando a lo largo de tiempo.

Figura 2. 2 Evolución del mantenimiento



Fuente: Apuntes material didáctico del curso "Gestión del Mantenimiento" (2020)
Autor: Ing. Adelmo Ramos

Inicialmente existía sólo el MANTENIMIENTO POR AVERÍA O REACTIVO forma primitiva que interviene la máquina sólo cuando ya ha fallado.

Como una técnica ventajosa apareció MANTENIMIENTO PREVENTIVO (MP) El nuevo concepto fue: antes que esperar una falla y reparar, era preferible reemplazar piezas en base a la estadística de su vida útil.

Luego se adopta MANTENIMIENTO CORRECTIVO (MC): Facilita y realiza el MP por detección oportuna de ocurrencia de falla y en su etapa incipiente

Mediante diagnóstico oportuno del estado de la máquina (procesamiento de señales) o mantenimiento por condición, apareció el MANTENIMIENTO PREDICTIVO (MPd). No solo contempla valores medios de la vida útil, sino también las dispersiones, generalmente alarga y pocas veces recorta el período de vida útil del componente o parte.

La siguiente etapa corresponde a la innovación de su gestión, denominado MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM), que aplica el concepto de calidad total al mantenimiento, visto ahora desde el ángulo de función empresarial.

2.2.6. Tipos de mantenimiento

Según Garcia (2003), menciona que se han distinguido 5 tipos de mantenimiento, diferenciados por el carácter de tareas que las conforman:

a. Mantenimiento correctivo: Se define como el conjunto de actividades establecidas para rectificar los fallos a medida que se producen.

b. Mantenimiento preventivo: A partir de la experiencia previa, son las operaciones de mantenimiento que se establecen, con el objetivo de programar las tareas en el momento más adecuado.

c. Mantenimiento predictivo: De acuerdo con el control y el seguimiento de las variables físicas (temperatura, vibración, consumo de energía, etc.), es el mantenimiento que estudia permanentemente el estado y la operatividad de los equipos. Este tipo de mantenimiento es el más avanzado tecnológicamente porque requiere medios técnicos avanzados, así como conocimientos avanzados de matemáticas y estadística.

d. Mantenimiento hard time o cero horas: Son las actuaciones que implican la sustitución o reparación de todos los componentes del equipo. Son el conjunto de trabajos que consisten en dejar el equipo como si fuera nuevo (cero horas).

e. Mantenimiento en uso: La recopilación de datos, las inspecciones visuales, la limpieza, la lubricación y el apriete de pernos son ejemplos de actividades de mantenimiento que lleva a cabo el operador del equipo específico.

2.2.7. Definición del mantenimiento preventivo

Es una serie de acciones dentro de un área específica con el objetivo

de conservar los equipos, máquinas, etc. para llevarlos a un estado que nos permita asegurar el buen funcionamiento a un mínimo costo (Viveros y Stegmaier, 2013, p.120).

El concepto de mantenimiento preventivo se desarrolló con la intención de predecir y prepararse para la avería de máquinas y equipos utilizando una recopilación de datos sobre los numerosos sistemas, subsistemas e incluso componentes. De acuerdo con esta premisa, el programa se crea con frecuencias de calendario o el uso de equipos para realizar cambios de subconjuntos, cambios de componentes, reparaciones, ajustes, cambios de aceite y lubricantes y otras modificaciones en maquinaria, equipos e instalaciones que se consideran vitales para evitar averías (Sánchez y Pérez, 2015).

Específicamente con el fin de realizar un mantenimiento preventivo. Ante todo, es esencial darse cuenta de si un sistema necesita mantenimiento o ha fallado. El ritmo al que se producen los fallos varía a lo largo de la vida útil del producto; por lo tanto, es esencial realizar el diagnóstico de fallos y la inspección del equipo, seguidos del control y la programación del mantenimiento, para garantizar que el equipo estará disponible cuando se necesite (Duffa, 2013, p.110).

a) Objetivos del mantenimiento Preventivo:

- Minimizar las acciones correctivas: paradas no planificadas de cualquier tipo.
- Aumento de la disponibilidad de las máquinas: horas disponibles para la producción.
- Mejorar la conservación de los activos: alargar la vida útil de máquinas.
- Mejorar la calidad y productividad: disminuyendo los productos defectuosos, servicios deficientes, desperdicios y pérdidas de producción.
- Reducción de costos: mantenimiento y reparaciones.
- Mejorar en las condiciones de seguridad.

b) Tipos de mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo actual, consiste en planificar las actividades de mantenimiento para evitar fallas prematuras o paradas de producción; para ello, se sustenta en dos grandes modalidades o formas de mantenimiento: el TBM y el CBM.

Mantenimiento basado en el tiempo (TBM) esta práctica, que también se denomina mantenimiento periódico, consiste en llevar a cabo tareas fundamentales de limpieza, así como de sustitución y restauración de piezas y componentes, de forma regular (en el tiempo) para evitar averías o posibles fallos.

Otras formas del TMB:

- M.P. básico o rutinario: tareas rutinarias y repetitivas que se realizan en forma sistemática y programada: limpieza, lubricación e inspección.
- M.P. renovativo: Mantenimiento mayor, restauración a condición cercana a nueva. Implica máquina parada, requiere la aplicación de técnicas de planificación y programación.

Mantenimiento basado en la condición (CBM), referido a la condición o estado de la máquina o equipo, se basa en la utilización de equipos de diagnóstico especializados y técnicas contemporáneas de procesamiento de señales, que evalúan el estado del equipo mientras está en funcionamiento.

Cuando la CBM se utiliza como base para el mantenimiento, el proceso se denomina mantenimiento predictivo. Este tipo de mantenimiento no sólo evalúa el estado del equipo, sino que también sugiere cuándo sería más apropiado intervenir para evitar que se produzca un fallo.

c) Actividades básicas del mantenimiento preventivo

Las actividades básicas del mantenimiento preventivo serán definidas como: limpieza, lubricación, inspección y ajuste.

De lo expuesto se muestra en la tabla 2.1 las actividades básicas.

Tabla 2. 1 Actividades básicas del mantenimiento preventivo

Actividades básicas del mantenimiento preventivo	
Limpeza	La limpieza de la máquina o de los componentes de la instalación debe ser el primer paso de cualquier acción de mantenimiento que se realice. El objetivo es evitar que la máquina se desgaste antes de tiempo y evitar un desgaste excesivo.
Lubricación	Atenúa la fricción o rozamiento entre los elementos móviles, y controla el desgaste prematuro de componentes móviles de la máquina. El objetivo es prolongar la vida útil de los elementos de máquina y de la máquina misma.
Inspección	Proceso de revisión sistemática a la maquinaria. Procedimiento fundamental y punto de partida del MP. Su finalidad es evaluar los componentes con problemas potenciales e identificar los componentes que pueden causar una parada imprevista.
Ajuste	Es necesario realizar ajustes en todas y cada una de las máquinas de forma periódica para garantizar que la máquina funcione continuamente de forma satisfactoria.

2.2.8. Indicadores del mantenimiento

Según Fernandez (2005) menciona que los indicadores de mantenimiento son los siguientes:

- **Confiabilidad**

Se define como la probabilidad, durante un periodo de tiempo especificado, de que el equipo en cuestión, pueda realizar su función o su actividad en las condiciones de utilización, o sin avería.

Una medida de la confiabilidad es el MTBF (Mean Time Between Failures) o en castellano Tiempo Medio entre Fallas.

$$MTBF = \frac{\text{horas acumuladas de equipo} - \text{horas acumuladas de intervenciones}}{\text{numero de intervenciones}} \dots (2.1)$$

- **Mantenibilidad**

Se define como la probabilidad de que el equipo, después del fallo o avería sea puesto en estado de funcionamiento en un tiempo dado. Una medida de mantenibilidad es el MTTR (Mean Time to Repair) o Tiempo Medio de Reparación.

$$MTTR = \frac{\text{tiempo total de intervenciones al equipo}}{\text{numeros de intervenciones}} \dots (2.2)$$

- **Disponibilidad**

Se define como la probabilidad en el tiempo, de asegurar un servicio requerido. Hay autores que definen la disponibilidad como el porcentaje de máquinas útiles en un determinado momento, frente al parque total de máquinas.

$$\text{Disponibilidad del equipo} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \dots (2.3)$$

2.2.9. Herramientas para el aseguramiento de la calidad en el mantenimiento

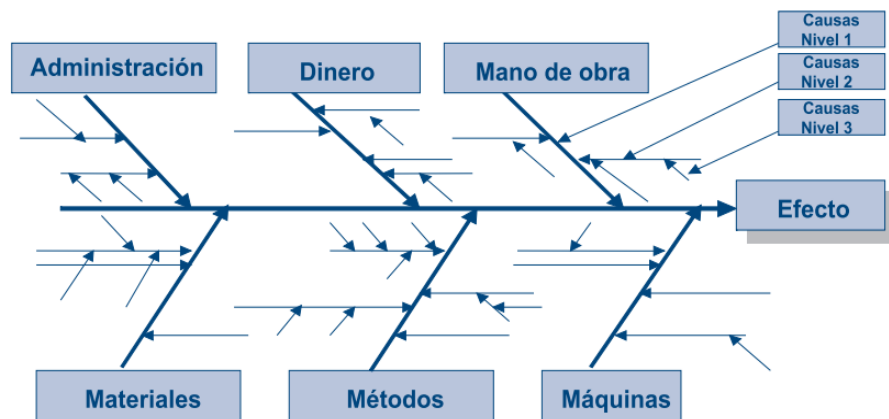
Según Santiago (2018), las herramientas de calidad se suelen utilizar con el propósito de organizar en grupos un gran número de ideas, opiniones o temas relacionados sobre un determinado asunto. Esta herramienta ordena la información en grupos o problemas basándose en los vínculos naturales que existen entre los pensamientos, opiniones u otras cuestiones que se han recopilado en relación con un tema o problema específico. Esto ocurre cuando se ha recogido un número significativo de ideas, opiniones u otras cuestiones.

- **Diagrama de causas – efectos de Ishikawa.**

Así mismo Santiago describe que el diagrama de Ishikawa es un método gráfico como se puede apreciar en la figura 2.3 que se usa

para efectuar un diagnóstico de las posibles causas que provocan ciertos efectos, los cuales pueden ser controlables. Además, permite apreciar, fácilmente y en perspectiva, todos los factores que pueden ser controlados usando distintas metodologías. Al mismo tiempo, permite ilustrar las causas que afectan una situación dada, clasificando e interrelacionando las mismas (2018, p. 61).

Figura 2. 3 Ejemplo diagrama de Ishikawa.



Fuente: Herramientas para la mejora de la calidad (UNIT 2009).

Además, Santiago (2018) nos muestra algunas de las principales formas de usar un diagrama de Ishikawa:

- **Como un medio de interacción activa.** Siempre que se descubre un efecto inusual, se piensa activamente sobre las causas y se expresan sobre el diagrama.
- **Como un medio de recolección de datos.** Encontrar el porcentaje de dispersión, el rango de dispersión y otra información similar es esencial si se produce un cambio en la calidad del producto. Por otro lado, estos valores son sólo indicativos de lo que ha ocurrido; no ofrecen ninguna solución potencial.
- **Como un medio de mostrar el nivel tecnológico.** En situaciones en las que es posible diseñar un diagrama causa-efecto, esto indica que existe una buena comprensión del proceso de realización. Dicho de otro modo, el diagrama acabará siendo de mayor calidad si las personas que lo operan tienen un mayor nivel de

conocimientos tecnológicos.

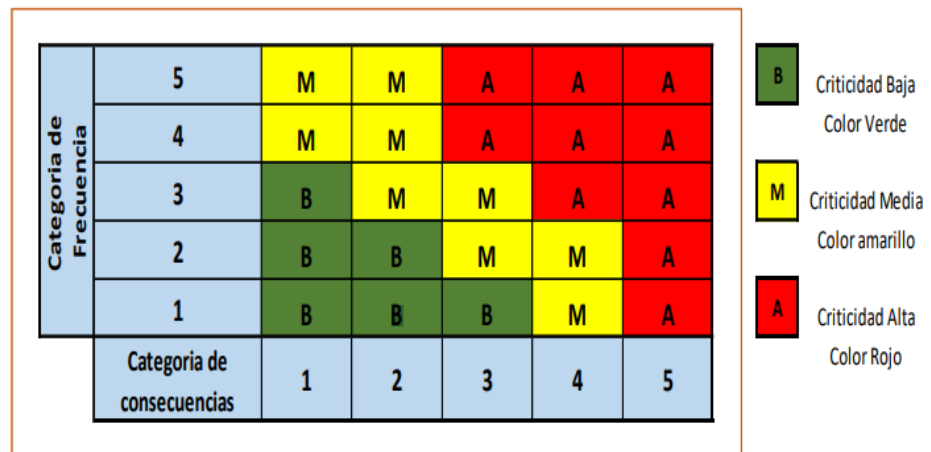
- **Como un medio para resolver cualquier problema.** Una técnica para explicar la relación entre causas y efectos de forma lógica es mediante el uso de un diagrama causa-efecto. Una vez realizado, puede utilizarse en cualquier circunstancia para mostrar con mayor claridad las causas, lo que permite actuar con rapidez.

2.2.10. Análisis de criticidad.

Moubray (2004) define la técnica del análisis de criticidad como una metodología que tiene en cuenta la jerarquía o prioridad en los procesos. Esta metodología sienta las bases para una toma de decisiones inteligente y se centra en las áreas en las que hay que mejorar la confiabilidad operativa con mayor frecuencia.

El objetivo de realizar un análisis de criticidad es construir una jerarquía de procesos, ya sean sistemas o equipos, dentro de la cual se dé prioridad a una reparación o solución rápida. Esto se debe a que estos procesos son esenciales por naturaleza, dada la importancia de la producción. Como se muestra en la figura 2.4.

Figura 2. 4 Matriz de criticidad.



Fuente: <https://predictiva21.com/analisis-criticidad-integral-activos/>

2.3. Marco Conceptual

2.3.1. Plan de mantenimiento preventivo

Según Mora (2009), las medidas preventivas se basan en el examen

periódico del estado de los componentes de la máquina para planificar sistemáticamente los trabajos proactivos. Esta revisión se realiza con el fin de garantizar que las acciones proactivas se lleven a cabo. Uno de los beneficios más significativos de la utilización de esta metodología es que permite anticipar la planificación de las acciones preventivas, lo que en última instancia conduce a una utilización más eficiente de los recursos disponibles.

2.3.2. Disponibilidad

Para Riba (2002), menciona el concepto de disponibilidad, infiriendo que este va más allá de la confiabilidad y mantenibilidad y recalcando que: “la disponibilidad es la aptitud de un producto, máquina o sistema para cumplir su función, o estar en condiciones de hacerlo en un momento dado cualquiera”.

De párrafo anterior se infiere que la disponibilidad es la probabilidad en donde la máquina se encuentre en óptimo estado sin fallo alguno.

2.3.3. Costos de mantenimiento

Desde el punto de vista de la administración del mantenimiento, uno de los factores más importantes es el costo.

Se refiere al esfuerzo financiero que se realiza para lograr un objetivo, que en este caso es garantizar que las máquinas estén disponibles y puedan funcionar.

En su tesis, Luque (2021) hace la observación de que los costes asociados al mantenimiento suelen ser costes fijos. En este contexto, no es necesario tener en cuenta los costes en que se incurre como consecuencia de los fallos. Esto se debe a que es necesario tener un plan de mantenimiento que programe una parada con el fin de cambiar o reparar un componente. Cuando un componente se encuentra en la fase final de su vida útil, debe programarse su mantenimiento para evitar la parada del equipo, la disminución de la producción diaria, daños colaterales a otros componentes y otras cuestiones similares. Cuando se programa una pieza de maquinaria, es necesario generar

un informe exhaustivo sobre el estado actual del repuesto, componente o equipo. Esto se hace con antelación para que la administración y la logística puedan tener en cuenta este gasto en la valoración mensual.

2.3.4. Recolección de información

“La recolección de información en el mantenimiento involucra la recopilación de datos sobre el rendimiento y la condición de los activos, utilizando técnicas como inspecciones visuales, monitoreo continuo y análisis de fallas, con el objetivo de optimizar la gestión de activos y minimizar los tiempos de inactividad no planificados”. (Mobley, 2002).

2.3.5. Análisis situacional

“El análisis situacional actual en el mantenimiento es fundamental para evaluar el estado de los activos y los procesos de mantenimiento, identificar áreas de mejora y determinar las prioridades de la estrategia de mantenimiento”. (Mobley, 2002).

2.3.6. Planificación

"La planificación en el mantenimiento es esencial para optimizar la disponibilidad y confiabilidad de los activos. Esto implica anticipar las necesidades de mantenimiento, programar las actividades en función de la criticidad y el riesgo, y garantizar la disponibilidad de los recursos necesarios para llevar a cabo las tareas planificadas de manera eficiente y efectiva." (Mobley, 2002).

2.3.7. Aplicación de actividades del mantenimiento preventivo

"La aplicación efectiva de actividades de mantenimiento preventivo requiere un enfoque sistemático que incluya la identificación adecuada de las actividades necesarias, una programación y planificación cuidadosas, una ejecución precisa y un seguimiento riguroso del rendimiento del equipo." (Mobley, 2002).

2.3.8. Equipos de estudio

- **Láser**

De acuerdo con el artículo que fue publicado en la Revista Mexicana de Física en 2018, el autor Ibarra afirma que el fenómeno de emisión estimulada de radiación electromagnética es el responsable de la generación de láseres, los cuales se caracterizan por la amplificación de la luz a través de la emisión de radiación. La creación de la energía que se emite puede controlarse cuando se estimula la materia mediante una transmisión de energía externa. Esto es posible gracias al control de la energía de estimulación. Un tipo específico de emisión de energía se conoce como emisión estimulada. Este tipo de emisión se produce cuando el fotón que se emite tiene la misma dirección y longitud de onda que el fotón que provocó la emisión. Es bastante significativo que exista este fenómeno porque indica que es factible, en algunas circunstancias, aumentar la cantidad de energía que se emite. Producir rayos láser sólo con este mecanismo no basta para cumplir la tarea.

Son necesarias dos condiciones más, que se deben obtener por la arquitectura del sistema Láser: La inversión de población por el bombeo; y la resonancia. Esto produce una radiación electromagnética que tiene las siguientes propiedades:

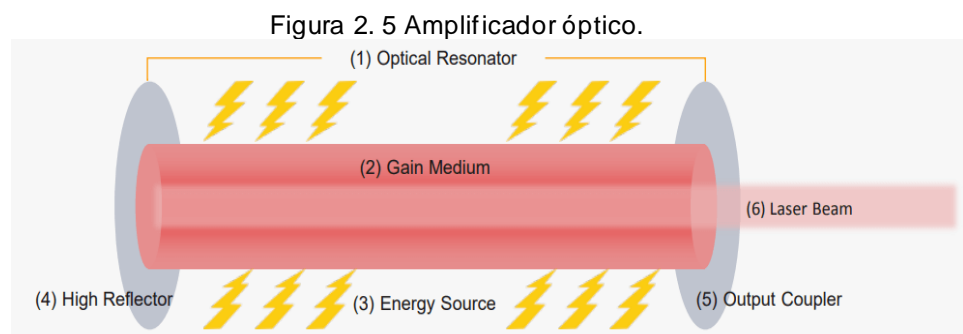
- Los fotones tienen la misma longitud de onda o frecuencia. Esto significa que se consigue un haz monocromo.
- Los fotones tienen la misma dirección de propagación, la misma fase en el tiempo y en el espacio. Esto se traduce en que se consigue alta coherencia y baja divergencia.
- Los fotones generados tienen la misma energía de los fotones que han impactado el material. Por tal motivo, se consigue la amplificación de energía y, en particular, un haz con alta energía.
- Elevada focalización: el rayo láser puede ser concentrado sobre una pequeña área de superficie. La alta coherencia y la baja divergencia y la misma longitud de onda por cada recorrido

óptico permiten obtener una pequeña región donde la energía está focalizada.

- El láser se puede transportar sin reducción de la energía transportada. La alta coherencia y la baja divergencia permiten el transporte de energía sin dispersión.
- Alta eficiencia de interacción de la radiación electromagnética con los materiales.

Según el sitio web de System (2020), se trata de un amplificador óptico que transforma energía en haces de luz altamente concentrados mediante la emisión estimulada de fotones, que son partículas de luz, a partir de materia que se encuentra en estado excitado. Las características únicas de la luz láser permiten realizar procesamientos más potentes, precisos y versátiles en una amplia gama de industrias y aplicaciones.

Su estructura se muestra en la figura 2.5.



Fuente: Introducción a IPG Photonics (2019).

Un láser consta de:

- Un resonador óptico, típicamente dos espejos entre los cuales viaja un rayo de luz coherente en ambas direcciones.
- Material de medio activo dentro del resonador con propiedades que permiten la amplificación de la luz por emisión estimulada.
- Una fuente de energía de luz o corriente eléctrica que excita los átomos en el medio activo, conocida como sistema de bombeo.

La luz en el medio activo viaja hacia adelante y hacia atrás entre los dos espejos:

- El reflector alto.
- El acoplador de salida, que se amplifica cada vez. El acoplador de salida es parcialmente transparente, lo que permite que salgan algunos de los fotones o el rayo láser.

- **Óptica Láser**

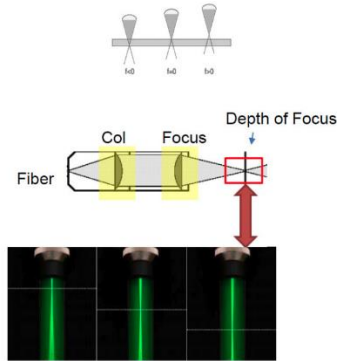
Cuando se trata de conseguir la mejor calidad de corte posible, la ubicación del foco es un componente crucial. Para cada tipo de material que se corte, la ubicación del punto focal es muy importante. Para ajustar la posición focal, el ProCutter gira la lente colimadora mientras mantiene la posición fija de la lente de enfoque. Cuando se intenta lograr el punto focal, el campo en el que se trabaja se denomina "profundidad de enfoque" o "rango de enfoque".

Cuando se utiliza el corte con nitrógeno, el corte debe colocarse cerca de la parte inferior del material. Esto permite que el gas ofrezca asistencia en el proceso de eliminación del material. Este tipo de corte se denomina corte endotérmico y suele realizarse con gas auxiliar nitrógeno aplicando presiones superiores a 10 bares.

El corte exotérmico, que a menudo implica la utilización de corte por oxígeno a bajas presiones (menos de un bar), requiere que el cortador se concentre muy cerca de la sección superior del componente. Esto se debe a que el láser y el gas trabajan juntos para producir lo que se conoce como un corte exotérmico.

La figura 2.6 se muestra la posición focal según el campo que se está trabajando para alcanzar la profundidad de enfoque, según el material a cortar y el gas auxiliar empleado.

Figura 2. 6 Posición focal



Fuente: <https://mx.messer-cutting.com/guia-de-introduccion-a-las-maquinas-de-corte-por-laser/> (2020).

- **Tecnología del corte por láser**

Según el sitio web del autor Mercado (2016) menciona lo siguiente: “El corte por láser es un proceso de corte térmico que consiste en la focalización de un haz de luz concentrada de gran energía en el punto del material que se quiere tratar. Este punto, en el que el rayo láser incide, se calienta de forma tan intensa que se funde o se evapora, mientras que un gas de asistencia se encarga de desalojar el material fundido de la zona de corte.

De entre los principales métodos de corte térmico (oxicorte, plasma, etc.), la tecnología láser ofrece la mejor calidad de corte y una alta productividad en la mayoría de materiales, tanto metálicos como no metálicos. El láser domina las aplicaciones de corte más diversas, desde una ranura de corte con una precisión de micrómetro en un chip de semiconductores finísimo hasta el corte de calidad en una chapa de acero de 30 mm de espesor. Esto hace del láser el método más adecuado para las necesidades de corte de precisión más estrictas de cualquier industria.

El corte por láser su principal ventaja es la optimización del material, como podemos ver en la figura 2.7 en estado operativo.

Figura 2. 7 Proceso de corte por láser.



Fuente: Portal Web Accteklaser (2021).

Fernandez y Tobalina (2010) nos brinda un enfoque a nivel práctico, el corte por láser es un problema de múltiples parámetros operacionales que hay que optimizar para cada aplicación. Los fundamentales son: potencia del láser, velocidad de avance, tamaño del punto de focalización y el espesor del material. Si se compara con otros procesos de fabricación, las principales ventajas del proceso de corte con láser en entornos productivos son, por un lado, la alta velocidad de corte, por otro el hecho que no se produce deterioro de la herramienta, al no haber contacto entre la pieza y el cabezal láser y finalmente la flexibilidad del proceso, ya que no existe cambio de herramienta sino de programación. Por todo ello el proceso es relativamente fácil de automatizar e integrar en líneas de producción robotizadas.

- **Control numérico computarizado**

Según el sitio web del autor Petters (2018) menciona lo siguiente: “El control numérico por ordenador es un sistema de control que permite manejar una máquina herramienta, que en este ejemplo es un láser, mediante una serie de códigos y directivas compuestos por letras y números. Éstos pueden escribirse manualmente

mediante código G, línea por línea, pero normalmente se generan automáticamente mediante un software de diseño. Este software transforma las distintas trayectorias y recorridos que establece el usuario en un código que la máquina descodifica y, a continuación, realiza los movimientos diagramados.”

Ventajas de un CNC:

- Inspección reducida.
- Reducción de desperdicios.
- Alto grado de repetitividad de la pieza.
- Alta precisión de los cortes.
- Menor costo de mano de obra.
- Capacidad de realizar cortes complejos.
- Disminuye el contacto de los operarios con materiales nocivos para la salud como la fibra de vidrio.
- Optimización de tiempos.

Cualidades del CNC:

Como equipo de trabajo, una máquina herramienta CNC es aquella que permite fabricar componentes de diversos materiales mediante sus sistemas. Es posible programar la secuencia de fabricación de una pieza, tarea que llevaría mucho más tiempo con un equipo tradicional. Este equipo es diferente de una herramienta típica ya que permite programar la secuencia de fabricación.

- **Datos de equipos de estudio.**

Tabla 2. 2 Datos de identificación de la máquina PRIMALASER 1000W


DATOS DE IDENTIFICACIÓN	IMAGEN DE LA MÁQUINA LÁSER
MÁQUINA DE CORTE CNC LÁSER	<p>Figura 2. 8 Primalaser 1000W</p>  <p>Fuente: Cortesía R&G Maquinarias y Servicios.</p>
Marca: PRIMALASER	
Potencia: 1000W	
DESCRIPCIÓN: Primera máquina dentro de la empresa importada desde el 2020, presenta ciertos inconvenientes en su tecnología en comparación con otras máquinas al ser usado de forma análoga. Corte de diferente tipo de material Acero inoxidable C304, C430, C201, C316, máximo de espesor 6 mm. (1/4") Acero al carbono 6 mm. (1/4") Precisión del 0.15 mm.	

Tabla 2. 3 Datos de identificación de la máquina LEAPION 1000W


DATOS DE IDENTIFICACIÓN	IMAGEN DE LA MÁQUINA LÁSER
MÁQUINA DE CORTE CNC LÁSER	<p>Figura 2. 9 Leapion 1000W</p>  <p>Fuente: Cortesía R&G Maquinarias y Servicios.</p>
Marca: LEAPION	
Potencia: 1000W	
DESCRIPCIÓN: Máquina de corte para diferentes tipos de material: acero inoxidable, acero el carbono, aluminio, bronce, cobre, aceros especiales. Mejor automatizada en comparación a la Primalaser de 1000w y más práctica de usar. Acero inoxidable máximo de espesor 6 mm. (1/4") Acero al carbono 6 mm.	

Tabla 2. 4 Datos de identificación de la máquina PRIMALASER 3000W

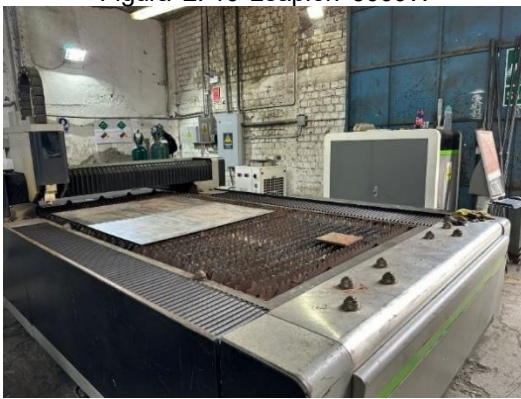
DATOS DE IDENTIFICACIÓN	IMAGEN DE LA MÁQUINA LÁSER
MÁQUINA DE CORTE CNC LÁSER	
Marca: LEAPION	
Potencia: 3000W	
<p>DESCRIPCIÓN: Máquina de corte para diferentes tipos de material: acero inoxidable, acero el carbono, aluminio, bronce, cobre, aceros especiales.</p> <p>A comparación de las máquinas anteriores, es una máquina de mayor potencia lo que permite cortar mayores espesores. SS (5/16"), CS (1/2") Precisión del 0.3 mm.</p>	

Figura 2. 10 Leapion 3000W



Fuente: Cortesía R&G Maquinarias y Servicios.

2.4. Definición de términos básicos.

- **Correctivo:** Metodología que se utiliza para corregir un defecto.
- **Criticidad:** Registro donde nos demuestra que equipos o máquinas requieran prioridad para el mantenimiento preventivo (Duffa, 2013, p. 98).
- **Falla:** Se define falla como la incapacidad de un bien de cumplir con las funciones que el usuario espera que realice. (Moubray, 2004, p. 48).
- **Disponibilidad:** Es la probabilidad de que un equipo funcione de una manera adecuada en un momento dado. (Fernández, 2005).
- **Historial del mantenimiento:** Es un formato utilizado para registrar los trabajos de mantenimiento a una determinada máquina, seguimiento continuo.
- **Fibra láser:** Tipo de láser de estado sólido que usan las empresas para

el corte de metal de alta precisión y rapidez.

- **Máquina CNC:** Son aquellas que llevan incorporadas la tecnología computacional. Mide, automatiza y controla sus propios procesos.
- **Vida útil:** El tiempo que una máquina siga funcionando sin fallos.
- **Estrategia:** Es un plan donde se realizan acciones a realizar de una manera coherente.
- **Check List:** Registro donde se encuentran los mantenimientos realizados y planificados. Así, la información se pueda usarse con facilidad y evaluarse automáticamente (Duffa, 2013, p. 145).
- **Orden de trabajo:** Es una herramienta muy importante para el área de mantenimiento, la cual debe contar, ahí indica los trabajos de mantenimiento planeados para ejecución (Duffa, 2013, p. 170).
- **Horas disponibles:** Es la capacidad de la máquina para que funcione en el trabajo deseado.
- **Confiabilidad:** Capacidad para realizar una función requerida bajo condiciones establecidas en un periodo determinado. (Fernández, 2005, p.67).
- **Mantenibilidad:** Se define como la probabilidad de que el equipo, después del fallo o avería sea puesto en estado de funcionamiento en un tiempo dado. (Fernández, 2005, p. 67).
- **Productividad:** Es la relación de entre la cantidad de productos obtenidos por el equipo y los recursos necesarios para dicha producción. (Fernández, 2005, p. 219).

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

El diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejora la disponibilidad de las máquinas de corte CNC láser de la empresa metalmecánica R&G Maquinarias y Servicios.

3.1.2. Hipótesis específicas

- El diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejora la confiabilidad de las máquinas de corte CNC láser en la empresa metalmecánica R&G Maquinarias y Servicios.
- El diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejora la mantenibilidad de las máquinas de corte CNC láser en la empresa metalmecánica R&G Maquinarias y Servicios.

3.2. Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍNDICE	MÉTODO Y TÉCNICA
(Variable independiente) Plan Mantenimiento Preventivo	"El mantenimiento preventivo son acciones que se llevan a cabo antes de que se produzcan daños en los equipos e instalaciones, con el fin de evitarlos o disminuir sus efectos" (Sánchez et al, 2015).	El plan de mantenimiento se procede a partir de la recolección de información, seguidamente se realiza un análisis actual de los equipos a estudiar para poder luego planificar las actividades de mantenimiento y por consiguiente aplicar dichas actividades que son medibles en tiempo e índices a través de los reportes de equipos y cartillas de mantenimiento.	Recolección de información	Información de equipos Reportes de mantenimiento	Números de equipos Horas	Método Cuantitativo- Cualitativo Técnica Análisis documental y empírico.
			Análisis situacional actual	Criticidad de equipos Indicadores del mantenimiento	Escala de criticidad %(porcentaje)	
			Planificación	Actividades del mantenimiento Programa de mantenimiento	#de actividades %(porcentaje)	
				Aplicación de actividades de mantenimiento preventivo	Indicadores del mantenimiento	
			(Variable dependiente) Disponibilidad	Mora (2009), "La disponibilidad es la probabilidad de que el equipo funcione satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables"	La disponibilidad se va a medir mediante un cálculo entre la mantenibilidad y confiabilidad, datos que están relacionados con los indicadores MTBF y MTTR. Es decir, están relacionados por los tiempos de operación y fallas detectadas.	
Mantenibilidad	MTTR	$\frac{\text{Tiempo total de fallas}}{\text{N}^\circ \text{ de fallas}}$				

IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

El informe final de investigación es de tipo aplicada, con un enfoque cuantitativo, con nivel explicativo y un diseño pre - experimental.

4.1. Diseño metodológico

Tipo aplicada

Según Espinoza (2010), el objetivo de este campo es utilizar el conocimiento científico para encontrar soluciones a una amplia gama de cuestiones en beneficio de la sociedad. En sus niveles se incluyen tanto la aplicación como la experimentación.

Por lo señalado, se infiere que la presente investigación es de tipo aplicada debido a que se aplicó conocimientos acerca del mantenimiento preventivo donde se mejoró la disponibilidad de las máquinas de corte CNC láser de la empresa metalmecánica R&G Maquinarias y Servicios.

Enfoque Cuantitativo

Según Sampieri (2014), el enfoque cuantitativo facilita la comparación de estudios entre sí, proporciona control sobre el fenómeno y el punto de vista basado en recuentos y magnitudes, ofrece una importante posibilidad de repetición y se concentra en aspectos particulares del fenómeno estudiado. Además, ofrece la oportunidad de generalizar las conclusiones a un ámbito más amplio.

Por lo señalado, posee un enfoque cuantitativo dado a que se realizó la recolección de datos las cuales son medibles, analizando los fenómenos presentes en las máquinas de corte CNC láser presentando una solución para la mejora de la disponibilidad, además se realizó la recolección de datos con el fin de poder probar hipótesis a través de métodos estadísticos para corroborar.

Nivel explicativo

Según Arias (2012) corresponde a la investigación explicativa, investigar la relación causa-efecto para descubrir la razón de ser de los hechos reales. Además, en este sentido, los estudios explicativos

pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas (investigación post facto) como de los efectos (investigación experimental) mediante la comprobación de hipótesis.

En la investigación tiene nivel explicativo, ya que, busca explicar la relación causa-efecto generado en la disponibilidad de las máquinas de corte láser de la empresa metalmecánica R&G Maquinarias y Servicios. Además, se utilizó el Diagrama de Ishikawa para determinar las causas principales de la baja disponibilidad, y algunas otras herramientas de mejora continua.

Diseño de investigación: Pre – experimental

Según Espinoza (2010), la razón por la que se denomina así es porque el nivel de control que posee es bajo. Es un diseño que no manipula los factores que influyen tanto en la validez interna como en la externa, sino que refleja la forma en que variables extrañas pueden influir en la validez interna. De este modo aprendemos qué hacer y qué no hacer.

Por lo mencionado, en el informe final de investigación se desarrolló una pre prueba, puesto que se requirió el diagnóstico del estado de las máquinas antes de implementar el plan, luego fue implementado y se realizó una post prueba, donde se constató la mejora de los indicadores de disponibilidad.

$$G: O_1 \rightarrow X \rightarrow O_2$$

Donde:

G: Grupo o muestra de trabajo (2 máquinas de corte)

O₁: Disponibilidad Inicial

X: Plan de mantenimiento preventivo

O₂: Disponibilidad Final

4.2. Método de investigación

4.2.1. Hipotético deductivo

Valderrama (2013) explica que la investigación hipotético-deductiva

comienza con la fundamentación teórica para la formación de una hipótesis a través de un análisis deductivo, que luego será comprobada empíricamente.

El informe final de investigación se presentó el método hipotético-deductivo, porque se parte de supuestos en la hipótesis, donde se buscó validarlas, deduciendo de ellas conclusiones que debe confrontarse con los hechos reales.

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

Según Hernandez (2014), menciona que una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones.

En el informe final de investigación la población fueron las 3 máquinas de corte CNC láser pertenecientes a la empresa R&G Maquinarias y Servicios.

4.3.2. Muestra

Bernal (2010) menciona que se selecciona una sección de la población, de la cual se obtiene información para el desarrollo de investigación, se realizan mediciones y observaciones de las variables objeto de estudio.

Según Arias (2012), el método no probabilístico es un procedimiento de selección en el que se desconoce la probabilidad de que los elementos de la población integren la muestra. En este conjunto particular de circunstancias, los elementos se seleccionan por objetivos relacionados con las características de la investigación o del muestreador.

Por ende, la muestra fue seleccionado por método no probabilístico – intencional por medio de un análisis de criticidad y fue conformada por 2 máquinas de corte CNC láser de la empresa R&G Maquinarias y Servicios.

4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado

La ubicación de estudio del informe final de investigación es en las instalaciones de la empresa metalmecánica R&G Maquinarias y Servicios, ubicada en Av. Guillermo Dansey 936 – Cercado de Lima. El periodo desarrollado de la investigación es de 6 meses que comprenden desde noviembre 2023 hasta abril 2024, dividiéndose 3 meses pre prueba antes de la implementación (noviembre, diciembre y enero) y luego 3 meses post prueba (febrero, marzo y abril) donde comienza la implementación.

4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

4.5.1. Técnicas

Arias (2012) menciona que se refiere al método o enfoque específico utilizado para recopilar datos o información.

Así mismo, Espinoza (2010) menciona que la técnica documental permite la recopilación de documentos para la investigación, así mismo facilita la recopilación de datos para probar la hipótesis de la investigación.

Además, Espinoza (2010) alude a que el método empírico permite el acercamiento directo al objeto de investigación a través de la observación, así como la acumulación de datos (conocimiento) que posibilitan la confrontación de la teoría con la práctica en la búsqueda de la verdad.

De acuerdo a la definición de los autores, el informe final se basó en las técnicas empíricas y documental. Se utilizó la técnica empírica ya que la recopilación de datos permitió analizar las variables e indicadores de las máquinas de corte CNC láser con el fin de evaluar la disponibilidad. También se utilizó la técnica documental ya que la recopilación de datos fue registrada en formatos y fichas de trabajo.

4.5.2. Instrumentos para la recolección de información

Arias (2012) menciona que un instrumento es un recurso o formato que es aplicado con el objetivo de obtener y registrar información. Los instrumentos utilizados fueron las fichas de recolección de datos, como fichas de registro de mantenimiento, fichas de identificación, fichas de estado actual, instrumentos que ayudaron a registrar datos cuantitativos reales, los cuales brindo un análisis pre aplicación y post aplicación del informe de investigación, todos estos datos fueron proporcionados por la empresa R&G Maquinarias y Servicios.

4.6. Análisis y procesamiento de datos

Con los datos recopilados se realizó los cálculos para determinar la disponibilidad de las máquinas de corte CNC. Teniendo en cuenta los conocimientos de las teorías fundamentadas para la elaboración del informe final de investigación, se estableció las siguientes etapas:

Tabla 4. 1 Etapas del análisis y procesamiento de datos

ORDEN	ETAPA	SUB ETAPA
1°	Recolección de información y determinación de equipos de estudio	-Identificación del área de mantenimiento -Recopilación de información de equipos. - Análisis de Criticidad de los equipos. - Levantamiento de información. (histórico de fallas)
2°	Análisis actual de la situación	-Análisis FODA del mantenimiento -Análisis de Criticidad por sistemas y subsistemas.
3°	Planificación	-Codificación de equipos. -Actividades del mantenimiento. -Frecuencia de fallas. -Stock de repuestos.

4°	Aplicación de actividades de mantenimiento preventivo	-Registro de aplicación del mantenimiento preventivo. -Indicadores del mantenimiento
----	---	---

Las etapas propuestas son cuatro las cuales se comenzó por la recolección de datos donde se comenzó por identificar el área de mantenimiento, reconociendo las instalaciones, identificando las 3 máquinas de corte CNC láser, seguidamente de recopiló la información de las máquinas y se hizo un levantamiento de la información, posterior a ello se hizo el cálculo de los indicadores de mantenimiento pre prueba.

Para el análisis de la actualidad de las máquinas de corte láser, se inició con la valoración del estado que se encuentra el equipo a comparación como cuando era nuevo, además de un análisis FODA que nos permitió orientarnos en los aspectos negativos y positivos del mantenimiento, y se estableció estrategias para su mejora, además se hizo el análisis de criticidad en la que se descompuso la máquina de corte CNC láser en sus partes desde los mecanismos de control, eléctrico-electrónico, neumático, lubricación, refrigeración, de corte, estructural, entre otros. Los cuales estos elementos se analizó su funcionamiento y nos permitió identificar las fallas comunes de los componentes de las máquinas CNC.

En la planificación del mantenimiento preventivo se inició con la codificación de las máquinas de corte láser, seguidamente la codificación cada uno de sus sistemas y componentes. Y es aquí donde parte las actividades del mantenimiento tomando como referencia las actividades realizadas, la frecuencia más adecuada en la que deban hacerse siendo diaria, semanal, mensual, semestral. Luego se realizó un listado con las fallas comunes que se obtuvo durante el análisis del periodo en estudio. Finalmente se hizo una lista de repuestos que son esenciales y que deberían estar en stock para futuros eventos.

Por último, la cuarta y última etapa se controló la aplicación correcta del

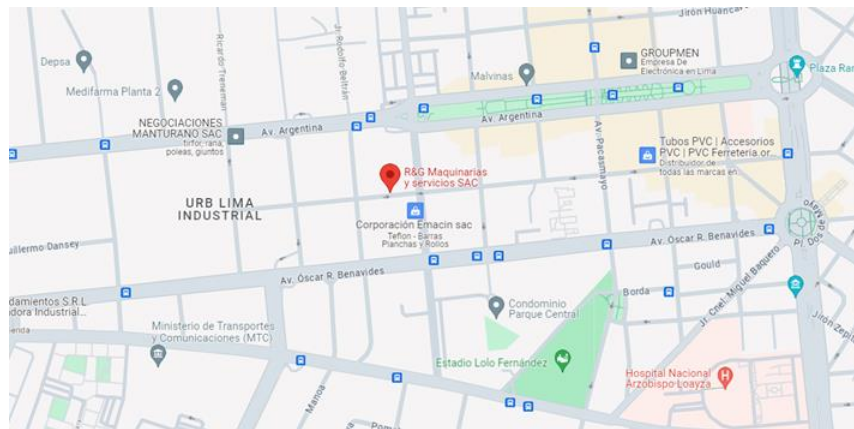
mantenimiento esto mediante un cronograma para cada equipo(componente) a través de una ficha de inspecciones, ficha donde se apreció las rutinas de mantenimiento y la frecuencia con la que se realizó, además como para concluir se realizó la medición de los indicadores de mantenimiento post prueba.

4.6.1. Etapa 1: Recolección de información

- Identificación del área de mantenimiento de las máquinas CNC láser

En la identificación del área donde se realizó el mantenimiento de las 03 máquinas de corte CNC láser fue en las instalaciones de la empresa R&G Maquinarias y Servicios, las cuales tiene como espacio de mantenimiento, su planta de producción ubicada en Av. Guillermo Dansey N°936 – Cercado de Lima.

Figura 4. 1 Ubicación R&G Maquinarias y Servicios



Fuente: Google Maps (2024)

- Recopilación de información de las máquinas CNC láser

Tabla 4. 2 Tabla de las máquinas de corte CNC láser

ITEM	CÓDIGO	MÁQUINAS	ESTADO	MARCA
1	ML-01	Máquina láser 1000w	En operación	Primalaser
2	ML-02	Máquina láser 1000w	En operación	Leapion
3	ML-03	Máquina láser 3000w	En operación	Leapion

Se recopiló de forma breve los datos de las máquinas de corte CNC láser, que enfocamos en el estudio.

Tabla 4. 3 Datos de identificación Primalaser 1000W

DATOS DE IDENTIFICACIÓN	IMAGEN DE LA MÁQUINA LÁSER
Máquina de corte CNC láser	
Marca: PRIMALASER	
Potencia: 1000W	
DESCRIPCIÓN: Primera máquina dentro de la empresa importada desde el 2020, presenta ciertos inconvenientes en su tecnología en comparación con otras máquinas, al ser usado de forma análoga. Corte de diferente tipo de material. Acero inoxidable C304, C430, C201, C316, máximo de espesor 6 mm. (1/4") Acero al carbono 6 mm. (1/4") Precisión del 0.15 mm.	
Sistemas	Componente representativo
Mecánico	Servomotores
Estructural	Vigas longitudinales- transversales
Neumático	Compresor, Red O ₂ , Red N ₂
Eléctrico-electrónico	Panel eléctrico, llaves diferenciales
Lubricación	Partes a lubricar cremalleras, piñones
Refrigeración	Enfriador Chiller, enfriamiento cabezal
Operacional corte	Fuente láser 1000W, cabezal láser
Control	Consola CNC, PC, Software Cypcut
Potencia	Transformador, estabilizador
Observaciones:	
Máquina con tres años de antigüedad, fallas graves en el sistema eléctrico-electrónico en el primer año de operación, cambio de lentes de colimación en el cabezal láser debido al deterioro, y actualmente tiene descubierto la cobertura en el carril longitudinal, lo que hace que la arenilla y polvo metálico entren a las cremalleras y piñones longitudinales.	

Tabla 4. 4 Datos de identificación Leapion 1000W

DATOS DE IDENTIFICACIÓN	IMAGEN DE LA MÁQUINA LÁSER	
Máquina de corte CNC láser		
Marca: LEAPION		
Potencia: 1000W		
DESCRIPCIÓN: Máquina de corte para diferentes tipos de material: acero inoxidable, acero el carbono, aluminio, bronce, cobre, aceros especiales. Mejor automatizada en comparación a la Primalaser de 1000w y más práctica de usar. Acero inoxidable C304, C430, C201, C316, máximo de espesor 6 mm. (1/4") Acero al carbono 6 mm. (1/4") Precisión del 0.12 mm.		
		Fuente: Cortesía R&G Maquinarias y Servicios.
Sistemas	Componente representativo	
Mecánico	Servomotores	
Estructural	Vigas longitudinales- transversales	
Neumático	Compresor, Red O ₂ , Red N ₂	
Eléctrico-electrónico	Panel eléctrico, llaves diferenciales	
Lubricación	Partes a lubricar cremalleras, piñones	
Refrigeración	Enfriador Chiller, enfriamiento cabezal	
Operacional corte	Fuente láser 1000W, cabezal láser	
Control	Consola CNC, PC, Software Cypcut	
Potencia	Transformador, estabilizador	
Observaciones:		
Máquina con dos años de antigüedad, en el transcurso del tiempo ha tenido fallas en el sistema de corte, específicamente en el cabezal, por los lentes de colimación, además de recalibraciones de los sensores de la mesa de corte. Sistema estructural más compacto en comparación con la Primalaser.		

Tabla 4. 5 Datos de identificación Leapion 3000W

DATOS DE IDENTIFICACIÓN	IMAGEN DE LA MÁQUINA LÁSER
Máquina de corte CNC láser	
Marca: LEAPION	
Potencia: 3000W	
<p>DESCRIPCIÓN: Máquina de corte para diferentes tipos de material: acero inoxidable, acero el carbono, aluminio, bronce, cobre, aceros especiales.</p> <p>A comparación de las máquinas anteriores, es una máquina de mayor potencia lo que permite cortar mayores espesores. SS (5/16"), CS (1/2") Precisión del 0.3 mm.</p>	
Sistemas	Componente representativo
Mecánico	Servomotores
Estructural	Vigas longitudinales- transversales
Neumático	Compresor, Red O ₂ , Red N ₂
Eléctrico-electrónico	Panel eléctrico, llaves diferenciales
Lubricación	Partes a lubricar cremalleras, piñones
Refrigeración	Enfriador Chiller, enfriamiento cabezal
Operacional corte	Fuente láser 3000W, cabezal láser
Control	Consola CNC, PC, Software Cypcut
Potencia	Transformador, estabilizador
Observaciones:	
<p>Máquina con dos años de antigüedad, en el transcurso del tiempo ha tenido fallas en el sistema de corte, específicamente en el cabezal, por el lente a la salida de la fibra óptica, además de recalibraciones de los sensores de altura del cabezal láser.</p> <p>Sistema estructural más resistente debido al poder cortar espesores más gruesos y de mayor tonelaje.</p>	

Fuente: Cortesía R&G Maquinarias y Servicios.

- Análisis de criticidad de los equipos

En concreto, el análisis de criticidad implica la identificación de los efectos adversos que los fallos de los distintos equipos pueden tener en el sistema que se está investigando. A continuación, se aplica una lista de preguntas a cada uno de los equipos asociados al sistema que se está estudiando, y la clasificación de los equipos como críticos o no críticos se determina en función de las respuestas a estas preguntas. La disminución de la productividad, la falta de seguridad, la ausencia de condiciones de funcionamiento adecuadas y el aumento de la contaminación ambiental son temas que guardan relación con estos problemas.

En la tesis de Carrillo y Escarcena (2019) y de Luque Huamán (2021), que a su vez se basaron en el estudio The Woodhouse Partnership Limited (Consultora inglesa) se detalló estas constantes para la realización de un análisis de criticidad:

Criterios de impacto

Tabla 4. 6 Criterios de impacto de seguridad

IMPACTO DE SEGURIDAD	
Produce muerte	10
Produce daño incapacitante	8
Produce lesión leve	4
No produce daño alguno a la persona	1

IMPACTO AMBIENTAL	
Provoca impacto que viola las normas ambientales	8
Provoca un impacto que no viola normas legales	6
Provoca mediano impacto	4
Provoca leve impacto	2
No provoca ningún impacto	0

IMPACTO EN PRODUCCION	
Parada inmediata del proceso	10
Impacta en niveles de producción	5
No afecta a la producción	1

FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	
No hay disponibilidad de repuesto	4
Hay función de repuesto compartido	2
Función de repuesto disponible en todo momento	1

FRECUENCIA DE FALLAS	
Mayor a 12 fallas	6
Entre 6 – no mayor a 12 fallas	4
Entre 4 – no mayor a 6 fallas	3
Entre 2 – no mayor a 4 fallas	2
Menor a 2 fallas	1

IMPACTO COSTOS DE MANTENIMIENTO	
Mayor o igual a 50000 soles	9
Entre 30 000 - 50000 soles	6
Entre 15000 - 30000 soles	4
Entre 5 000 - 15000 soles	3
Entre 0 - 5000 soles	1

TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR	
De 7 días a más	6
De 4 – no mayor a 7 días	4
De 2 – no mayor a 4 días	3
MENOR A 2 DIAS	2

Fuente: The Woodhouse Partnership Limited (Consultora inglesa, 1994)

Donde:

Consecuencia = {[Flexibilidad Operacional * Impacto operacional] + Costo de Mtto. + Impacto S.A.H.}

Criticidad Total = Frecuencia de fallas x Consecuencia

Los factores ponderados de cada uno de los criterios a ser evaluados por la expresión del riesgo se presentan a continuación:

Se realiza un análisis de criticidad con los equipos clasificados como críticos, esto se realiza para establecer cuál es el más importante en el proceso productivo de la empresa y sustentar el

objeto del informe final que es el diseño de un plan de mantenimiento preventivo para las máquinas de corte CNC láser de la empresa metalmecánica R&G Maquinarias y Servicios.

Tabla 4. 7 Criticidad de las máquinas de corte CNC láser

MÁQUINA CNC CORTE LÁSER	MARCA	FRECUENCIA FALLA	IMP. SEGURIDAD	IMP. AMBIENTE	FLEXIBILIDAD OPE.	TPPR (MTTR)	IMP. PRODUCCION	IMP. MANTTO	CONSECUENCIA	CRITICIDAD TOTAL	CRITICIDAD
Máquina láser 1000w	Primalaser	2	8	6	4	2	10	3	97	194	CRITICO
Máquina láser 1000w	Leapion	3	8	6	2	2	1	3	21	63	NO CRITICO
Máquina láser 3000w	Leapion	2	8	6	4	2	10	3	97	194	CRITICO

Los equipos críticos son 2 máquina de corte CNC, puesto que no tienen tiempo de espera, la falla de estos equipos ocasiona pérdidas operacionales, altos costos de reparación y demora en la reparación por el tiempo de conseguir los repuestos. De las 2 máquinas de corte CNC láser, la máquina láser Leapion de 3000 W es una máquina que puede cortar de forma precisa elementos de mayor calibre en comparación con las dos máquinas mencionadas, y la máquina láser de Primalaser 1000 W debido a su antigüedad y el histórico de fallas, se debe tener énfasis al momento de su mantenimiento y conservación de la vida útil. La máquina de corte láser de 1000W Leapion no entra en el análisis pues es una máquina que se encuentra en el local comercial y su uso es de solo demostración y evaluación de proyectos a cotizar.

- **Levantamiento de la información**

La empresa no tenía un plan de mantenimiento preventivo específico para las máquinas de corte CNC láser, por lo que solo se aplicaba los mantenimientos correctivos según la necesidad que tienen al momento de poner en funcionamiento las máquinas de corte. Los registros de mantenimiento son los reportes de parada para cada máquina de corte durante el periodo de tiempo evaluado pre prueba.

Donde se recopiló los siguientes datos de las 02 máquinas de corte CNC láser en el periodo de 3 meses pre prueba.

El cual se utilizó el siguiente formato para el registro de información inicial que requerimos.

Figura 4. 2 Registro de datos iniciales


 R&G MAQUINARIAS		REGISTRO DE DATOS INICIALES			
Maquina	Fecha(semana)	Horas de operación	N° de intervenciones	Descripcion de la falla	Tiempo de Falla(min)
MAQUINA DE CORTE LASER CNC MARCA: POTENCIA:	4/12/2023				
	11/12/2023				
	18/12/2023				
	25/12/2023				
	1/01/2024				
	8/01/2024				
	15/01/2024				
	22/01/2024				
	29/01/2024				
	5/02/2024				
	12/02/2024				
	19/02/2024				
	26/02/2024				
	4/03/2024				

Tabla 4. 8 Registro de datos iniciales Primalaser 1000W



R&G MAQUINARIAS

REGISTRO DE DATOS INICIALES

Máquina	Fecha(semána)	Horas de operación	Nº de intervenciones	Descripción de la falla	Tiempo de Falla(min)
MÁQUINA DE CORTE LÁSER CNC PRIMALASER 1000W	6/11/2023	42	1	Descentrado de la óptica del cabezal y cambio de lente de protección	360
	13/11/2023	44	1	Piezas móviles contaminadas., limpieza y engrase del riel longitudinal(cremallera)	240
	20/11/2023	43	2	Calentamiento del Chiller, nivel bajo del nivel de agua, limpieza	300
	27/11/2023	45	2	Regulador de presión a la entrada del cabezal se averió, cambio de adaptadores rápidos de las mangueras neumáticas.	180
	4/12/2023	38	1	Rotura de la cubierta antipolvo de los rieles longitudinales, bloqueo de movimiento	600
	11/12/2023	44.5	2	Cambio de lente de protección, engrasamiento piñón - cremallera transversal	210
	18/12/2023	45	2	Manómetro de entrada de oxígeno en mal estado	180
	25/12/2023	44	1	Rotura de la compuerta del lente de protección	240
	1/01/2024	42	1	Falta de lubricación gusano del cabezal (fricción)	360
	8/01/2024	45	1	Rotura de cerámica en la salida del láser cerca a la boquilla	180
	15/01/2024	40	1	Cabezal Dañado cambio general de lente focal	480
	22/01/2024	43	2	Calentamiento del Chiller, Sopleteado del condensador	300
29/01/2024	-	-	-	-	-

Tabla 4. 9 Registro de datos iniciales Leapion 3000W



REGISTRO DE DATOS INICIALES

Máquina	Fecha(semána)	Horas de operación	N° de intervenciones	Descripción de la falla	Tiempo de Falla(min)
MÁQUINA DE CORTE LÁSER CNC LEAPION 3000W	6/11/2023	36	2	Falla el sensor de altura, calentamiento de boquilla	720
	13/11/2023	40	3	Lente crítico dañado, desmontaje del cabezal, revisión de lentes de colimación (cóncavos)	480
	20/11/2023	45	2	Falla de interruptor de la caja principal, limpieza interna del sistema eléctrico - electrónico	180
	27/11/2023	44	1	Cambio de lente de protección,	240
	4/12/2023	41	1	Falla del sensor de altura, calentamiento de boquilla	420
	11/12/2023	40	2	Rotura de manguera que conecta enfriador con cabina de control	480
	18/12/2023	45	2	Cambio de lente de protección, alineación del cabezal.	180
	25/12/2023	44.5	1	Descargas eléctricas en los operarios.	210
	1/01/2024	44	2	Regulación deficiente sensor de velocidad y sensor de altura	240
	8/01/2024	43	2	Limpieza del cabezal por obstrucción de polvo	300
	15/01/2024	45	1	Avería del monitor del software, revisión del cableado del CPU de la máquina.	180
	22/01/2024	43	2	Calentamiento del Chiller, nivel bajo de agua.	300
29/01/2024	-	-	-	-	-

Tabla 4. 10 Resumen de la data inicial por máquina

MÁQUINA CNC	HORAS DE OPERACIÓN	Nº DE INTERVENCIONES	TIEMPO DE FALLA (min.)
PRIMALASER 1000W	515.5	17	3630
LEAPION 3000W	510.5	19	3930

Tabla 4. 11 Resumen de la data inicial por mes

MÁQUINAS CNC POR MES	NOV 2023	DIC 2023	ENE 2024
Tiempo de operación (disponible)	339	342	345
Tiempo inoperativo	45	42	39
Números de intervenciones (fallas)	14	12	12

- **Histórico de fallas de las máquinas de corte CNC láser**

Con los datos iniciales se procedió con el análisis de la variable dependiente (Disponibilidad) antes de la aplicación del plan de mantenimiento preventivo.

Con los datos obtenidos del cuadro anterior se aplica la ecuación 2.1

$$MTBF = \frac{\text{horas acumuladas de equipo} - \text{horas acumuladas de intervenciones}}{\text{numero de intervenciones}}$$

Para calcular el MTBF, se restaron las horas acumuladas del equipo, que representan las horas de funcionamiento disponibles, de las horas acumuladas de intervención, que representan las horas de avería. A continuación, el resultado de esta resta se dividió por el número de intervenciones, que representa el número de fallos que se produjeron.

Tabla 4. 12 Cálculos del MTBF - Pre prueba por mes

Nov 2023	Dic 2023	Ene 2024
$MTBF = \frac{339 - 45}{14}$	$MTBF = \frac{342 - 42}{12}$	$MTBF = \frac{345 - 39}{12}$
$MTBF = 21$	$MTBF = 25$	$MTBF = 25.5$

Tabla 4. 13 Cálculos de MTBF por máquina Laser

MÁQUINA CORTE CNC	MTBF
-------------------	------

PRIMALASER 1000W	$MTBF = \frac{515.5 - 60.5}{17}$
	$MTBF = 26.77$
LEAPION 3000W	$MTBF = \frac{510.5 - 65.5}{19}$
	$MTBF = 23.42$

El MTTR se calculó con el tiempo total de intervenciones al equipo que son el tiempo de operación las cuales se divide entre el número de intervenciones (fallas). Se aplica la ecuación 2.2 en el siguiente cuadro.

$$MTTR = \frac{\text{tiempo total de intervenciones al equipo}}{\text{numeros de intervenciones}}$$

Aplico la ecuación para el cálculo del indicador del MTTR con los datos iniciales.

Tabla 4. 14 Cálculo del MTTR - Pre prueba por mes

Nov 2023	Dic 2023	Ene 2024
$MTTR = \frac{45}{14}$	$MTTR = \frac{42}{12}$	$MTTR = \frac{39}{12}$
$MTTR = 3.214$	$MTTR = 3.5$	$MTTR = 3.25$

Tabla 4. 15 Cálculo del MTTR por máquina Laser

MÁQUINA CORTE CNC	MTTR
PRIMALASER 1000W	$MTTR = \frac{60.5}{17}$
	$MTTR = 3.558$
LEAPION 3000W	$MTTR = \frac{65.5}{19}$
	$MTTR = 3.447$

La disponibilidad de los equipos se calculó entre la división del MTBF y la suma del MTBF con el MTTR. Aplicando la ecuación 2.3 con los datos obtenidos.

$$\text{Disponibilidad del equipo} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Aplico la ecuación para el cálculo de la disponibilidad con los indicadores analizados de los datos iniciales.

Tabla 4. 16 Cálculo de la disponibilidad - Pre prueba por mes

Nov 2023	Dic 2023	Ene 2024
$Dispon. = \frac{21}{21 + 3.21}$	$Dispon. = \frac{25}{25 + 3.5}$	$Dispon. = \frac{25.5}{25.5 + 3.25}$
$Dispon. = 86.74\%$	$Dispon. = 87.7\%$	$Dispon. = 88.7\%$

Tabla 4. 17 Cálculo de la disponibilidad - Pre prueba por máquina de corte láser

MÁQUINA CORTE CNC	MTBF
PRIMALASER 1000W	$Dispon. = \frac{26.7}{26.7 + 3.558}$ $Dispon. = 88.24\%$
LEAPION 3000W	$Dispon. = \frac{23.42}{23.42 + 3.447}$ $Dispon. = 87.2\%$

Tabla 4. 18 Cálculos del MTBF, MTTR y Disponibilidad – Pre Prueba por mes

Máquinas CNC Láser	Nov-23	Dic-23	Ene-24
Tiempo de operación (disponible)	339	342	345
Tiempo inoperativo	45	42	39
Números de intervenciones (fallas)	14	12	12
MTBF	21	25.00	25.5
MTTR	3.214	3.50	3.25
Disponibilidad	86.7%	87.7%	88.7%

Tabla 4. 19 Cálculos del MTBF, MTTR y Disponibilidad - Pre Prueba por máquina

Máquinas CNC Láser	Primalaser 1000W	Leapion 3000w
Tiempo de operación (disponible)	520	522

Números de intervenciones (fallas)	14	19
Tiempo inoperativo (horas)	56	54
MTBF	26.7	23.42
MTTR	3.55	3.44
Disponibilidad	88.2%	87.2%
Disponibilidad Meta	90%	90%

De los cuadros resumidos en Pre-Prueba obtuvimos los siguientes gráficos:

Figura 4. 3 Gráfico de Disponibilidad - Pre Prueba por mes

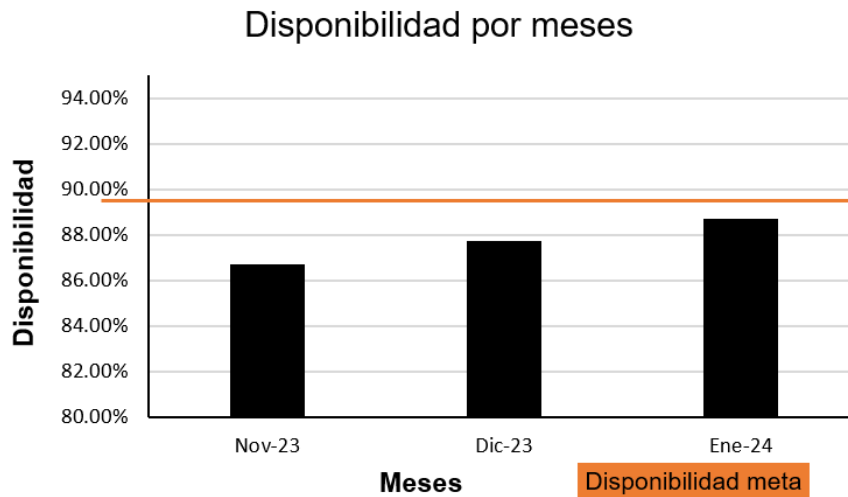
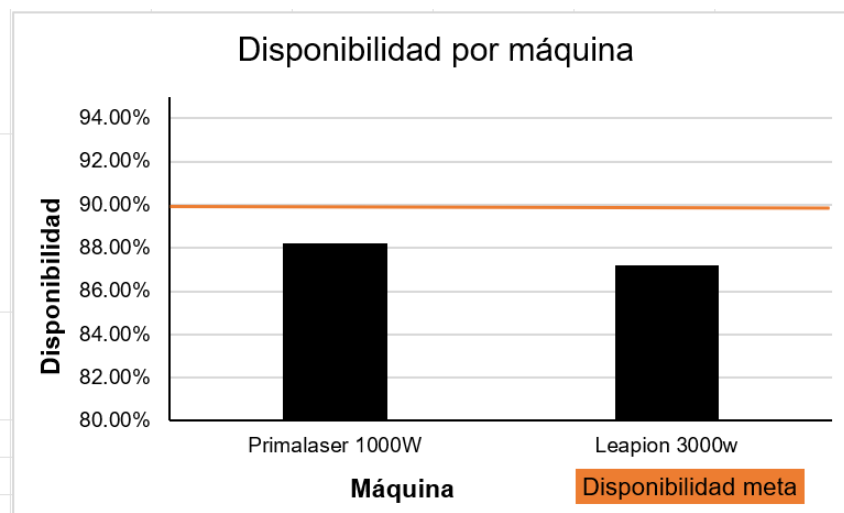


Figura 4. 4 Gráfico de Disponibilidad - Pre Prueba por máquina



4.6.2. Etapa 2: Análisis situacional

- Análisis FODA del mantenimiento.

El análisis FODA es una herramienta que permite conformar mediante un cuadro la situación actual del mantenimiento en el área de estudio permitiendo de esta manera obtener un diagnóstico más exacto que permita tomar decisiones acordes con los objetivos planteados.

Tabla 4. 20 Matriz FODA del análisis actual

MATRIZ FODA	FORTALEZAS	DEBILIDADES
AMENAZAS 1. Repuestos de importación con tiempos de entrega largos. 2. Antigüedad de los equipos. 3. Dificultad para encontrar repuestos en el mercado.	ESTRATEGIAS (FA) 1. Realizar requerimientos de componentes con anticipación de medio año. 2. Identificar los componentes relevantes para el equipo.	ESTRATEGIAS (DA) 1. Desarrollar formatos de mantenimiento. 2. Elaborar una lista de actividades. 3. Tener en stock repuestos críticos. 4. Desarrollar una programación de mantenimiento según frecuencias de intervención.
OPORTUNIDADES 1. Indicadores de mantenimiento. 2. Herramientas estadísticas para priorización. 3. Disponibilidad en internet de manuales de equipos.	ESTRATEGIAS (FO) 1. Cálculo de indicadores MTBF, MTTR y Disponibilidad. 2. Elaborar matriz de criticidad de equipos.	ESTRATEGIAS (DO) 1. Elaborar formatos en base a manuales. 2. Identificar las frecuencias de reemplazo según manual. 3. Controlar periódicamente el mantenimiento con los indicadores.

- Análisis de criticidad de equipos por sistemas

Tabla 4. 21 Análisis de criticidad por sistemas

CRITICIDAD DE SISTEMAS DE LAS MÁQUINAS DE CORTE CNC LÁSER												
SISTEMAS	COMPONENTES	FRECUENCIA FALLA	FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	IMPACTO DE PRODUCCIÓN	TIEMPO MEDIO DE REPARACIÓN	IMPACTO EN SEGURIDAD	IMPACTO AMBIENTAL	IMPACTO POR COSTO DE	CONSECUENCIA	CRITICIDAD TOTAL		NIVEL DE CRITICIDAD
CONTROL	Consola CNC	1	4	10	2	4	2	3	89	89		CRITICO
	Armario de Control	1	2	10	2	4	4	1	49	49		NO CRITICO
ELECTRICO ELECTRONICO	Caja electrónica remoto	1	4	5	2	8	2	1	51	51		NO CRITICO
	Caja de distribución eléctrica	1	4	5	2	8	2	1	51	51		NO CRITICO
	Sensores del elevador vertical	2	4	5	2	1	2	1	44	88		CRITICO
NEUMATICO	Compresor de aire comprimido	2	2	5	3	4	2	3	39	78		NO CRITICO
	Red neumática de Oxígeno	1	1	5	1	1	2	1	9	9		NO CRITICO
	Red neumática de nitrógeno	1	1	1	1	1	1	1	4	4		NO CRITICO
	Red neumática de Aire comprimido	2	1	5	2	1	1	1	13	26		NO CRITICO
	Secador de Aire/Filtros	2	1	1	2	1	1	1	5	10		NO CRITICO
MECANICO	Elevador vertical (Tornillo, tuerca)	2	4	5	3	1	1	1	63	126		CRITICO
	Piñón - Cremallera de eje longitudinal	3	4	5	2	4	1	3	48	144		CRITICO
	Piñón - Cremallera de eje transversal	3	4	5	2	4	1	3	48	144		CRITICO

	Cadena guía Longitudinal, transversal y vertical	2	4	1	2	4	1	1	14	28	NO CRITICO
	Servomotores longitudinal, transversal y vertical.	3	2	5	2	1	1	3	25	75	SEMICRITICO
CORTE	Generador de Láser	1	4	10	2	4	2	4	90	90	CRITICO
	Cabezal de láser	2	4	10	2	4	4	4	92	184	CRITICO
REFRIGERACIÓN	Enfriador de agua (Chiller)	2	2	5	3	2	2	2	36	72	SEMICRITICO
	Compartimientos de enfriamiento cabezal láser	3	2	5	3	2	2	3	37	111	CRITICO
POTENCIA	Estabilizador	2	2	5	3	8	2	2	42	84	CRITICO
	Transformador	2	2	5	3	8	2	2	42	84	CRITICO
	Conexiones a tierra	2	2	5	2	8	8	2	38	76	SEMICRITICO
LUBRICACION	Cremallera piñón del eje transversal	3	1	5	2	1	0	3	14	42	SEMICRITICO
	Cremallera piñón del eje longitudinal	3	1	5	2	1	0	3	14	42	SEMICRITICO
	Elevador vertical (Tornillo, tuerca)	3	1	5	2	1	0	3	14	42	SEMICRITICO
	Cojinetes del elevador	2	1	5	2	1	0	1	12	24	NO CRITICO
	Tornillo de Avance	2	1	5	2	1	0	3	14	28	NO CRITICO
ESTRUCTURAL	Viga longitudinal	2	1	1	2	4	0	1	7	14	NO CRITICO
	Viga transversal	2	1	1	2	4	0	1	7	14	NO CRITICO
	Soporte de cadena flexible	3	2	5	2	1	0	1	22	66	SEMICRITICO
	Mesa de corte (soporte de los materiales)	3	2	5	2	4	2	1	27	81	CRITICO

De la valoración de criterios para cada sistema, se determinó que los sistemas más críticos son los sistemas de Corte, Control, Mecánico y Refrigeración en los cuales se tuvieron mayor seguimiento para el mantenimiento preventivo.

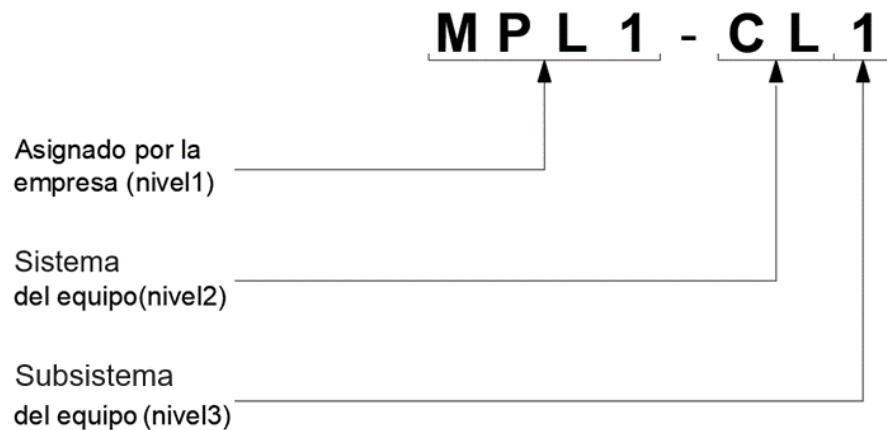
4.6.3. Etapa 3: Planificación

- Codificación de las máquinas de corte CNC láser

García (2003) destaca la importancia de identificar los equipos con una codificación única. Esto no sólo facilita la localización y referencia de los equipos en las órdenes de trabajo, sino que también permite crear registros históricos de averías y registros de intervenciones. Además, facilita el cálculo de indicadores para áreas, equipos, sistemas y elementos, y permite un control ordenado de los costes.

Para la presente investigación que consta de tres equipos y lo que se va a codificar son los sistemas y componentes. El sistema de codificación se divide en tres niveles, el primer nivel consta del equipo, que es el código que le tiene asignado la empresa, es decir, MPL1 (Máquina Primalaser 1000W, y MLL3 (Máquina Leapion Láser 3000W), dicho código será siempre el mismo, el segundo se refiere al sistema, el tercero a los componentes.

Figura 4. 5 Criterio de codificación de las máquinas



La siguiente tabla nos permite emplear la información de manera rápida para la elaboración de los formatos y registros de la data para identificar mediante códigos un procesamiento rápido.

Tabla 4. 22 Codificación a los sistemas de la maquina corte láser

CÓDIGO	SISTEMA
CL	Control
EE	Eléctrico y Electrónico
NO	Neumático
MO	Mecánico
CE	Corte
RN	Refrigeración
PA	Potencia
LN	Lubricación
EL	Estructural

Tabla 4. 23 Codificación sistemas y subsistemas Primalaser 1000W

		CODIFICACIÓN DE MÁQUINA DE CORTE CNC LÁSER
Máquina de corte CNC láser PRIMALASER 1000W (MPL1)	CÓDIGO	SISTEMAS Y SUBSISTEMAS
	CL	Control
	CL01	Consola CNC
	CL02	Armario de Control
	EE	Eléctrico y Electrónico
	EE01	Caja electrónica remoto
	EE02	caja de distribución eléctrica
	EE03	Elevador vertical
	NO	Neumático
	NO01	Compresor de aire comprimido
	NO02	Red neumática de Oxígeno
	NO03	Red neumática de nitrógeno
	NO04	Red neumática de Aire comprimido
	NO05	Secador de Aire/Filtros
	MO	Mecánico
	MO01	Elevador vertical (Tornillo, tuerca)
	MO02	Piñón - Cremallera de eje longitudinal
	MO03	Piñón - Cremallera de eje transversal
	MO04	Cadena guía Longitudinal, transversal y vertical
	MO05	Servomotores longitudinal, transversal y vertical.
CE	Corte	

	CE01	Generador de láser
	CE02	Cabezal de láser
	RN	Refrigeración
	RN01	Enfriador de agua (Chiller)
	RN02	Enfriador cabezal láser
	PA	Potencia
	PA01	Estabilizador
	PA02	Transformador
	PA03	Conexiones a tierra
	LN	Lubricación
	LN01	Cremallera piñón del eje transversal
	LN02	Cremallera piñón del eje longitudinal
	LN03	Elevador vertical (Tornillo, tuerca)
	LN04	Cojinetes del elevador
	LN05	Tornillo de Avance
	EL	Estructural
	EL01	Viga longitudinal
	EL02	Viga transversal
	EL03	Soporte de cadena flexible

Tabla 4. 24 Codificación sistemas y subsistemas Leapion 3000W

		CODIFICACIÓN DE MÁQUINA DE CORTE CNC LÁSER
Máquina de corte CNC láser LEAPION 3000W (MLL3)	CÓDIGO	SISTEMAS Y COMPONENTES
	CL	Control
	CL01	Consola CNC
	CL02	Armario de Control
	EE	Eléctrico y Electrónico
	EE01	Caja electrónica remoto
	EE02	Caja de distribución eléctrica
	EE03	Elevador vertical
	NO	Neumático
	NO01	Compresor de aire comprimido
	NO02	Red neumática de Oxígeno
	NO03	Red neumática de nitrógeno
	NO04	Red neumática de Aire comprimido
	NO05	Secador de Aire/Filtros
	MO	Mecánico

MO01	Elevador vertical (Tornillo, tuerca)
MO02	Piñón - Cremallera de eje longitudinal
MO03	Piñón - Cremallera de eje transversal
MO04	Cadena guía Longitudinal, transversal y vertical
MO05	Servomotores longitudinal, transversal y vertical.
CE	Corte
CE01	Generador de láser
CE02	Cabezal de láser
RN	Refrigeración
RN01	Enfriador de agua (Chiller)
RN02	Enfriador cabezal láser
PA	Potencia
PA01	Estabilizador
PA02	Transformador
PA03	Conexiones a tierra
LN	Lubricación
LN01	Cremallera piñón del eje transversal
LN02	Cremallera piñón del eje longitudinal
LN03	Elevador vertical (Tornillo, tuerca)
LN04	Cojinetes del elevador
LN05	Tornillo de Avance
EL	Estructural
EL01	Viga longitudinal
EL02	Viga transversal
EL03	Soporte de cadena flexible

- Actividades del mantenimiento

Para el desarrollo de las actividades del mantenimiento se tuvieron en cuenta factores como la frecuencia para realizar dichas tareas, información de los manuales de los equipos y la criticidad de los sistemas que se analizaron en el apartado anterior y que se tuvo énfasis dentro del armado del plan de mantenimiento preventivo.

La clasificación de las actividades se propuso en intervalos diarios, semanales, mensuales y semestrales, destacar las tareas semestrales como actividades generales para evaluar el estado del equipo en concreto.

Tabla 4. 25 Actividades preventivas sistema control

Actividades preventivas sistema de control CNC	Frecuencia			
	Diario	Semanal	Mensual	Semestral
Comprobar funciones del panel de control (Encendido del ordenador).	X			
Limpieza de polvo y suciedad del interfaz de control.	X			
Revisar alarmas de sensores de algún componente en el software.	X			
Comprobar funciones de los botones y llaves de encendido (Servo - Water Cooling - Láser)	X			
Verificar correcto funcionamiento del teclado- mouse para entrada de datos y manejo del software.	X			
Revisar funcionamiento del control remoto.	X			
Inspeccionar el encendido automático de los componentes del equipo.	X			
Comprobar desplazamiento a punto cero de las coordenadas del cabezal del láser.		X		
Verificar que no haya inconvenientes en las conexiones externas cuando el equipo está en movimiento.		X		
Comprobar velocidades de desplazamiento (FAST - STEP) para el posicionamiento del cabezal.		X		
Verificar las conexiones externas del armario de control a los demás componentes.			X	
Inspección del estado de las conexiones de alimentación.			X	
Realizar pruebas de calibración de corte por desgaste.				X
Revisiones de un técnico especializado para comprobar entradas y salidas de voltaje y amperaje, envío de señales a todos los componentes del equipo desde el interfaz de control y armario de control.				X

Tabla 4. 26 Actividades preventivas sistema eléctrico - electrónico

Actividades preventivas sistema eléctrico-electrónico	Frecuencia			
	Diario	Semanal	Mensual	Semestral
Comprobar el buen funcionamiento de la llave de encendido del armario de control.	X			
Mantener el armario cerrado cuando se opera la máquina	X			
Inspeccionar visualmente todas las conexiones eléctricas dentro del armario de control.		X		
Limpiar exceso de polvo dentro del armario de control, brochas y trapos según requiera la situación		X		
Inspeccionar visualmente que no haya inconvenientes que perjudiquen las conexiones eléctricas.		X		
Comprobar el funcionamiento de las llaves termomagnéticas			X	
Limpiar las conexiones electrónicas expuestas de los sistemas (transformador, Chiller, Estabilizador, etc.), esto mediante un aspirador industrial y brochas.			X	
Realizar limpieza general del armario de control minuciosamente, no perjudicando conexiones internas			X	
Revisiones realizadas por un técnico especializado.				X

Tabla 4. 27 Actividades preventivas sistema neumático

Actividades preventivas del sistema neumático	Frecuencia			
	Diario	Semanal	Mensual	Semestral
Inspeccionar el buen funcionamiento de la llave de encendido del compresor	X			
Verificar conexiones de alimentación del compresor.	X			
Inspeccionar manómetros de oxígeno y nitrógeno (Válvulas abiertas y posibles fugas)	X			
Verificar presiones de los manómetros para optimo corte	X			
Verificar todas las conexiones rápidas de mangueras tanto en la red de suministro como en el cabezal del corte láser	X			
Inspeccionar el paso de los gases en las válvulas antes de efectuar el corte. Vía el software.	X			
Verificar el buen funcionamiento del regulador neumático eléctrico. Por medio del software.		X		
Inspeccionar el nivel de refrigerante del compresor, y purgar el compresor.		X		
Revisar que las mangueras o tuberías no estén picadas, descoloridas o dobladas.			X	
Verificar el funcionamiento de los filtros, purgar los filtros.			X	
Verificar fugas en acoples rápidos, tuberías, accesorios o válvulas.			X	
Reemplazar partes de la red neumática deteriorado (técnico especializado) y filtros de gas del sistema aire, oxígeno, nitrógeno.				X
Revisar los componentes eléctricos y electrónicos del compresor.				X
Mantenimiento del compresor según catalogo proporcionado de la marca				X

Tabla 4. 28 Actividades preventivas sistema mecánico

Actividades preventivas del sistema mecánico	Frecuencia			
	Diario	Semanal	Mensual	Semestral
Reiniciar las coordenadas al Zero máquina para no sufrir colisiones que perjudiquen las cremalleras.	X			
Verificar presencia de vibraciones irregulares al realizar los movimientos.	X			
Verificar la existencia de materiales cercanos para evitar colisiones, o choques forzados involuntarios	X			
Comprobar que los movimientos vertical, transversal y longitudinal se realicen de manera óptima.	X			
Retirar polvo y desperdicios del material de la guarda de protección de las cremalleras.	X			
Inspeccionar posible rotura de la guarda de protección de los carros longitudinales y transversales.		X		
Revisar la base de apoyo del cabezal, ajustar de ser necesario		X		
Comprobar el estado de las cadenas de arrastre, reemplazar en caso de ser necesario.			X	
Comprobar el estado de los servomotores, a través de las compuertas señaladas de la máquina.			X	
Comprobar el estado del tornillo roscado del movimiento vertical del cabezal láser			X	
Inspeccionar visualmente el estado de las bases de apoyo de los servomotores, ajustar de ser necesario.				X
Comprobar el estado del piñón de ataque helicoidal del carro longitudinal ambos lados, reemplazar en caso de ser necesario.				X

Desmontaje y limpieza de los servomotores, según catálogo de la marca.				X
--	--	--	--	---

Tabla 4. 29 Actividades preventivas sistema corte

Actividades preventivas del sistema de corte	Frecuencia			
	Diario	Semanal	Mensual	Semestral
Verificar todos los componentes del cabezal láser, conexiones rápidas de refrigerante, del gas auxiliar, cable del sensor y cable de la fibra láser.	X			
Verificar el correcto encendido de la fuente láser, giro de llave y botón de encendido.	X			
Revisar el funcionamiento del botón de emergencia de la fuente láser, ON / OFF	X			
Verificar los parámetros de corte en el interfaz de la máquina por medio del software.	X			
Revisar el ajuste de la boquilla, y cambiar según el material a cortar	X			
Inspeccionar el estado de los lentes de protección del nivel bajo y nivel alto del cabezal	X			
Al cambiar lentes de protección verificar el ambiente esté libre de polvo y partículas metálicas		X		
Comprobar el centrado y alineación de la fibra láser		X		
Realizar la limpieza del polvo (metálico) en la fuente láser, verificar conexiones fuente - cabezal.			X	
Realizar limpieza del cabezal láser exterior, verificar la cerámica y limpiar si es necesario.			X	

Desmontar e inspeccionar los soportes del cabezal, ajustar y alinear.			X	
Inspeccionar el estado de los lentes de colimación, cambiar de ser necesario, en un ambiente libre de polvo.			X	
Reemplazar los elementos que presenten desgaste excesivo de la fuente láser y el cabezal láser.				X

Tabla 4. 30 Actividades preventivas sistema refrigeración

Actividades preventivas del sistema de refrigeración	Frecuencia			
	Diario	Semanal	Mensual	Semestral
Inspeccionar el buen funcionamiento del encendido de la Chiller en el panel de control.	X			
Revisar de fugas en el sistema, conexiones.	X			
Revisar de Niveles de Agua del sistema.	X			
Verificar el paso correcto del agua por el cabezal de la láser, no goteo, ni fuga.	X			
Revisar que no tenga elementos a los costados del equipo que obstaculicen el flujo de aire.	X			
Sopleteo del condensador, para evitar sobrecalentamiento.		X		
Revisión del estado operativo de motores eléctricos. Toma de corriente (personal capacitado).			X	
Limpieza del tanque de agua y filtro.			X	
Ajuste de la operación de los controles eléctricos del sistema.			X	

Revisión del estado físico de tuberías de Refrigerante, revisión de presiones del refrigerante.				x
Verificar las conexiones eléctricas y electrónicas. Técnico especialista.				x

Tabla 4. 31 Actividades preventivas sistema lubricación

Actividades preventivas del sistema de lubricación	Frecuencia			
	Diario	Semanal	Mensual	Semestral
Verificar y limpiar las cubiertas antipolvo del eje transversal (riel)	x			
Verificar y limpiar las cubiertas antipolvo del eje longitudinal(riel)	x			
Verificar y limpiar las cubiertas antipolvo del riel vertical	x			
Verificar goteos o fugas de aceites de los rieles.	x			
Lubricar de cremallera piñón del eje transversal(riel)			x	
Lubricar de cremallera piñón del eje longitudinal(riel)			x	
Lubricar riel vertical (tornillo, tuerca) del cabezal láser			x	
Lubricar cojinetes del riel vertical			x	
Limpieza y lubricación general de los ejes transversal, longitudinal y vertical				x


Tabla 4. 32 Actividades preventivas sistema estructural

Actividades preventivas del sistema estructural	Frecuencia			
	Diario	Semanal	Mensual	Semestral
Limpiar las tiras con escoria de la mesa de corte y alinear a nivel.		x		
Limpiar toda la carcasa de la máquina láser que compone la estructura.		x		
Vaciar las bandejas de sobrantes de cortes, para evitar pérdidas de piezas requeridas		x		
Verificar la nivelación de la máquina, con respecto al piso, ajustar o desajustar los tacos mecánicos		x		
Inspección visual de las uniones en las vigas longitudinales.			x	
Inspección visual de las protecciones anticolidión en busca de grietas.			x	
Inspecciones visuales del estado de la viga longitudinal, en busca de grietas o corrosión.			x	

- **Ficha de registro del mantenimiento**

Las actividades preventivas anteriores, se registraron en la ficha de registro de mantenimiento, documento que resume las actividades que se aplicaron o están cercanas a aplicarse, establecidos por el programa de mantenimiento, esto para controlar los trabajos, verificar la realización a cada equipo y verificar la correcta adaptación del plan de mantenimiento preventivo.

Figura 4. 6 Ficha de registro de mantenimiento (orden de trabajo)


	FICHA DE REGISTRO DE MANTENIMIENTO / ORDEN DE TRABAJO		
	EQUIPO: MÁQUINA LÁSER	Código: MPL1 Ubicación: Instalaciones R&G	
DATOS GENERALES			
MARCA	PRIMALASER	PAIS DE ORIGEN	CHINA
POTENCIA	1000W	DIMENSIONES	4200x2400x1500mm
FECHA	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD		RESPONSABLE
5/02/2024	Limpieza de polvo y suciedad del interfaz de control.		SUPERVISOR AREA CORTE LÁSER
5/02/2024	Comprobar el buen funcionamiento de la llave de encendido del armario de control.		SUPERVISOR AREA CORTE LÁSER
5/02/2024	Verificar conexiones de alimentación del compresor.		SUPERVISOR AREA CORTE LÁSER
5/02/2024	Inspeccionar manómetros de oxígeno y nitrógeno (Valvulas abiertas y posible fugas)		SUPERVISOR AREA CORTE LÁSER
REPUESTOS UTILIZADOS			
N°	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	COSTO
OBSERVACIONES			
RESPONSABLE		FIRMA	

- **Ocurrencias y registro de fallas**

Se realiza un listado de las fallas frecuentes que se obtuvieron durante el periodo de la implementación del mantenimiento preventivo, donde especificamos los datos obtenidos con su respectiva máquina láser (Primalaser 1000W y Leapion 3000W) con el propósito de describir las fallas y tener un registro del número de ocurrencias que se obtuvo.

Este listado muestra la frecuencia con la que falla cada equipo, y el análisis de frecuencia ayuda a disponer cuándo hacer los trabajos de mantenimiento.

Figura 4. 7 Ficha de registro de fallas

 R&G MAQUINARIAS	REGISTRO DE FALLAS				
	Responsable			Área de Corte Láser Instalaciones de R&G	
		Código		Mes-Año	
MAQUINA DE CORTE CNC LASER	PARADA		ARRANQUE		
CAUSA DE PARADA DE LA MÁQUINA	FECHA	HORA	FECHA	HORA	

Se muestra a continuación evidencias de fallas relevantes que fueron encontradas en las máquinas de corte láser, las cuales también fueron anotadas en la ficha de registro de falla.

Tabla 4. 33 Fallas relevantes en la implementación Primalaser 1000W

Máquina Primalaser 1000W	
Falla del sistema de refrigeración, específicamente del compresor, posterior a ello se realizó una limpieza del tanque de agua y filtros que componen la Chiller.	
Falla del sistema eléctrico, cambió de interruptores debido al deterioro del ambiente lo que generaba disparos imprevistos, corte de energía.	
Deterioro del componente estructural, acumulación de escoria, que afectaba a la calidad del corte y falsa lectura del sensor de altura para el corte.	
Desgaste del tornillo-gusano del eje vertical debido a la falta de lubricación lo que generaba fricción.	

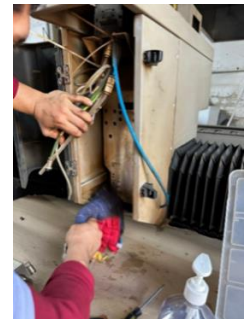
Fuga de agua, manguera rota del sistema refrigeración, y limpieza del filtro, partículas metálicas y polvo.



Tabla 4. 34 Fallas relevantes en la implementación Leapion 3000W

Máquina Leapion 3000W

Falla del sensor de altura del cabezal láser, lo que genero repetidas alarmas, se hizo la limpieza correspondiente y ajusto el sensor.



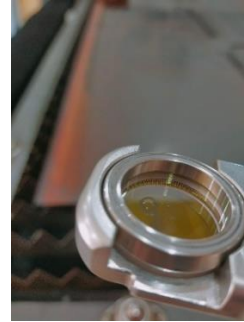
Limpieza y revisión de partículas metálicas en el cabezal láser, para dicho procedimiento se aísla por completo el espacio, libre de polvo y se inspecciona el estado del cabezal.



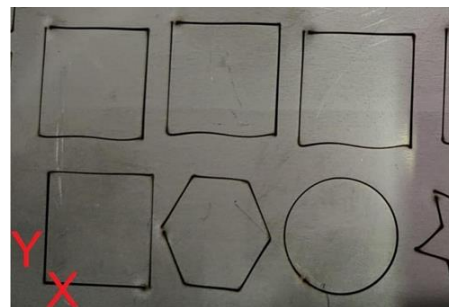
Fuga de aceite del compresor de tornillo lo que generó retrasos en la producción, se buscó alternativa, uso de la red de oxígeno.



Presencia de humedad en los lentes de protección, genera baja calidad de corte. Presencia de deterioro de las mangueras de la red neumática.



Presencia de polvo en los sistemas mecánicos, en este caso el servomotor, ocasionó falsa lectura del área de corte y posterior alarma en el software.



El mal manejo que se tenía antes de la implementación del mantenimiento preventivo, presentaba un deterioro de las cremalleras y piñones, tanto del eje transversal y longitudinal, y con ello una baja garantía del servicio de corte, perdiendo la calidad del corte y la precisión, y con ello piezas defectuosas. En el plan de mantenimiento se hizo énfasis en el mantenimiento periódico de los componentes mecánicos, y con ello mejorando la disponibilidad de las máquinas y el correcto funcionamiento de la máquina láser.

- **Stock de repuestos.**

La empresa R&G Maquinarias y Servicios no cuenta con un stock de repuestos, como tampoco con una lista de repuestos actualizada, debido a que se adquieren cada vez que se solicite en el mantenimiento. Como inicio se tomamos en cuenta un stock o cantidad pequeña de repuestos que con frecuencia fallan y así evitar paradas prolongadas. Como se muestra en la tabla se tiene la cantidad y el precio estimado de repuestos frecuentes de las máquinas de corte CNC láser.

Tabla 4. 35 Stock de repuestos


Repuestos para sistemas de máquina láser	Stock	Precio
Lentes de protección	10	S/ 500
Lentes focales / colimación	4	S/1250
Boquilla simple	8	S/ 200
Boquillas dobles	8	S/ 250
Cerámica láser	3	S/. 150
Mangueras transp. 3/8" 50m.	1	S/. 100
Mangueras transp. 1/4" 50m.	1	S/. 50
Adaptadores rápidos de manguera	6	S/. 60
Manómetro oxígeno	1	S/. 180
Manómetro de nitrógeno	1	S/. 340
Grasa Multipropósitos	1	S./ 40
Paños toallas para lentes	1	S/. 35
Líquido limpia lentes	1	S/. 20
Cables eléctricos	1	S/. 50
1 juego de llave Allen milimétricas	1	S/. 70
Agua purificada (6 litros)	5	S/. 80
Solvente Dieléctrico	1	S/. 50

4.6.4. Etapa 4: Aplicación de actividades de mantenimiento

- Ficha de inspecciones de las máquinas de corte CNC láser (Check List)

Programada las actividades de mantenimiento para cada máquina, con sus respectivos sistemas, lo siguiente fue ordenarlo mediante un cronograma para cada equipo a través de una ficha de inspecciones, ficha donde se aprecia los trabajos rutinarios del mantenimiento y la frecuencia realizada, se presenta un modelo de una ficha. El objetivo de la hoja de inspección es concentrarse en determinar si las actividades de mantenimiento se están llevando a cabo o no de acuerdo con la frecuencia que se ha especificado; el responsable de realizar esta comprobación es el supervisor de área.

Figura 4. 8 Reporte de inspección de máquina láser (Check List)

 R&G MAQUINARIAS Y SERVICIOS <small>R&G MAQUINARIAS</small>		REPORTE DE INSPECCIÓN DE MÁQUINAS LÁSER																															
		CÓDIGO	MLL3	MARCA	LEAPIÓN	POTENCIA	3000W	ABRIL																									
N°	TAREAS PREVENTIVAS POR SISTEMAS	FRECUENCIA	1	2	3	4	5	6	S1	8	9	10	11	12	13	S2	15	16	17	18	19	20	S3	21	22	23	24	25	26	S4	MES		
1	SISTEMA DE CORTE (MPL1 - CL) CL 01 - CL 02	diario, semanal, mensual	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
2	SISTEMA DE REFRIGERACIÓN (MPL1 - RN) RN 01 - RN 02	diario, semanal, mensual	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
3	SISTEMA ELÉCTRICO ELECTRÓ. (MPL1 - EE) EE 01 - EE 02 - EE 03	diario, semanal, mensual	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
4	SISTEMA DE POTENCIA (MPL1 - PA) PA 01 - PA 02 - PA 03	diario, semanal, mensual	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
5	SISTEMA DE ESTRUCTURAL (MPL1 - EL) EL 01 - EL 02 - EL 03	diario, semanal, mensual	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
6	SISTEMA MECÁNICO (MPL1 - MO) MO 01 - MO 02 - MO 03 - MO 04 - MO 05	diario, semanal, mensual	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
7	SISTEMA DE NEUMÁTICO (MPL1 - NO) NO 01 - NO 02 - NO 03 - NO 04 - NO 05	diario, semanal, mensual	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
8	SISTEMA DE CONTROL (MPL1 - CL) CL 01 - CL 02	diario, semanal, mensual	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
9	SISTEMA DE LUBRICACIÓN (MPL1 - LN) LN 01 - LN 02 - LN 03 - LN 04 - LN 05	diario, semanal, mensual	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
FECHA DEL MANTENIMIENTO : Período abril 2024			OBSERVACIONES																														
NOMBRE Y FIRMA DEL RESPONSABLE:																																	
SIMBOLOGÍA <input type="checkbox"/> A inspeccionar <input checked="" type="checkbox"/> Conforme <input checked="" type="checkbox"/> Presenta fallas																																	

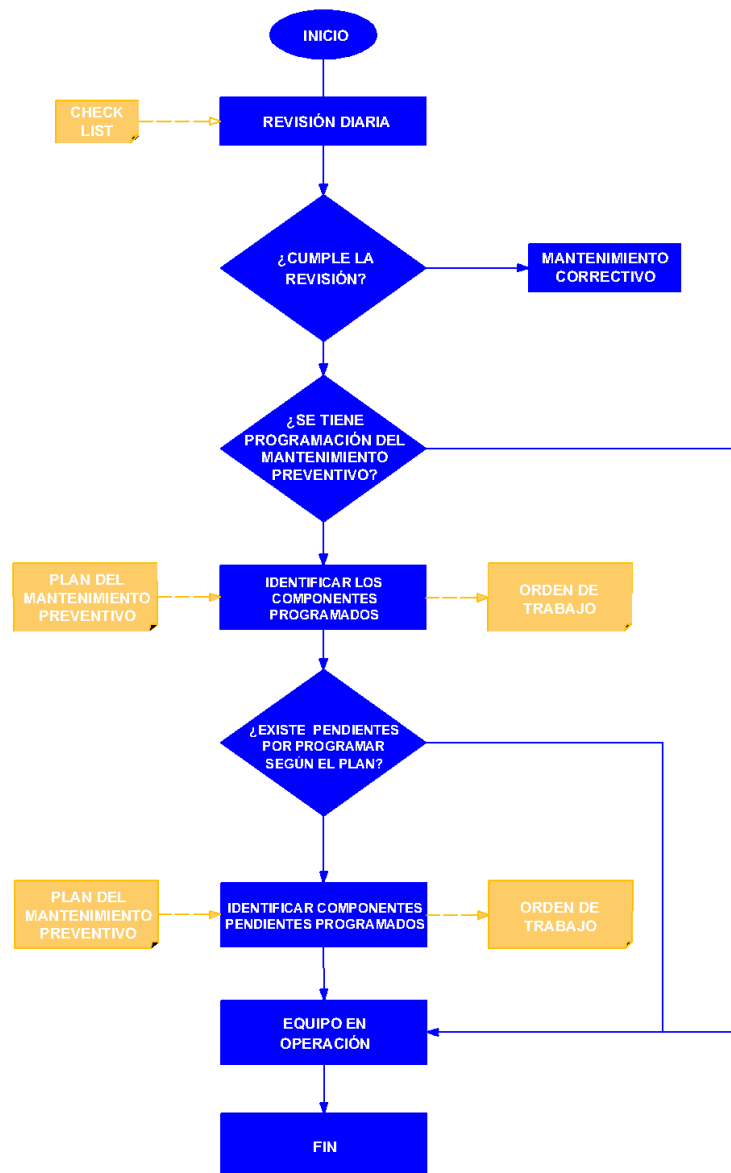
- Registro de ocurrencia de fallas.

De acuerdo al formato de ocurrencias y registro de fallas realizado en la etapa anterior, de donde se obtuvo los datos requeridos para analizar el MTBF, MTTR y la disponibilidad.

- **Flujograma de proceso de la gestión de mantenimiento**

Se inicia el proceso con la inspección visual (check list) diariamente para inspeccionar el estado de las máquinas, el cual se utiliza la ficha de inspección para su verificación, posterior se corrobora según el plan de mantenimiento las actividades programadas donde están los subsistemas o componentes programados para realizar en caso indique el cronograma y en consecuencia determinar si hay tareas por realizar o en todo caso tareas pendientes que estén por realizarse.

Figura 4. 9 Proceso del mantenimiento preventivo.



- **Control del mantenimiento preventivo de las máquinas de corte CNC láser.**

Con la planificación realizada, la siguiente etapa del PCM consiste en la programación, es decir: el calendario de planificación, que puede suceder semanal, mensual o anualmente. En esta etapa, todas las acciones planificadas deben tener plazos definidos, definidos según los criterios más relevantes para su empresa.

CONTROL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE MÁQUINAS CNC LÁSER														INICIA EN LA SEMANA DEL														
Actividades 54		Programados (PR) 1251		Ejecutados (E) 161		Reprogramados (R) 18		No Ejecutados (N) 2		Pendientes (P) 1088		<input type="text" value="lun 05/02/2024"/>		Semana 1 05 Feb - 11 Feb		Semana 2 12 Feb - 18 Feb												
Sistemas 8		ESTADO					INDICADORES		PRÓXIMO		05 Feb - 11 Feb							12 Feb - 18 Feb										
Nro	Cód	Sistema	Actividad	Día de inicio	Frecuencia (días)	Frecuencia	PR	E	R	N	P	Cumplimiento	Efectividad	Proximo Mnno	Faltan días	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	CL	Control	Comprobar desplazamiento a punto cero de las coordenadas del cabezal	lun 05/02/24	7	Semanal	53	15	3	1	37	94%	83%	lun 27/05/24	2													
2	CL	Control	Verificar que no haya inconvenientes en las conexiones externas cuando el	mar 06/02/24	7	Semanal	53	16	4	0	37	100%	80%	mar 28/05/24	3													
3	CL	Control	Comprobar velocidades de desplazamiento (FAST - STEP) para el	jue 08/02/24	7	Semanal	53	15	3	1	37	94%	83%	jue 30/05/24	5													
4	CL	Control	Verificar las conexiones externas del armario de control a los demás	sáb 10/02/24	30	Mensual	13	4	0	0	9	100%	100%	dom 09/06/24	15													
5	CL	Control	Inspección del estado de las conexiones de alimentación	mar 06/02/24	30	Mensual	13	4	1	0	9	100%	80%	mié 05/06/24	11													
6	CL	Control	Realizar pruebas de calibración de corte por desgaste	jue 15/02/24	180	Semestral	3	1	0	0	2	100%	100%	mar 13/08/24	80													
7	CL	Control	Revisión de un técnico especializado para comprobar entradas y salidas de	mié 07/02/24	180	Semestral	3	1	0	0	2	100%	100%	lun 05/08/24	72													
8	EE	Eléctrico y Electrónico	Inspeccionar visualmente todas las conexiones eléctricas dentro del	vie 09/02/24	7	Semanal	53	16	2	0	37	100%	89%	vie 31/05/24	6													
9	EE	Eléctrico y Electrónico	Limpieza de polvo dentro del armario de control, bridas y frenos	sáb 10/02/24	7	Semanal	53	15	4	0	38	100%	79%	sáb 25/05/24	0													
10	EE	Eléctrico y Electrónico	Inspeccionar visualmente que no haya inconvenientes que perjudiquen las	sáb 10/02/24	7	Semanal	53	15	0	0	38	100%	100%	sáb 25/05/24	0													
11	EE	Eléctrico y Electrónico	Comprobar el funcionamiento de las llaves termomagnéticas	lun 12/02/24	30	Mensual	13	4	0	0	9	100%	100%	mar 11/06/24	17													
12	EE	Eléctrico y Electrónico	Limpieza de las conexiones electrónicas expuestas de los sistemas	jue 08/02/24	30	Mensual	13	4	1	0	9	100%	80%	vie 07/06/24	13													
13	EE	Eléctrico y Electrónico	Realizar limpieza general del armario de control minuciosamente no	lun 12/02/24	30	Mensual	13	4	0	0	9	100%	100%	mar 11/06/24	17													
14	EE	Eléctrico y Electrónico	Revisión realizada por un técnico especializado	sáb 17/02/24	180	Semestral	2	1	0	0	1	100%	100%	jue 15/08/24	82													
15	NO	Neumático	Verificar el buen funcionamiento del regulador neumático eléctrico. Por	jue 08/02/24	7	Semanal	53	16	0	0	37	100%	100%	jue 30/05/24	5													
16	NO	Neumático	Inspeccionar el nivel de refrigerante del compresor y purgar el compresor	sáb 10/02/24	7	Semanal	53	15	0	0	38	100%	100%	*****	0													
17	NO	Neumático	Revisar que las mangueras o tuberías no estén picadas, descoloridas o	mié 14/02/24	30	Mensual	13	4	0	0	9	100%	100%	jue 13/06/24	19													
18	NO	Neumático	Verificar el funcionamiento de los filtros, purgar los filtros	jue 15/02/24	30	Mensual	13	4	0	0	9	100%	100%	vie 14/06/24	20													
19	NO	Neumático	Verificar fugas en acoples rápidos, tuberías, accesorios o válvulas	vie 16/02/24	30	Mensual	12	4	0	0	8	100%	100%	sáb 15/06/24	21													
20	NO	Neumático	Reemplazar partes de la red neumática	lun 04/03/24	180	Semestral	2	1	0	0	1	100%	100%	sáb 31/08/24	98													

- **Indicadores del mantenimiento post prueba**

Para el desarrollo de los indicadores del mantenimiento se resumió en estas tablas, que están especificados en el registro de fallas, dicho registro se encuentra detallado en la sección anexo 4.

Tabla 4. 36 Resumen de datos post prueba por máquina

MÁQUINA CNC	HORAS DE OPERACIÓN	N° DE INTERVENCIONES	TIEMPO DE FALLA (min.)
PRIMALASER 1000W	545	15	1800
LEAPION 3000W	551.5	19	1470

Tabla 4. 37 Resumen de datos post prueba por mes

MÁQUINAS CNC POR MES	FEB 2024	MAR 2024	ABR 2024
Tiempo de operación (disponible)	362.5	369	365
Tiempo inoperativo	20.5	15	19
Números de intervenciones (fallas)	12	10	9

Mantenibilidad: Para el cálculo se extraerá el tiempo total de mantenimiento y se dividirá entre el número de reparaciones donde se aplica la ecuación 2.2

Tabla 4. 38 Cálculo del MTTR - Post Prueba por mes

Feb 2024	Mar 2024	Abr 2024
$MTTR = \frac{20.5}{12}$	$MTTR = \frac{15}{10}$	$MTTR = \frac{19}{9}$
$MTTR = 1.71$	$MTTR = 1.5$	$MTTR = 2.1$

Tabla 4. 39 Cálculo del MTTR - Post Prueba por máquina

MÁQUINA CORTE CNC	MTTR
PRIMALASER 1000W	$MTTR = \frac{30}{15}$
	$MTTR = 2$

LEAPION 3000W

$$MTTR = \frac{24.5}{19}$$

$$MTTR = 1.289$$

Confiabilidad: De los formatos aplicados se extraerá los datos para el cálculo del MTBF donde se aplica la ecuación 2.1.

Tabla 4. 40 Cálculo del MTBF - Post Prueba por mes

Feb 2024	Mar 2024	Abr 2024
$MTBF = \frac{362.5 - 20.5}{12}$	$MTBF = \frac{369 - 15}{10}$	$MTBF = \frac{365 - 19}{9}$
$MTBF = 28.5$	$MTBF = 35.4$	$MTBF = 38.4$

Tabla 4. 41 Cálculo del MTBF - Post Prueba por máquina

MÁQUINA CORTE CNC	MTBF
PRIMALASER 1000W	$MTBF = \frac{545 - 30}{15}$
	$MTBF = 34.33$
LEAPION 3000W	$MTBF = \frac{551.5 - 24.5}{19}$
	$MTBF = 27.736$

Disponibilidad: Con la data procesada evaluaremos la disponibilidad de las máquinas de corte láser con los datos de los indicadores de las tablas 4.38, 4.39, 4.40 y 4.41 donde se aplica la ecuación 2.3.

Tabla 4. 42 Cálculo del Disponibilidad - Post Prueba por mes

Feb 2024	Mar 2024	Abr 2024
$Dispon. = \frac{28.5}{28.5 + 1.7}$	$Dispon. = \frac{35.4}{35.4 + 1.5}$	$Dispon. = \frac{38.4}{38.4 + 2.1}$
$Dispon. = 94.3\%$	$Dispon. = 95.9\%$	$Dispon. = 94.8\%$

Tabla 4. 43 Cálculo del Disponibilidad - Post Prueba por máquina

MÁQUINA CORTE CNC	MTBF
PRIMALASER 1000W	$Dispon. = \frac{34.33}{34.33 + 2}$ $Dispon. = 94.5\%$
LEAPION 3000W	$Dispon. = \frac{27.736}{27.736 + 1.289}$ $Dispon. = 95.5\%$

Tabla 4. 44 Resumen de los Cálculos del MTBF, MTTR y Disponibilidad - Post

Máquinas CNC Láser	Feb 24	Mar 24	Abr 24
Tiempo de operación (disponible)	362.5	369	365
Tiempo inoperativo	20.5	15	19
Números de intervenciones (fallas)	12	10	9
MTBF	28.5	35.4	38.4
MTTR	1.7	1.5	2.1
Disponibilidad	94.3%	95.9%	94.8%

Tabla 4. 45 Resumen de los Cálculos del MTBF, MTTR y Disponibilidad - Post por máquina

Máquinas CNC Láser	Primalaser 1000W	Leapion 3000w
Tiempo de operación (disponible)	545	551.5
Números de intervenciones (fallas)	15	19
Tiempo inoperativo (horas)	30	24.5
MTBF	34.33	27.736
MTTR	2	1.289
Disponibilidad	94.5%	95.5%
Disponibilidad Meta	90%	90%

Tabla 4. 46 Gráfico de disponibilidad - post prueba por mes

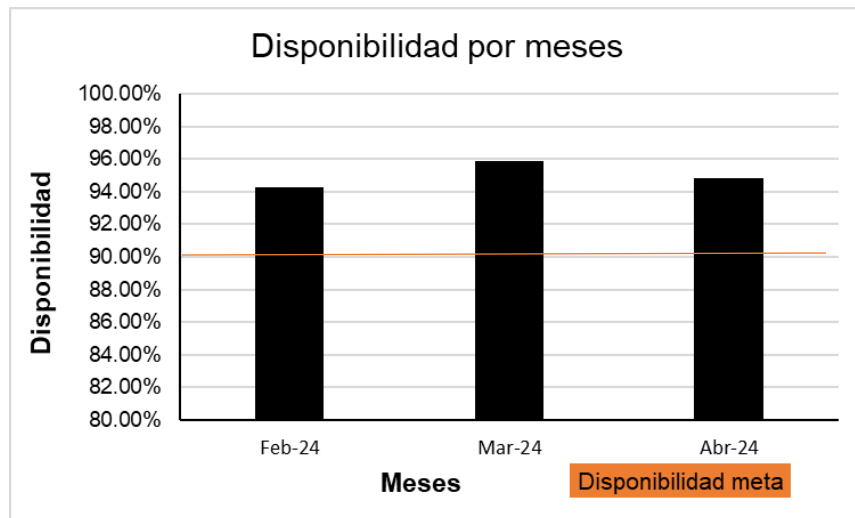
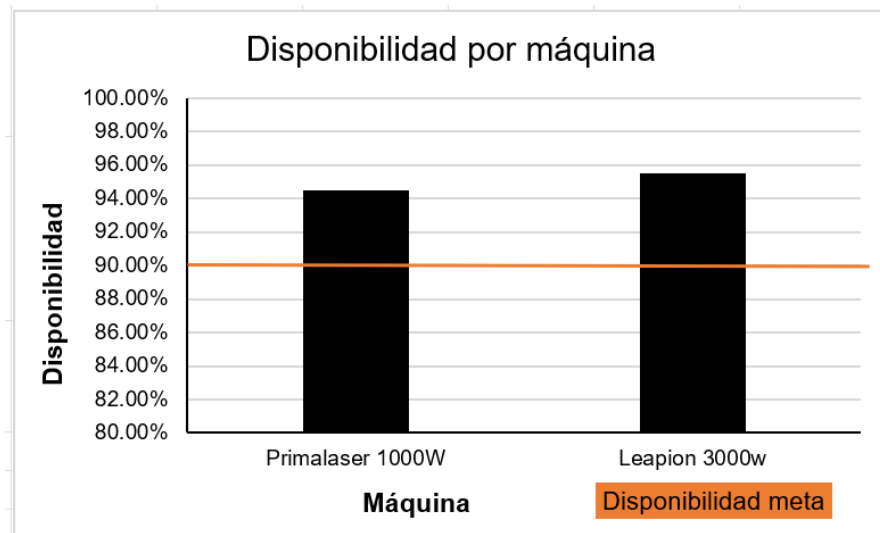


Tabla 4. 47 Gráfico de disponibilidad - post prueba por máquina



4.7. Aspectos éticos de la Investigación

Según Gonzales (2002), el ejercicio de la investigación científica y el uso del conocimiento producido por la ciencia solicitan conductas éticas en el investigador. La conducta no ética carece de lugar en la práctica científica. Debe ser señalada y erradicada. Aquel que con intereses particulares desprecia la ética en una investigación, corrompe a la ciencia y a sus productos y se corrompe a sí mismo. Existe un acuerdo general que hay que evitar conductas no éticas en la práctica de la ciencia. Es mejor hacer las cosas bien que hacerlas mal. Pero el problema no es simple, porque no hay reglas claras e indudables. La ética trata con situaciones

conflictivas sujetas a juicios morales.

Siguiendo con el párrafo anterior, para el desarrollo del informe final de investigación, se realiza con la ética profesional y principios morales, además de cumplir con el código de ética del investigador de la Universidad Nacional del Callao, establecido en el artículo N°08 de los principios éticos del investigador aprobado por Resolución del Consejo Universitario N°260-2019-CU, 16 de junio 2019. Teniendo la seriedad al momento de usar información privada, normas y leyes en la divulgación. Por lo que al momento de emplear los instrumentos para la recolección de información se utilizará respetando la confidencialidad y los acuerdos establecidos con la empresa R&G Maquinarias y Servicios.

V. RESULTADOS

Se mostrará los resultados en esta sección de lo desarrollado y analizado en el capítulo IV específicamente el análisis y procesamiento de datos del subcapítulo 4.6, el cual refiere del análisis pre y post prueba en la aplicación e implementación del plan de mantenimiento preventivo para las máquinas CNC láser de la empresa metalmecánica R&G Maquinarias y Servicios, se analizó la disponibilidad por las 12 semanas pre y 12 semanas post prueba a las máquinas láser.

5.1. Resultados descriptivos

5.1.1. Disponibilidad

En el informe de final de investigación en el capítulo 2, sub capítulo 2.2.8., indicadores de mantenimiento se describió la ecuación 2.3., para el cálculo de la disponibilidad. Donde emplea el MTTR y MTBF para su análisis.

Se analizó la disponibilidad por las 12 semanas pre y 12 semanas post prueba a las máquinas láser, tal y como se muestra en la tabla 5.1 del procesamiento de los datos. Los datos en específico por semanas pre y post prueba resumido y tabulado se encuentran en el anexo 05.

Tabla 5. 1 Resumen del procesamiento de datos de la disponibilidad

	Resumen de procesamiento de casos					
	Válido		Casos Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Disponibilidad Pre	12	100.0%	0	0.0%	12	100.0%
Disponibilidad Pos	12	100.0%	0	0.0%	12	100.0%

Para un mayor análisis, se visualizó por medio de un histograma la disponibilidad de la pre y post prueba, donde se evidenció el promedio general de los resultados y se corroboró la mejora de la disponibilidad después de implementado el plan de mantenimiento.

Figura 5. 1 Histograma pre prueba de la disponibilidad

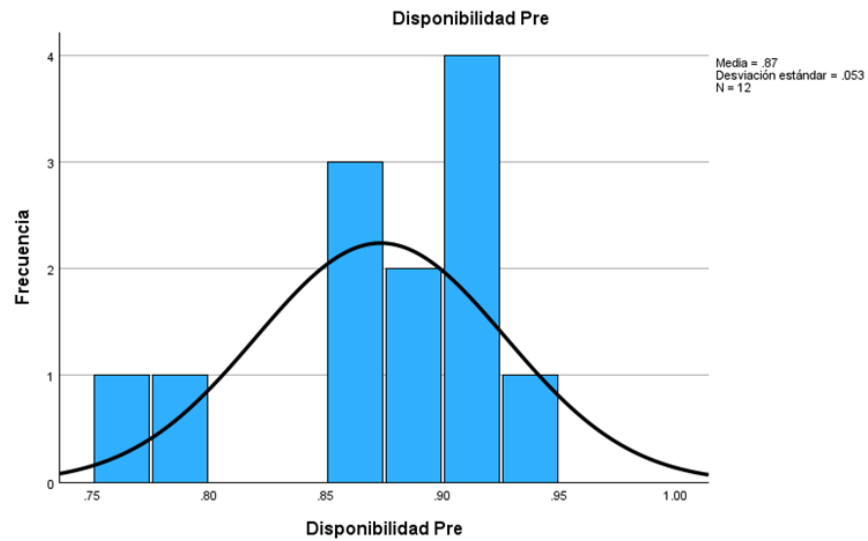
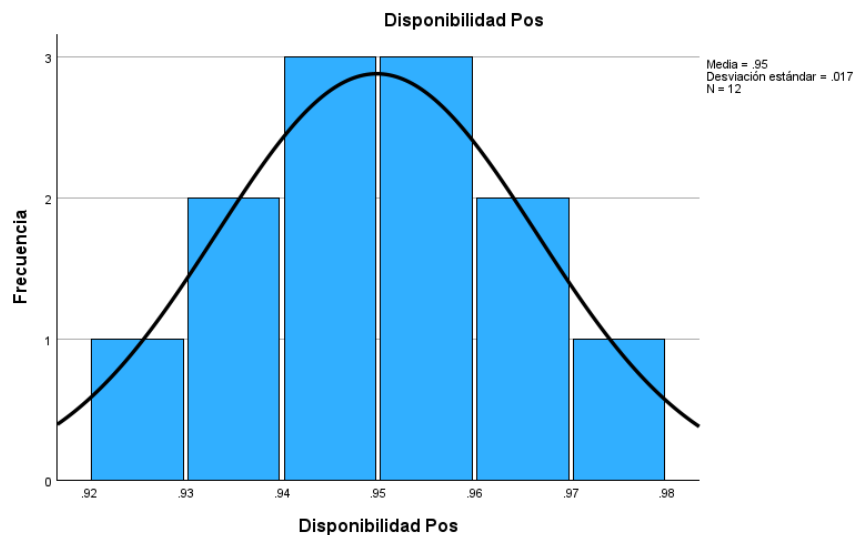


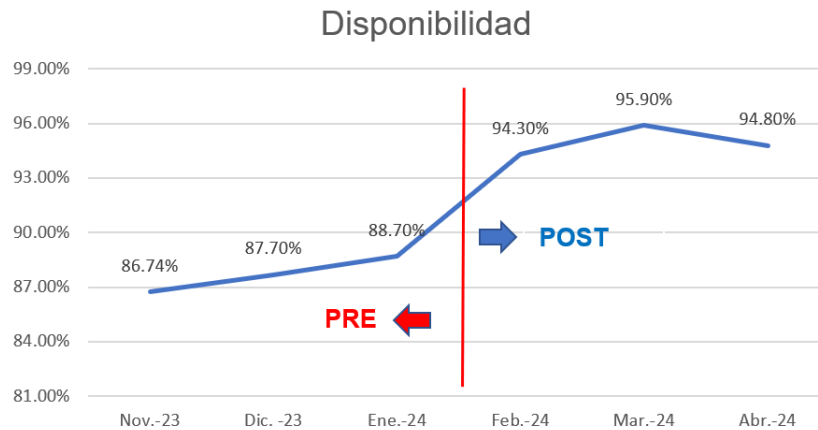
Figura 5. 2 Histograma post prueba de la disponibilidad



Interpretación:

- La media de la disponibilidad pre prueba fue de 87.35% y de la disponibilidad post prueba es 94.98%.
- La mediana pre prueba fue de 0.883 y de la disponibilidad post prueba es 0.947.
- El valor mínimo y máximo pre prueba fue de 0.76 y 0.92 y el valor mínimo y máximo post prueba es de 0.92 y 0.98 respectivamente.
- La desviación estándar fue de 0.053 mientras que después es de 0.017.

Figura 5. 3 Comparativa pre - post prueba disponibilidad



5.1.2. Confiabilidad

En el informe de final de investigación en el capítulo 2, sub capítulo 2.2.8., indicadores de mantenimiento se describió que la confiabilidad se calcula entre la diferencia del número de horas acumuladas del equipo con el número de horas acumuladas de las intervenciones esto es dividido entre el número de intervenciones (fallas), lo cual se denota como el MTBF.

Se analizó la confiabilidad por las 12 semanas pre y 12 semanas post prueba a las máquinas láser, tal y como se muestra en la tabla 5.2 del procesamiento de los datos. Los datos en específico por semanas pre y post prueba resumido y tabulado se encuentran en el anexo 05.

Tabla 5. 2 Resumen del procesamiento de datos de la confiabilidad

	Resumen de procesamiento de casos					
	Válido		Casos Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Confiabilidad Pre	12	100.0%	0	0.0%	12	100.0%
Confiabilidad Pos	12	100.0%	0	0.0%	12	100.0%

Para un mayor análisis, se visualizó por medio de un histograma la confiabilidad de la pre y post prueba, donde se evidenció el promedio general de los resultados y se corroboró la mejora de la confiabilidad después de implementado el plan de mantenimiento.

Figura 5. 4 Histograma pre prueba de la confiabilidad

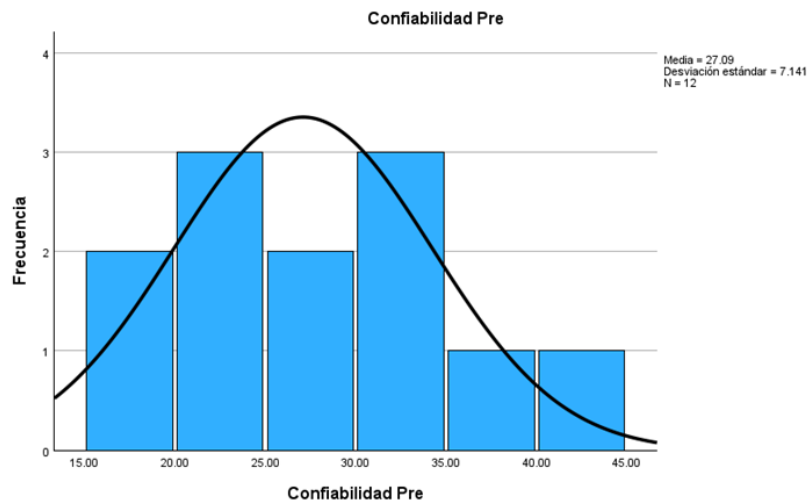
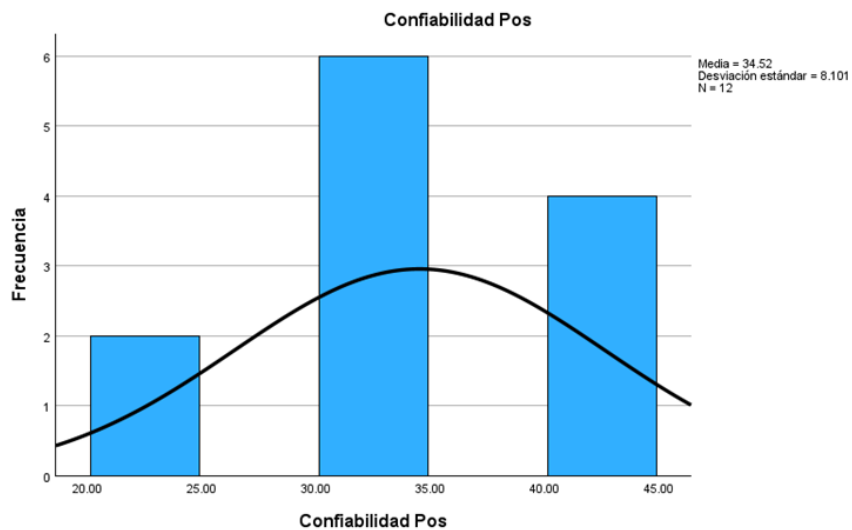


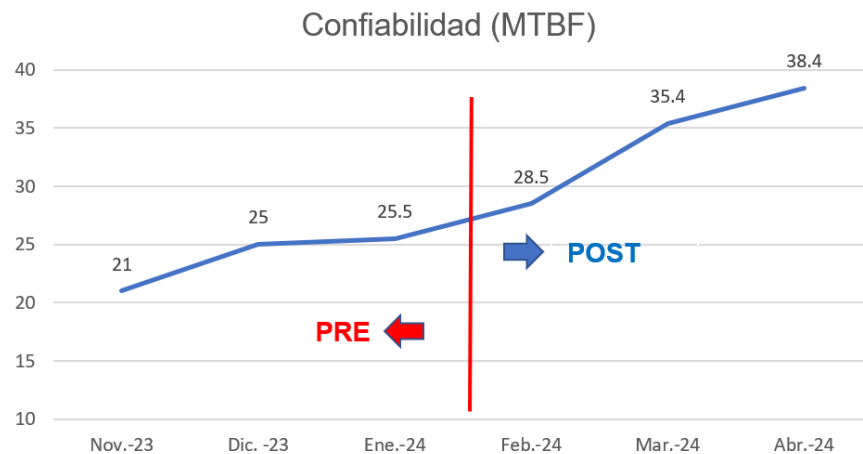
Figura 5. 5 Histograma post prueba de la confiabilidad



Interpretación:

- La media de la confiabilidad pre prueba fue de 27,09 y de la confiabilidad post prueba es 34,52.
- La mediana pre prueba fue de 26,67 y de la confiabilidad post prueba es 33,63.
- El valor mínimo y máximo pre prueba fue de 18,25 y 40,5 y el valor mínimo y máximo post prueba es de 20,5 y 44,5 respectivamente.
- La desviación estándar fue de 7,14 mientras que después es de 8,1.

Figura 5. 6 Comparativa pre - post prueba confiabilidad



5.1.3. Mantenibilidad

En el informe de final de investigación en el capítulo 2, sub capítulo 2.2.8., indicadores de mantenimiento se describió que la mantenibilidad se calcula entre el tiempo total de intervenciones dividido entre el número de intervenciones (fallas), lo cual se denota como el MTTR. Se analizó la mantenibilidad por las 12 semanas pre y 12 semanas post prueba a las máquinas láser, tal y como se muestra en la tabla 5.3 del procesamiento de los datos. Los datos en específico por semanas pre y post prueba resumido y tabulado se encuentran en el anexo 04.

Tabla 5. 3 Resumen del procesamiento de datos de la mantenibilidad

	Resumen de procesamiento de casos					
	Válido		Casos Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Mantenibilidad Pre	12	100.0%	0	0.0%	12	100.0%
Mantenibilidad Pos	12	100.0%	0	0.0%	12	100.0%

Para un mayor análisis, se visualizó por medio de un histograma la mantenibilidad de la pre y post prueba, donde se evidenció el promedio general de los resultados y se corroboró la mejora de la mantenibilidad (la mejora de la mantenibilidad implica disminuir en valor). después de implementado el plan de mantenimiento.

Figura 5. 7 Histograma pre prueba de la mantenibilidad

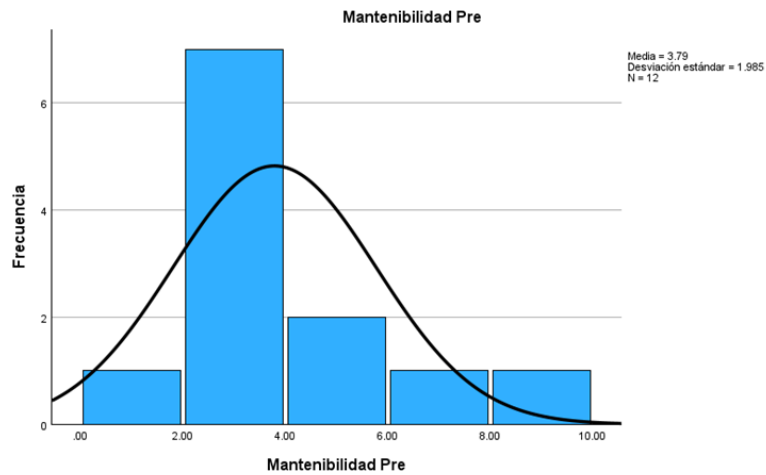
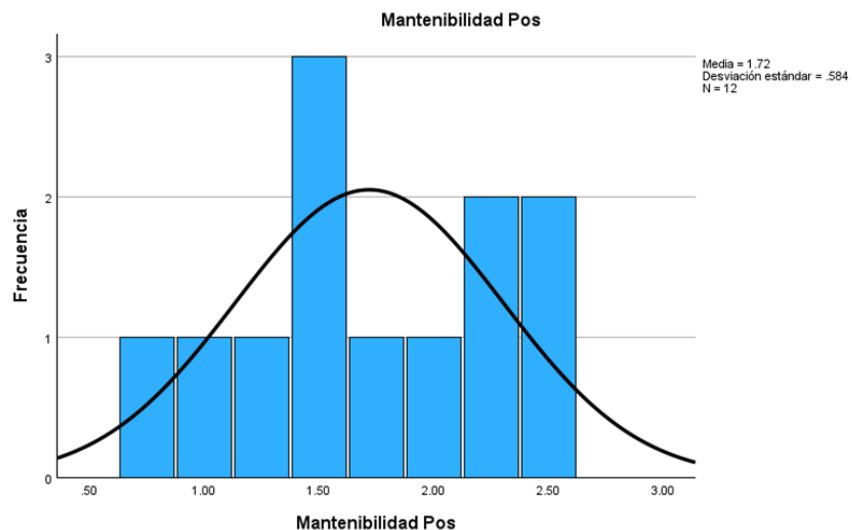


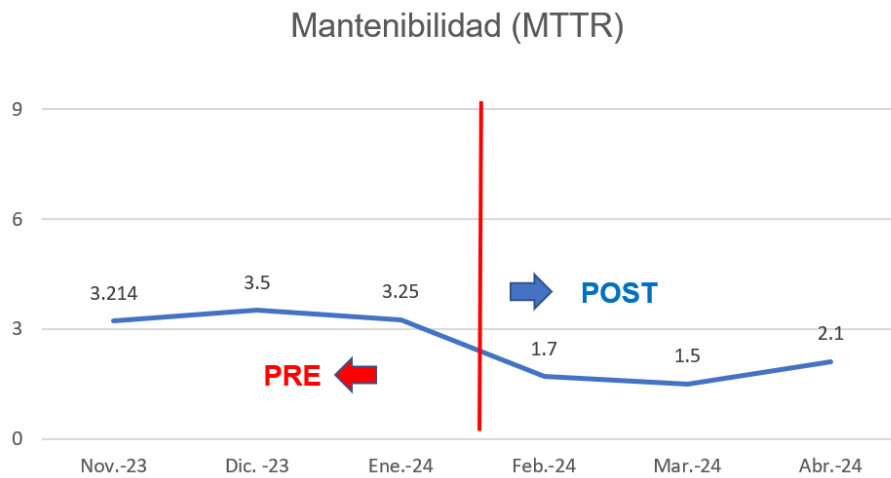
Figura 5. 8 Histograma post prueba de la mantenibilidad



Interpretación:

- La media de la mantenibilidad pre prueba fue de 3,788 y de la confiabilidad post prueba es 1,72.
- La mediana pre prueba fue de 3,104 y de la mantenibilidad post prueba es 1,625.
- El valor mínimo y máximo pre prueba fue de 1,5 y 8,5 y el valor mínimo y máximo post prueba es de 0,75 y 2,5 respectivamente.
- La desviación estándar fue de 1,985 mientras que después es de 0,584.

Figura 5. 9 Comparativa pre – post test mantenibilidad



5.2. Resultados inferenciales

5.2.1. Disponibilidad

Se realizó la prueba de normalidad al parámetro analizado disponibilidad, debido que posee datos que ayudarán a validar la hipótesis general.

Criterio para evaluar la normalidad:

- H_0 : Los datos analizados siguen una distribución Normal.
- H_1 : Los datos analizados no siguen una distribución Normal.

Regla de decisión:

- Cuando ambos Sig. ≥ 0.05 , aceptamos la Hipótesis Nula
- Caso contrario, rechazamos la Hipótesis Nula

Tabla 5. 4 Prueba de normalidad de la disponibilidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Disponibilidad Pre	.198	12	.200 [*]	.868	12	.062
Disponibilidad Pos	.114	12	.200 [*]	.979	12	.981

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Interpretación

Los datos analizados siguen una distribución normal, es decir SON PARAMÉTRICOS, pues se evidencia que el Sig. es mayor a 0.05

Para la prueba de hipótesis usaremos el estadístico T Student para muestras relacionadas. A continuación, se mostró las tablas que se obtuvo del análisis estadístico T Student.

Tabla 5. 5 Estadísticas de muestras emparejadas pre y post de la disponibilidad

		Estadísticas de muestras emparejadas			
		Media	N	Desv. estándar	Media de error estándar
Par 1	Disponibilidad Pre	.8735	12	.05343	.01542
	Disponibilidad Pos	.9498	12	.01663	.00480

Tabla 5. 6 Correlaciones de muestra emparejadas pre y post de la disponibilidad

		Correlaciones de muestras emparejadas			
		N	Correlación	Significación	
				P de un factor	P de dos factores
Par 1	Disponibilidad Pre & Disponibilidad Pos	12	-.016	.480	.960

Donde de la tabla 5.5 de estadísticas de muestras emparejadas se comparó la disponibilidad pre prueba 87.35% con la disponibilidad post prueba 94.98% y se evidenció un aumento en la disponibilidad de 7.63%, eso significa que el tiempo efectivo para operar aumentó, entonces mejoró la disponibilidad.

5.2.2. Confiabilidad

Se realizó la prueba de normalidad al parámetro analizado confiabilidad, debido que posee datos que ayudarán a validar la hipótesis específica.

Criterio para evaluar la normalidad:

- H₀: Los datos analizados siguen una distribución Normal.
- H₁: Los datos analizados no siguen una distribución Normal.

Regla de decisión:

- Cuando ambos Sig. ≥ 0.05 , aceptamos la Hipótesis Nula
- Caso contrario, rechazamos la Hipótesis Nula

Tabla 5. 7 Prueba de normalidad de la confiabilidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Confiabilidad Pre	.136	12	.200*	.938	12	.471
Confiabilidad Pos	.188	12	.200*	.887	12	.109

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Interpretación

Los datos analizados siguen una distribución normal, es decir SON PARAMÉTRICOS, pues se evidencia que el Sig. es mayor a 0.05. Para la prueba de hipótesis usaremos el estadístico T Student para muestras relacionadas. A continuación, se mostró las tablas que se obtuvo del análisis estadístico T Student.

Tabla 5. 8 Estadísticas de muestras emparejadas pre y post de la confiabilidad

		Media	N	Desv. estándar	Media de error estándar
Par 1	Confiabilidad Pre	27.0902	12	7.14139	2.06154
	Confiabilidad Pos	34.5208	12	8.10055	2.33843

Tabla 5. 9 Correlaciones de muestras emparejadas pre y post de la confiabilidad

		N	Correlación	Significación	
				P de un factor	P de dos factores
Par 1	Confiabilidad Pre & Confiabilidad Pos	12	.311	.163	.326

Donde de la tabla 5.8 se comparó la confiabilidad pre prueba 27.09hr. con la confiabilidad post prueba 34.52hrs y se evidenció un aumento en el MTBF de 7.43hrs, eso significa que el tiempo medio entre fallas aumentó, entonces mejoró la confiabilidad.

5.2.3. Mantenibilidad

Se realizó la prueba de normalidad al parámetro analizado confiabilidad, debido que posee datos que ayudarán a validar la hipótesis específica.

Criterio para evaluar la normalidad:

- H₀: Los datos analizados siguen una distribución Normal.
- H₁: Los datos analizados no siguen una distribución Normal.

Regla de decisión:

- Cuando ambos Sig. ≥ 0.05 , aceptamos la Hipótesis Nula.
- Caso contrario, rechazamos la Hipótesis Nula.

Tabla 5. 10 Prueba de la normalidad de la mantenibilidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Mantenibilidad Pre	.208	12	.162	.878	12	.083
Mantenibilidad Pos	.152	12	.200*	.946	12	.576

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Interpretación

Los datos analizados siguen una distribución normal, es decir SON PARAMÉTRICOS, pues se evidencia que el Sig. es mayor a 0.05.

Para la prueba de hipótesis usaremos el estadístico T Student para muestras relacionadas. A continuación, se mostró las tablas que se obtuvo del análisis estadístico T Student.

Tabla 5. 11 Estadística de muestras emparejadas pre y post mantenibilidad

		Estadísticas de muestras emparejadas			
		Media	N	Desv. estándar	Media de error estándar
Par 1	Mantenibilidad Pre	3.7882	12	1.98539	.57313
	Mantenibilidad Pos	1.7188	12	.58418	.16864

Tabla 5. 12 Correlaciones de muestras emparejadas pre y post mantenibilidad

		N	Correlación	Significación	
				P de un factor	P de dos factores
Par 1	Mantenibilidad Pre & Mantenibilidad Pos	12	-.185	.282	.565

Donde se comparó la mantenibilidad pre prueba 3.788 hrs con la mantenibilidad post prueba 1.718 hrs y se evidenció una reducción en el MTTR de 2.07hrs, eso significa que el tiempo medio para las reparaciones se redujo significativamente, mejoró la mantenibilidad.

VI. DISCUSIONES DE RESULTADOS

6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

6.1.1. Contrastación de la hipótesis general

Hipótesis nula (H_0): El diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo no mejora la disponibilidad de las máquinas de corte CNC láser de la empresa metalmecánica R&G Maquinarias y Servicios.

Hipótesis alterna (H_1): El diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejora la disponibilidad de las máquinas de corte CNC láser de la empresa metalmecánica R&G Maquinarias y Servicios.

Regla de decisión:

$$H_0: \mu_{pre} \geq \mu_{pos}$$

$$H_1: \mu_{pre} < \mu_{pos}$$

Donde:

μ_{pre} : Es la media de la disponibilidad pre

μ_{pos} : : Es la media de la disponibilidad post

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Estadístico de prueba

Como los datos siguen una distribución normal, aplicamos una prueba paramétrica T-Student para muestras relacionadas.

Tabla 5. 13 Prueba de muestras emparejadas para la hipótesis general

		Prueba de muestras emparejadas						Significación	
		Diferencias emparejadas							
		Media	Desv. estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	P de un factor	P de dos factores
				Inferior	Superior				
Par 1	Disponibilidad Pre - Disponibilidad Pos	-.07633	.05622	-.11205	-.04062	-4.704	11	<.001	<.001

Regla de decisión:

Si $Sig \geq 0.05$, se acepta la hipótesis nula.

Si $Sig < 0.05$, se rechaza la hipótesis nula.

Mediante la prueba T-Student se obtuvo la significancia 0.000644, el cual es menor que 0.05, por ello se rechazó la hipótesis nula (H_0) y se aceptó la hipótesis alterna (H_1).

Por lo tanto, el plan de mantenimiento preventivo mejora la

disponibilidad de las máquinas de corte láser de la empresa metalmecánica R&G Maquinarias y Servicios.

6.1.2. Contrastación de la hipótesis específica 1

Hipótesis nula (H_0): El diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo no mejora la confiabilidad de las máquinas de corte CNC láser de la empresa metalmecánica R&G Maquinarias y Servicios.

Hipótesis alterna (H_1): El diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejora la confiabilidad de las máquinas de corte CNC láser de la empresa metalmecánica R&G Maquinarias y Servicios.

Regla de decisión:

$$H_0: \mu_{pre} \geq \mu_{pos}$$

$$H_1: \mu_{pre} < \mu_{pos}$$

Donde:

μ_{pre} : Es la media de la disponibilidad pre

μ_{pos} : : Es la media de la disponibilidad post

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Estadístico de prueba

Como los datos siguen una distribución normal, aplicamos una prueba paramétrica T-Student para muestras relacionadas.

Tabla 5. 14 Prueba de muestras emparejadas para hipótesis específica 1

		Prueba de muestras emparejadas					Significación		
		Diferencias emparejadas				t	gl	P de un factor	P de dos factores
		Media	Desv. estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia					
				Inferior	Superior				
Par 1	Confiabilidad Pre - Confiabilidad Pos	-7.43058	8.98194	-13.13744	-1.72373	-2.866	11	.008	.015

Regla de decisión:

Si $Sig \geq 0.05$, se acepta la hipótesis nula.

Si $Sig < 0.05$, se rechaza la hipótesis nula.

Mediante la prueba T-Student se obtuvo la significancia 0.015357, el cual es menor que 0.05, por ello se rechazó la hipótesis nula (H_0) y se aceptó la hipótesis alterna (H_1).

Por lo tanto, el plan de mantenimiento preventivo mejora la

confiabilidad de las máquinas de corte láser de la empresa metalmecánica R&G Maquinarias y Servicios.

6.1.3. Contrastación de la hipótesis específica 2

Hipótesis nula (H_0): El diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo no mejora la mantenibilidad de las máquinas de corte CNC láser de la empresa metalmecánica R&G Maquinarias y Servicios.

Hipótesis alterna (H_1): El diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejora la mantenibilidad de las máquinas de corte CNC láser de la empresa metalmecánica R&G Maquinarias y Servicios.

Regla de decisión:

$$H_0: \mu_{pre} \geq \mu_{pos}$$

$$H_1: \mu_{pre} < \mu_{pos}$$

Donde:

μ_{pre} : Es la media de la disponibilidad pre

μ_{pos} : : Es la media de la disponibilidad post

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Estadístico de prueba

Como los datos siguen una distribución normal, aplicamos una prueba paramétrica T-Student para muestras relacionadas.

Tabla 5. 15 Prueba de muestras emparejadas para hipótesis específica 2

		Prueba de muestras emparejadas							Significación
		Diferencias emparejadas							
		95% de intervalo de confianza de la diferencia							
		Media	Desv. estándar	Inferior	Superior	t	gl	P de un factor	P de dos factores
Par 1	Mantenibilidad Pre - Mantenibilidad Pos	2.06942	2.17077	.69018	3.44866	3.302	11	.004	.007

Regla de decisión:

Si $Sig \geq 0.05$, se acepta la hipótesis nula.

Si $Sig < 0.05$, se rechaza la hipótesis nula.

Mediante la prueba T-Student se obtuvo la significancia 0.007, el cual es menor que 0.05, por ello se rechazó la hipótesis nula (H_0) y se aceptó la hipótesis alterna (H_1).

Por lo tanto, el plan de mantenimiento preventivo mejora la

confiabilidad de las máquinas de corte láser de la empresa metalmecánica R&G Maquinarias y Servicios.

6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares.

- El presente estudio nos ha permitido constatar la importancia de la implementación del plan de mantenimiento preventivo para las máquinas de corte CNC láser inicialmente la empresa no contaba con un plan de mantenimiento, lo cual representaba un desarrollo deficiente de las actividades dentro de la empresa, paradas no planificadas, mano de obra perdida, trabajos de corte inconclusos, una baja garantía del servicio, costo de ejecución de mantenimiento correctivo y desgaste acelerado de los equipos, con incapacidad de responder de manera oportuna, siendo la disponibilidad inicial 87.35%, sin embargo después del diseño e implementación se incrementó en un 7.63% resultando la disponibilidad final de 94.98%. El mencionado plan consistió en la identificación del área de mantenimiento y el levantamiento de la información además de elaborar fichas de mantenimiento, formato para reportar fallas, check list de los sistemas de las máquinas láser, lo cual es similar al estudio de Barreto y Polanco (2020), su investigación se relaciona con la problemática planteada dado que presenta una metodología guía donde aplico herramientas de diagnóstico como Ishikawa, Pareto, además de realizar las codificación y jerarquización de los sistemas integrados de la máquina cortadora de plasma CNC Combirex 4000 incrementando la disponibilidad del 73% al 90% proyectada. Se contrasto ambos resultados dando un aumento en la disponibilidad de los equipos a partir de la implementación de un plan de mantenimiento.
- Del informe final se tiene como resultado la mejora de la disponibilidad en 7.63% por la implementación del plan de mantenimiento preventivo a las máquinas de corte CNC láser, así mismo Dulcey (2023), realiza un análisis de los diferentes requerimientos de mantenimiento de cada máquina, apoyándose del manual del fabricante, junto con el registro

de mantenimientos previos dentro de la empresa e identificación de cuellos de botella optimizando los flujos de trabajo, en el informe final de investigación el manual del fabricante es casi limitado y en donde se tiene un historial de información menos completo que del antecedente. Al comparar ambos resultados no se contrasta ya que no pudieron implementar el plan de mantenimiento preventivo, pero si ofrece una metodología de para la planeación del mantenimiento.

- Del informe final se tiene como resultado la mejora de la disponibilidad en 7.63% por la implementación del plan de mantenimiento preventivo a las máquinas de corte CNC láser, en este informe final no se aplicaron pilares del mantenimiento TPM, a comparación de Pagatini (2017) quien utilizó el TPM en máquinas de corte láser y con ello mejoro la disponibilidad en un 10% ya que aplicó los pilares del mantenimiento sugeridos. Aumentando como consecuencia el OEE de las máquinas láser CNC en un 6% la primera máquina láser y un 9% la segunda máquina láser. Se contrasto ambos resultados dando un aumento en la disponibilidad de los equipos a partir de la implementación de un plan de mantenimiento.
- Como resultado del informe de investigación corroborado estadísticamente siendo la disponibilidad inicial 87.35%, sin embargo después del diseño e implementación se incrementó en un 7.63% resultando la disponibilidad final de 94.98%, en este informe tampoco se aborda el mantenimiento predictivo a comparación de Loya (2020) quien, mediante el análisis predictivo, basándose en datos, historial y ya un plan de mantenimiento preventivo instalado logro aumentar la disponibilidad de un 96% a un 98%. Se contrasto ambos resultados dando un aumento en la disponibilidad de los equipos a partir de la implementación de un plan de mantenimiento.
- En relación a la confiabilidad se evidencia que la implementación del plan de mantenimiento ayudó a mejorar la confiabilidad de las máquinas de corte CNC láser, donde se compara la confiabilidad pre prueba 27.09hrs con la confiabilidad post prueba 34.52hrs y se

evidenció un aumento en el MTBF de 7.43hrs, este aumento de la confiabilidad coincidió con Cáceres (2022), que determinó el promedio del MTBF pre prueba es 49.88 horas y post prueba es 55.6375 horas corroborando un incremento en la confiabilidad de 5.76 horas y que concluye que la aplicación del mantenimiento permitió la mejora de la confiabilidad incrementando el tiempo medio entre fallas. Se contrasto ambos resultados dando un aumento en la confiabilidad de los equipos a partir de la implementación de un plan de mantenimiento.

- Asimismo, el mantenimiento preventivo ayudó a reducir la mantenibilidad de las máquinas láser de 3.8 horas a 1.7 horas de reparación este resultado coincidió con lo investigado por Ramos (2017) que determinó el promedio del MTTR pre prueba es 34.9 horas y post prueba es 20.4 horas corroborando una mejora en la mantenibilidad de 14.5 horas y que concluye que la aplicación del mantenimiento permitió la mejora de la mantenibilidad incrementando el tiempo medio entre fallas. Se contrasto ambos resultados dando un aumento en la mantenibilidad de los equipos a partir de la implementación de un plan de mantenimiento.

6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes

Yo José Carlos León Flores, con DNI N° 75452438, autor del informe final para la titulación, con título “Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de las máquinas de corte CNC láser de la empresa metalmecánica R&G Maquinarias y Servicios”, fue elaborada por mi persona y me responsabilizo por la información emitida en la investigación. Así mismo el informe final esta alineada en principios éticos, dado se respeta la propiedad intelectual. Por ende, en el informe final no se hizo uso de información que no esté citada con su correspondiente fuente.

VII.CONCLUSIONES

- El diseño e implementación del plan de mantenimiento permitió mejorar la disponibilidad inicial de 87.35% en las máquinas de corte CNC láser, obteniendo un aumento de 7.63%, con lo que se consiguió una disponibilidad final de 94.98%.
- El plan de mantenimiento implementado logró mejorar la confiabilidad de las máquinas de corte CNC láser mejorando el MTBF – Pre prueba de 27 horas hacia un MTBF – Post Prueba de 34.5 horas, lo que representó una mejora de 7.5 horas en la confiabilidad de las máquinas de corte CNC láser.
- El plan de mantenimiento implementado mejoró la mantenibilidad significativamente de las máquinas de corte CNC láser, puesto que el MTTR Pre – Prueba es de 3.8 horas y el MTTR Post – Prueba de 1.7 horas, lo que representó una mejora(reducción) de 2.1 horas en la mantenibilidad de las máquinas.

VIII. RECOMENDACIONES

- Hacer seguimiento al mantenimiento preventivo de las máquinas láser, ya que esto permitirá seguir mejorando la disponibilidad y conservar la vida útil de los diversos sistemas y subsistemas, que componen las máquinas, con el fin de reducir los costos de mantenimiento.
- Para mejorar los indicadores que miden la disponibilidad, la empresa metalmeccánica debe de analizar la cantidad óptima de repuestos (gestión de stock), capacitación de personal e implementar mejora continua con miras seguir mejorando la disponibilidad.
- El cumplimiento estricto de la ejecución del plan de mantenimiento permite garantizar la mejora de la confiabilidad de las máquinas láser durante su operación.
- Con el fin de obtener una data confiable en las órdenes de trabajo, se debe brindar capacitación al personal técnico que ejecutará los trabajos de mantenimiento, para garantizar una información de calidad al momento de determinar los indicadores de mantenimiento y programar las actividades posteriores.
- La ejecución del plan de mantenimiento y programa de mantenimiento se debe de ejecutar conforme a lo diseñado para conservar la vida útil de las máquinas de corte láser.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARATA, A. y FURNALETTO, L. 2005. *Manual de gestión de activos y mantenimiento*. [ed.] Ril Editores. 1ra. Santiago : s.n., 2005. pág. 924. ISBN:9562844331.

ARIAS ODON, Fidas Gerardo. 2012. *El Proyecto de Investigación. Introducción a la metodología científica [en línea]*. Quinto edición. Caracas: Episteme [Fecha de consulta: 21 de mayo de 2024]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/27298565_El_Proyecto_de_la_Invstigacion_Introduccion_a_la_Metodologia_Cientifica/link/572c131608aef7c7e2c6bbe3/download. ISBN: 980-07-8529-9.

BARRETO Y POLANCO. 2020. *Elaboracion de un plan de mantenimiento preventivo para la cortadora de plasma CNC COMBIREX 4000 de la empresa metalmecanica IDEMEC S.A.S.* [en línea]. Tesis [Titulo profesional de Ingeniero Mecánico], Bogotá: Universidad de America [Fecha de consulta: 05 de abril de 2024]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.11839/7905>

BERNAL TORRES, C.A. 2010. *Metodología de la Investigación: administración, economía, humanidades y ciencia sociales*. 3ra. Bogota : Pearson Educación. ISBN: 978-958-699-129-2.

Borja Suarez, Manuel. 2012. *Metodología de la investigación científica para ingenieros*. Chiclayo : s.n.

CACERES SANCHEZ, Christian. 2022. *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para incrementar la disponibilidad de las gruas hidraulicas articuladas de la empresa ELMARVI S.A.C.* [en línea]. Tesis [Titulo profesional de Ingeniero Mecánico]. Callao: Universidad Nacional del Callao. [Fecha de consulta: 07 de abril de 2024]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12952/7109>

CAMARGO y SAMACA. 2021. *Diseño y construcción de una cortadora láser para trabajo en 2D.* [en línea]. Tesis [Titulo profesional de Ingeniero Mecánico]. Tunja: Universidad Santo Tomás Tunja. [Fecha de consulta: 12 de abril de 2024].

Disponible en: <http://hdl.handle.net/11634/37808>

CARRILLO Y ARTEAGA. 2021. *Implementación de la gestión de mantenimiento para mejorar la productividad en la máquina CNC de la empresa TFM, Chimbote 2021*. [en línea]. Tesis [Titulo profesional de Ingeniero Industrial]. Lima: Universidad Cesar Vallejo. [Fecha de consulta: 15 de abril de 2024]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/58835>

CASTAÑEDA RIVERA, Leonardo Franco. 2017. *Plan de mantenimiento preventivo basado en la Norma ISO 55000 para mejorar la disponibilidad de las maquinas y equipos de la empresa metalmeccanica Maz Ingenieros Contratistas S.A.C. Trujillo*. [en línea]. Tesis [Titulo profesional de Ingeniero Mecánico - Electricista]. Trujillo: Universidad Cesar Vallejo. [Fecha de consulta: 12 de abril de 2024]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/23052>

DUFFUAA, S.O., RAOUF, A. y CAMPBELL, J., 2000. *Sistemas de mantenimiento planeación y control*. Primera ed. México: Grupo Noriega Editores. ISBN 968-18-5918-9.

IBARRA VILLALON. 2018. *El camino hacia la luz laser*. Ciudad de Mexico : s.n., 2018, Revista mexicana Fisica E., Vol. 64, págs. 100 - 107. ISSN: 1870-3542.

ESPINOZA MONTES, Ciro. 2010. *Metodología de la investigación Tecnológica*. [ed.] Ciro Espinoza. 1ra Edición. Huancayo: Imagen Grafica S.A.C., 2010. ISBN: 978-612-00-0222-3.

FERNANDEZ, Benjamin, y BORREGO, Rocio, y otros. 2010. *El láser la luz de nuestro tiempo*. [en línea]. Salamanca: Universidad de Salamanca. ISBN: 978-84-92997-10-7.

Disponible en: https://laser.usal.es/alf/wp-content/uploads/2012/11/EI_laser.pdf

GONZALES FERNANDEZ, Francisco. 2005. *Mantenimiento Industrial Avanzado*. [en línea]. Madrid : Fundacion Confemetal. ISBN: 84-96169-49-9. Disponible en:

https://books.google.com.pe/books?id=OzwXOAKv_QAC&lpg=PP1&pg=PP1#v

=onepage&q&f=false

GARCIA GARRIDO, Santiago. 2003. *Organización y Gestión Integral de*. 1ra Edición. Madrid : Ediciones Díaz de Santos S.A. ISBN 84-7978-548-9.

HERNANDEZ SAMPIERI, R., FERNÁNDEZ COLLADO, C. y BAPTISTA, Lucio. 2014. *Metodología de la Investigación*. Sexta Edición. Mexico : Camara Nacional de la Industria Editorial mexicana. ISBN: 978-1-4562-2396-0.

ISO 14224. 2016. Estandar Internacional. Petroleum, petrochemical and natural gas industries-Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. 3ra.

RAMOS, Julio. 2017. *Aumento de la disponibilidad mediante la implementación de un plan de mantenimiento preventivo a las maquinarias de la empresa Atlanta Metal Drill S.A.C.* [en línea]. Tesis [Titulo profesional de Ingeniero Mecánico] Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo. [Fecha de consulta: 08 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14414/10142>

LUQUE HUAMAN, Ronald. 2021. *Diseño de un plan de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos Trackless de la empresa Corimayo S.A.C. en la U.M. Parcoy.* [en línea]. Tesis [Titulo profesional de Ingeniero Mecánico]. Callao: Universidad Nacional del Callao. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12952/7397>

MARTINEZ ZAPATA, Adolfo. 2017. *Estudio de la gestión de mantenimiento preventivo y su incidencia en la disponibilidad de los equipos en la mina de caliza de la planta de Otavalo.* [en línea]. Tesis [Titulo profesional de Ingeniero Industrial]. Ambato: Universidad Tecnológica Indoamericana. pág. 99pp., Disponible en: <http://repositorio.uti.edu.ec/handle/123456789/416>

MERCADO. 2016. SL. [En línea] 2016.
<https://www.joseangelmercado.com/blog/corte-laser/>.

Mobley, R. Keith. 2002. *An Introduction to Predictive Maintenance*. 2da. 2002. ISBN: 0 - 7506 -7531- 4. Disponible en:

https://books.google.com.pe/books?id=SjqXzxpAzSQC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

MONTILLA, Carlos A. 2015. *Notas de clase curso Mantenimiento Industrial*. Pereira, Universidad Tecnológica de Pereira. ISBN: 9789587224092.

MORA GUTIERREZ, Luis. 2009. *Mantenimiento. Planeación, ejecución y control*. Primer Edi. Mexico. Alfaomega Grupo Editor S.A. ISBN 978-958-682-769-0.

MOUBRAY, John. 2004. *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*. Edición en español. 6 Deerfield Rd. Asheville, North Carolina, 28803, USA: Aladon LLC. 433 pp. ISBN 09539603-2-3.

ORTEGA, Daniel. 2007. *Proyecto de implantación de una empresa de corte por agua y láser*. [en línea]. Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Manresa. Manresa : s.n., Disponible en:

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3903/55856-6.pdf>

PAGATINI, Michel. 2017. *Implementación del índice global de rendimiento operativo - IROG, en máquinas de corte por láser CNC*. [En línea]. Tesis [Título profesional de Ingeniero Producción] Caxias do Sul: Universidad de Caxias do Sul. Disponible en: <https://repositorio.ucs.br/11338/4109>

PARDO, Erick. 2023. *Metalmecánica: ¿Qué es? Situación Actual, Perspectivas y Desafíos en el Mercado Peruano*. [En línea] 19 de Junio de 2023. [Citado el: 08 de Junio de 2024.] Disponible en: <https://diametral.pe/blog/industria-metalmecanica-peru/>.

PETTERS, Juan. 2018. CASIOPEA. [En línea].

Disponible en:

[https://wiki.ead.pucv.cl/Introducci%C3%B3n_al_control_num%C3%A9rico_computarizado_\(CNC\)](https://wiki.ead.pucv.cl/Introducci%C3%B3n_al_control_num%C3%A9rico_computarizado_(CNC)).

QUESQUEN y REGALADO. 2022. *Implementación del mantenimiento Productivo Total para mejorar la Eficiencia General de la máquina de corte automática en SIMA Metal Mecánica, Chimbote-2021*. [en línea]. Tesis [Título

profesional de Ingeniero Industrial]. Chimbote: Universidad Cesar Vallejo. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/98478>

VIVEROS y STEGMAIER. 2013. *Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales*. 2013, Revista chilena de Ingeniería. ISSN 0718-3305.

Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052013000100011>

RIBA ROMEVA, C. 2002. *Diseño Concurrente*. Barcelona : UPC, 2002.

RODRIGUEZ CRUZ, Francisco. 2007. *Generalidades acerca de las técnicas de investigación cuantitativa*. Corporacion Universitaria Unitec. Bogota. ISSN 1909-4302.

LOYA, Dario y ALMEIDA, José. 2020. *Diseño de un plan de mantenimiento predictivo para el area de abastecimiento corte termico de la empresa SEDEMI*. [en línea]. Tesis [Titulo profesional de Ingeniero Industrial]. Quito: Universidad Tecnológica Indoamericana. [Fecha de consulta: 02 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://repositorio.uti.edu.ec/handle/123456789/1612>.

Sanchez, Francisco, y otros. 2015. *Mantenimiento Mecánico de Máquinas*. 2° edi. s.l. : Publicacion de la Universidad de Jaume I, 2015. págs. 140-141.

SANTANA ROJAS, Brayam Stiven. 2022. *Elaboración de un plan de mantenimiento para la Empresa Metalmecánica Indumetalsa S.A.S*. [en línea]. Tesis [Titulo profesional de Ingeniero Mecánico] Bogotá: Universidad de América. [Fecha de consulta: 02 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.11839/8855>

SOHOCUTTING. 2023. [sohocutting.com](https://www.sohocutting.com). [En línea].

<https://www.sohocutting.com/es/fabricantes-de-maquinas-de-corte-laser/>.

SYSTEM, MesserCutting. 2020. MesserCutting. [En línea].

Disponible en: <https://mx.messer-cutting.com/guia-de-introduccion-a-las-maquinas-de-corte-por-laser/>.

URQUIZA LEON, Alberto Mikey. 2021. *Implementación de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de las máquinas críticas en la empresa Cynara Perú S.A.C.,2021*. [en línea]. Tesis [Titulo profesional de Ingeniero Industrial] , Lima: Universidad Continental. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12394/13449>

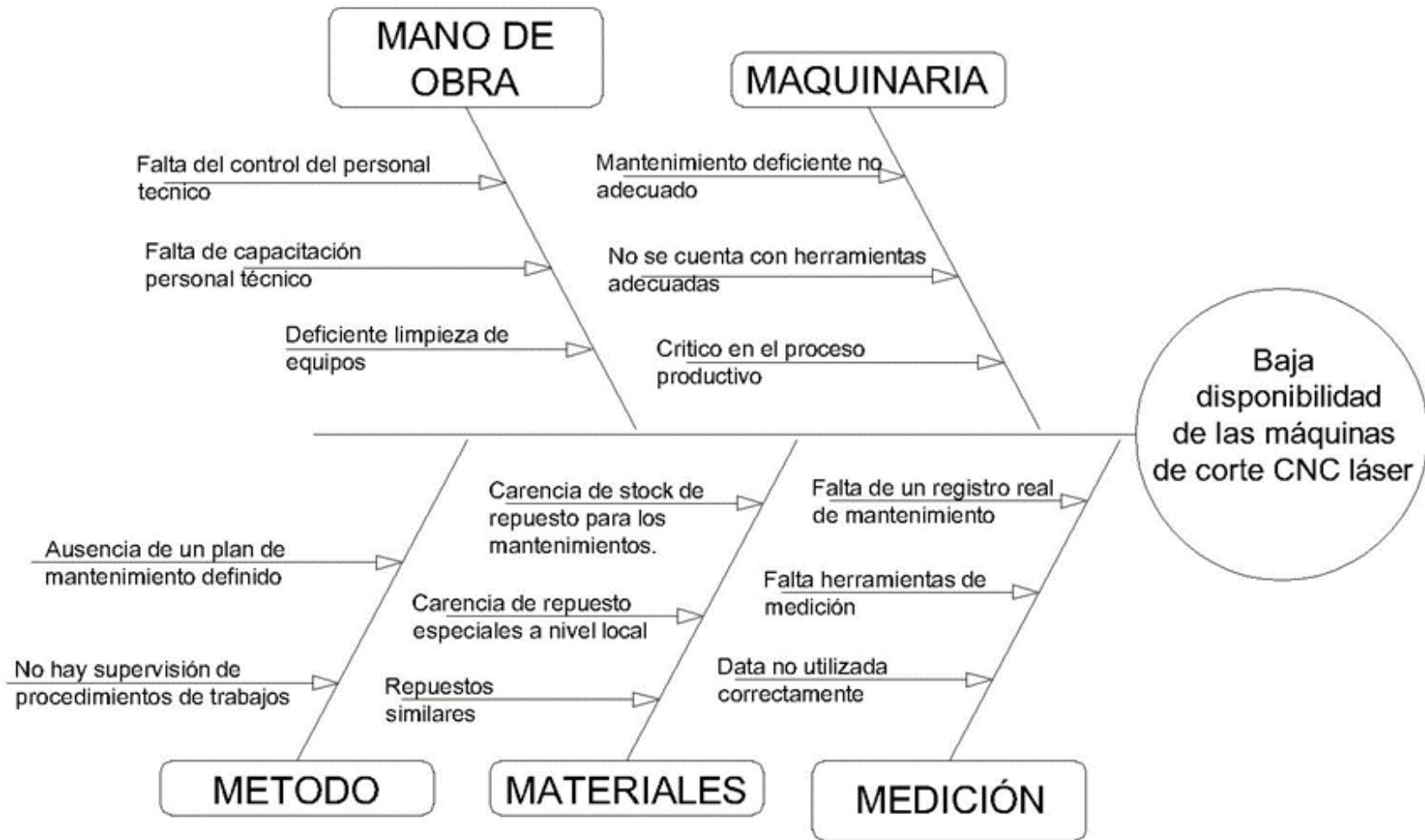
VALDERRAMA MENDOZA, S. 2013. *Pasos para elaborar proyectos de Investigacion Científica: Cuantitativa, Cualitativa y Mixta*. 2da edición . Lima : San Marcos E.I.R.L., ISBN 978-612-302-878-7.

X. ANEXOS

ANEXO N°1: Matriz de consistencia.

“DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE MÁQUINAS DE CORTE CNC LÁSER DE LA EMPRESA METALMECÁNICA R&G MAQUINARIAS Y SERVICIOS”				
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE	METODOLOGÍA
¿En qué medida el diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejora la disponibilidad de las máquinas de corte CNC láser de la empresa metalmecánica R&G Maquinarias y Servicios?	Determinar en qué medida el diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejora la disponibilidad de las máquinas de corte CNC láser de la empresa metalmecánica R&G Maquinarias y Servicios.	El diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejora la disponibilidad de las máquinas de corte CNC láser de la empresa metalmecánica R&G Maquinarias y Servicios.	<p>Variable Independiente</p> <p>Plan de mantenimiento preventivo</p> <p>Dimensiones</p> <p>D1: Recolección de información D2: Análisis situacional actual D3: Planificación D4: Aplicación de las actividades de mantenimiento preventivo</p>	<p>Tipo de investigación Aplicada</p> <p>Enfoque: Cuantitativo</p> <p>Nivel: Explicativo</p> <p>Diseño de la investigación Pre experimental</p> <p>Población 3 máquinas de corte CNC láser.</p> <p>Muestra 2 máquinas de corte CNC láser.</p> <p>Muestreo: No probabilístico – Intencional Análisis de criticidad.</p> <p>Técnica de Recolección de Datos Documental y empírico</p> <p>Instrumentos Fichas de recolección de datos</p> <p>Procesamiento de datos SPSS v25</p>
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS		
¿En qué medida el diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejora la confiabilidad de las máquinas de corte CNC láser en la empresa metalmecánica R&G Maquinarias y Servicios?	Determinar en qué medida el diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejora la confiabilidad de las máquinas de corte CNC láser en la empresa metalmecánica R&G Maquinarias y Servicios.	El diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejora la confiabilidad de las máquinas de corte CNC láser en la empresa metalmecánica R&G Maquinarias y Servicios.	<p>Variable dependiente</p> <p>Disponibilidad</p> <p>Dimensiones</p> <p>D1: Mantenibilidad D2: Confiabilidad</p>	
¿En qué medida el diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejora la mantenibilidad de las máquinas de corte CNC láser en la empresa metalmecánica R&G Maquinarias y Servicios?	Determinar en qué medida el diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejora la mantenibilidad de las máquinas de corte CNC láser en la empresa metalmecánica R&G Maquinarias y Servicios.	El diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejora la mantenibilidad de las máquinas de corte CNC láser en la empresa metalmecánica R&G Maquinarias y Servicios.		

ANEXO N°2 Herramienta de ingeniería para el análisis de la problemática



ANEXO N°3 Autorización de uso de datos



**R&G MAQUINARIAS
Y SERVICIOS S.A.C.**

*Diseño, Fabricación e Instalación de equipos en
acero inoxidable para la industria Alimentaria,
Arquitectónica y Gastronómica.*



CARTA DE AUTORIZACION DE USO DE DATOS DE LA EMPRESA



Yo MARCO ANTONIO ROJAS GARCÍA, identificado con DNI 20005902, en mi calidad de Gerente General de la empresa/institución R&G Maquinarias y Servicios con R.U.C N°20548786305, ubicada en la ciudad de Lima.

OTORGO LA AUTORIZACIÓN

Al señor LEON FLORES JOSE CARLOS identificado con DNI N°75452438, bachiller de la escuela profesional de ingeniería Mecánica que utilice la siguiente información de la empresa: (Especificar la información requerida)

- ✓ Información de estado de los equipos.
- ✓ Datos de las fallas de los equipos.
- ✓ Logo de empresa.
- ✓ Formatos de empresa.

con la finalidad de que pueda desarrollar su (X) Tesis o () Trabajo de suficiencia profesional para optar el Título Profesional.

Indicar si el Representante que autoriza la información de la empresa, solicita mantener el nombre o cualquier distintivo de la empresa en reserva, marcando con una "X" la opción seleccionada.

- () Mantener en Reserva el nombre o cualquier distintivo de la empresa; o
(X) Mencionar el nombre de la empresa.

R&G MAQUINARIAS Y SERVICIOS S.A.C.
M. Rojas García
Gerente General

Firma y sello del Representante Legal
DNI: 20005902

El Bachiller declara que los datos emitidos en esta carta y en el Trabajo de Investigación, en la Tesis son auténticos. En caso de comprobarse la falsedad de datos, el bachiller será sometido al inicio del procedimiento disciplinario correspondiente; asimismo, asumirá toda la responsabilidad ante posibles acciones legales que la empresa, otorgante de información, pueda ejecutar.

Juan
Firma del Bachiller

DNI: 7545248

Adjunta copia del DNI del Representante Legal o Representante del área

Planta de Producción: Av. Guillermo Dansey 936 - Lima 01
Exhibición y Ventas: Av. Ramón Cárcamo 474 - Lima 01
E-mail: refrinoxac@yahoo.es



Tel. 330-7151
Cel.: 989 034 780 / 989 034 783

ANEXO N°4: Informe de opinión de juicio de expertos del instrumento de investigación.

INFORME DE OPINION DE JUICIO DE EXPERTO DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: CHINCHAYAN GIANNONE CESAR ANTONIO
- 1.2. Grado académico: INGENIERO CIP 65542
- 1.3. Profesión: INGENIERO MECANICO
- 1.4. Institución donde trabaja: INGENIERIA DE PROYECTOS ENSPEC SAC
- 1.5. Cargo que desempeña: GERENTE GENERAL
- 1.6. Denominación del instrumento: Ficha de recolección de información
- 1.7. Apellidos y nombres del autor del instrumento: León Flores José

II. VALIDACION DE JUICIO DE EXPERTO

Criterio de evaluación	Descripción sobre las preguntas	Muy malo	Malo	Regular	Bueno	Muy bueno
		1	2	3	4	5
Claridad	Están formulados con lenguaje apropiado que facilita su comprensión				X	
Actualidad	Es adecuado el avance de la ciencia y tecnología y de la experiencia del tesista				X	
Consistencia	Existe una organización lógica en los contenidos y en la relación con la directiva de la Universidad Nacional del Callao				X	

Cesar Chinchayan Giannone
ING. CIP 65542

Coherencia	Existe relación lógica entre el contenido de los criterios de evaluación del instrumento				X	
Pertinencia	Son correctas y adecuadas para evaluar la tesis.				X	
Suficiencia	Son suficientes la cantidad y calidad de ítems presentados en el documento				X	
Sumatoria Parcial					24	
Sumatoria Total						24

III. RESULTADOS

a. Valoración total: 24

b. Opinión: Buena

Favorable: x

Desfavorable:

c. Observaciones:

El instrumento presentado es apropiado para la evaluación de los proyectos de tesis de pregrado y postgrado. Se sugiere que, levantadas las observaciones, pase a la unidad académica correspondiente para su aprobación y aplicación.

Bellavista, 25 de julio del 2024

The image shows a handwritten signature in blue ink over a circular official stamp. The stamp contains the text 'CEBARI CIBICHAYAN GUARINO' and 'DR. CIP 00042'.

Firma del Juez

INFORME DE OPINION DE JUICIO DE EXPERTO DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **ARNULFO GRANDEZ FERNANDO ASUNCION**
- 1.2. Grado académico: **INGENIERO CIP 202234**
- 1.3. Profesión: **INGENIERO ELECTRICISTA**
- 1.4. Institución donde trabaja: **PAPELERA NACIONAL S.A**
- 1.5. Cargo que desempeña: **JEFE DE PLANTA FUERZA**
- 1.6. Denominación del instrumento: **Ficha de recolección de información**
- 1.7. Apellidos y nombres del autor del instrumento: **León Flores José**

II. VALIDACION DE JUICIO DE EXPERTO

Criterio de evaluación	Descripción sobre las preguntas	Muy malo	Malo	Regular	Bueno	Muy bueno
		1	2	3	4	5
Claridad	Están formulados con lenguaje apropiado que facilita su comprensión				X	
Actualidad	Es adecuado el avance de la ciencia y tecnología y de la experiencia del tesista				X	
Consistencia	Existe una organización lógica en los contenidos y en la relación con la directiva de la Universidad Nacional del Callao				X	
Coherencia	Existe relación lógica entre el contenido de los criterios de evaluación del instrumento				X	


ARNULFO GRANDEZ FERNANDO ASUNCION
INGENIERO ELECTRICISTA
 Reg. CIP N° 202234

Pertinencia	Son correctas y adecuadas para evaluar la tesis.				X	
Suficiencia	Son suficientes la cantidad y calidad de ítems presentados en el documento				X	
Sumatoria Parcial					24	
Sumatoria Total						24

III. RESULTADOS

a. Valoración total: 24

b. Opinión: Buena

Favorable: x

Desfavorable:

c. Observaciones:

El instrumento presentado es apropiado para la evaluación de los proyectos de tesis de pregrado y postgrado. Se sugiere que, levantadas las observaciones, pase a la unidad académica correspondiente para su aprobación y aplicación.

Bellavista, 2_ de julio del 2024


 FERNANDO ASUNCIÓN
 ARNULFO GRANDEIZ
 INGENIERO ELECTRICISTA
 Reg. CIP N° 202234

Firma del Juez

INFORME DE OPINION DE JUICIO DE EXPERTO DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES

- 1.1. **Apellidos y Nombres:** Dr. Guerrero Roldan Félix
- 1.2. **Grado académico:** Doctor
- 1.3. **Profesión:** Ingeniero Mecánico
- 1.4. **Institución donde trabaja:** FIME- UNAC
- 1.5. **Cargo que desempeña:** Docente
- 1.6. **Denominación del instrumento:** Ficha de recolección de información
- 1.7. **Apellidos y nombres del autor del instrumento:** León Flores José

II. VALIDACION DE JUICIO DE EXPERTO

Criterio de evaluación	Descripción sobre las preguntas	Muy malo	Malo	Regular	Bueno	Muy bueno
		1	2	3	4	5
Claridad	Están formulados con lenguaje apropiado que facilita su comprensión				X	
Actualidad	Es adecuado el avance de la ciencia y tecnología y de la experiencia del tesista				X	
Consistencia	Existe una organización lógica en los contenidos y en la relación con la directiva de la Universidad Nacional del Callao				X	
Coherencia	Existe relación lógica entre el contenido de los criterios de evaluación del instrumento				X	

Pertinencia	Son correctas y adecuadas para evaluar la tesis.				X	
Suficiencia	Son suficientes la cantidad y calidad de ítems presentados en el documento				X	
Sumatoria Parcial					24	
Sumatoria Total						24

III. RESULTADOS

a. Valoración total: **24**

b. Opinión: Buena

Favorable: **x**

Desfavorable:

c. Observaciones:

El instrumento presentado es apropiado para la evaluación de los proyectos de tesis de pregrado y postgrado. Se sugiere que, levantadas las observaciones, pase a la unidad académica correspondiente para su aprobación y aplicación.

Bellavista, 25 de julio del 2024



Firma del Juez

ANEXO N°5: Ficha de recolección de datos

 R&G MAQUINARIAS	REGISTRO DE FALLAS (Ficha recolección de datos)			
	Responsable	Supervisor JCL		Área de Corte Láser Instalaciones de R&G
MAQUINA DE CORTE CNC LASER LEAPION 3000W	Código	MLL3	Mes-Año	Febrero 2024
CAUSA DE PARADA DE LA MÁQUINA	PARADA		ARRANQUE	
	FECHA	HORA	FECHA	HORA
Fuga de aceite compresor	6-Feb	10:00 a. m.	6-Feb	12:30 p. m.
Limpieza de aceite derramado	6-Feb	4:30 p. m.	6-Feb	5:30 p.m.
Fallo del sensor de altura del cabezal	14-Feb	08:30 a.m.	14-Feb	10:30 a.m.
Cambio lente de protección inferior	15-Feb	12:00 p.m.	15-Feb	01:00 p.m.
Presencia polvo servomotores	20-Feb	3:00 p.m.	20-Feb	5:30 p.m.
Deterioro de manguera red neumática	28-Feb	4:00 p.m.	28-Feb	5:00 p.m.

 R&G MAQUINARIAS	REGISTRO DE FALLAS (Ficha recolección de datos)			
	Responsable	Supervisor JCL		Área de Corte Láser Instalaciones de R&G
MAQUINA DE CORTE CNC LASER PRIMALASER 1000W	Código	MPL1	Mes-Año	Febrero 2024
CAUSA DE PARADA DE LA MÁQUINA	PARADA		ARRANQUE	
	FECHA	HORA	FECHA	HORA
Falla en el compresor de la Chiller (enfriador de agua)	07-Feb	2:30 p.m.	07-Feb	5:30 p.m.
Avería del control remoto de la máquina	12-Feb	08:30 a.m.	12-Feb	09:30 a.m.
Fuga de agua de manguera de circulación rota	20-Feb	11:00 a.m.	20-Feb	1:00 p.m.
Cambio de mangueras desgastadas	22-Feb	08:00 a.m.	22-Feb	10:00 a.m.
Limpieza de filtros del acondicionador de cabina	22-Feb	4:30 p.m.	22-Feb	5:30 p.m.
Cambio del botón pulsador servo - pc	27-Feb	08:30 a.m.	27-Feb	10:30 a.m.

	REGISTRO DE FALLAS (Ficha recolección de datos)				
	Responsable	Supervisor JCL		Área de Corte Láser Instalaciones de R&G	
MAQUINA DE CORTE CNC LASER LEAPION 3000W	Código	MLL3		Mes-Año	Marzo 2024
CAUSA DE PARADA DE LA MÁQUINA	PARADA		ARRANQUE		
	FECHA	HORA	FECHA	HORA	
Cambio de pulsadores de emergencia	07-Mar	4:30 p.m.	07-Mar	5:30 p.m.	
Nivelación base de máquina	13-Mar	08:00 a.m.	13-Mar	10:00 a.m.	
Instalación de llave diferencial a la maquina láser y compresor.	19-Mar	3:00 p.m.	19-Mar	5:00 p.m.	
Alineamiento del cabezal	25-Mar	08:30 a.m.	25-Mar	09:30 a.m.	

	REGISTRO DE FALLAS (Ficha recolección de datos)				
	Responsable	Supervisor JCL		Área de Corte Láser Instalaciones de R&G	
MAQUINA DE CORTE CNC LASER PRIMALASER 1000W	Código	MPL1		Mes-Año	Marzo 2024
CAUSA DE PARADA DE LA MÁQUINA	PARADA		ARRANQUE		
	FECHA	HORA	FECHA	HORA	
Rotura del cable del sensor cabezal	04-Mar	2:00 p.m.	04-Mar	3:00 p.m.	
Limpieza de la mesa de corte por escoria	14-Mar	08:30 a.m.	14-Mar	11:30 a.m.	
Cambio de lente de protección	19-Mar	09:00 a.m.	19-Mar	10:00 a.m.	
Alineamiento del cabezal y limpieza	20-Mar	11:00 a.m.	20-Mar	12:00 a.m.	
Bloqueo corredera guía del eje transversal, desmontaje y lubricación	25-Mar	2:30 p.m.	25-Mar	4:30 p.m.	

	REGISTRO DE FALLAS (Ficha recolección de datos)				
	Responsable	Supervisor JCL		Área de Corte Láser Instalaciones de R&G	
MAQUINA DE CORTE CNC LASER LEAPION 3000W	Código	MLL3		Mes-Año	Abril 2024
CAUSA DE PARADA DE LA MÁQUINA	PARADA		ARRANQUE		
	FECHA	HORA	FECHA	HORA	
Defecto del teclado y mouse	05-abr	10:00 a.m.	05-abr	11:00 a.m.	
Cambio del lente superior y alineamiento	11-abr	11:00 a.m.	11-abr	1:00 p.m.	
Avería de interruptor termomagnético	16-abr	09:00 a.m.	16-abr	12:00 p.m.	
Colisión de boquilla, cerámica rota	25-abr	3:30 p.m.	25-abr	5:30 p.m.	

	REGISTRO DE FALLAS (Ficha recolección de datos)				
	Responsable	Supervisor JCL		Área de Corte Láser Instalaciones de R&G	
MAQUINA DE CORTE CNC LASER PRIMALASER 1000W	Código	MPL1		Mes-Año	Abril 2024
CAUSA DE PARADA DE LA MÁQUINA	PARADA		ARRANQUE		
	FECHA	HORA	FECHA	HORA	
Revisión y ubicación del desgaste en el cabezal láser	01-Abr	3:00 p.m.	01-Abr	4:00 p.m.	
Desmontaje del cabezal por fallas de corte	02-Ab	4:00 p.m.	02-Ab	5:30 p.m.	
Lubricación del gusano de desplazamiento vertical	03-Abr	08:00 a.m.	03-Abr	10:30 a.m.	
Desprendimiento de la carcasa lateral de la estructura	09-Abr	9:00 a.m.	09-Abr	11:00 a.m.	
Rotura y desgaste de cerámica del cabezal	15-Abr	10:00 a.m.	15-Abr	12:00 p.m.	
Falla sistema eléctrico, cambio de interruptores	26-Abr	3:00 p.m.	26-Abr	4:00 p.m.	

- **Levantamiento de los datos post prueba por semana.**

De los registros de fallas se levantó la siguiente tabla donde se detalló los registros de los indicadores del mantenimiento y donde se toma como referencia en los cálculos finales post pruebas.

PRIMALASER 1000W POST PRUEBA								
	HORAS OPER.	INTERV.	TIEMPO FALLA (min)	TIEMPO FALLA (h)	MTBF	MTTR	DISP	
	SEMANA 1	45	1	180	3	42.000	3.000	0.933
	SEMANA 2	47	1	60	1	46.000	1.000	0.979
	SEMANA 3	44	2	240	4	20.000	2.000	0.909
	SEMANA 4	45	1	120	2	43.000	2.000	0.956
FEB -	SEMANA 5	47	1	60	1	46.000	1.000	0.979
MAR -	SEMANA 6	45	1	180	3	42.000	3.000	0.933
ABR	SEMANA 7	46	2	120	2	22.000	1.000	0.957
	SEMANA 8	45	1	180	3	42.000	3.000	0.933
	SEMANA 9	44	2	240	4	20.000	2.000	0.909
	SEMANA 10	45	1	180	3	42.000	3.000	0.933
	SEMANA 11	45	1	180	3	42.000	3.000	0.933
	SEMANA 12	47	1	60	1	46.000	1.000	0.979

LEAPION 3000W POST PRUEBA

		HORAS OPER.	INTERV.	TIEMPO FALLA (min)	TIEMPO FALLA (h)	MTBF	MTTR	DISP
FEB - MAR - ABR	SEMANA 1	45	2	180	3	21.000	1.500	0.933
	SEMANA 2	44.5	2	210	3.5	20.500	1.750	0.921
	SEMANA 3	45	2	180	3	21.000	1.500	0.933
	SEMANA 4	47	1	60	1	46.000	1.000	0.979
	SEMANA 5	47	2	60	1	23.000	0.500	0.979
	SEMANA 6	46	1	120	2	44.000	2.000	0.957
	SEMANA 7	46	1	120	2	44.000	2.000	0.957
	SEMANA 8	47	1	60	1	46.000	1.000	0.979
	SEMANA 9	47	2	60	1	23.000	0.500	0.979
	SEMANA 10	46	1	120	2	44.000	2.000	0.957
	SEMANA 11	45	2	180	3	21.000	1.500	0.933
	SEMANA 12	46	2	120	2	22.000	1.000	0.957

ANEXO N° 6: Cálculo de la hipótesis general mediante software SPSS


Vista de datos para cálculo de hipótesis general

	MTBF_Pre	MTTR_Pre	Disp_Pre	MTBF_Pos	MTTR_Pos	Disp_Pos	var	var	var	var	var
1	24,00	6,00	,76	31,50	2,25	,93					
2	25,33	3,33	,86	33,25	1,38	,95					
3	20,00	2,00	,91	17,17	1,42	,92					
4	30,50	2,75	,92	44,50	1,50	,97					
5	31,00	8,50	,78	34,50	,75	,98					
6	18,25	2,88	,86	43,00	2,50	,95					
7	21,00	1,50	,93	22,00	1,00	,96					
8	40,50	3,75	,92	44,00	2,00	,96					
9	28,00	4,00	,88	18,17	,92	,94					
10	30,50	2,75	,91	43,00	2,50	,95					
11	37,00	5,50	,87	31,50	2,25	,93					
12	19,00	2,50	,88	34,00	1,00	,97					
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23											

Vista de variable para cálculo de hipótesis general

	Nombre	Tipo	Anchura	Decimales	Etiqueta	Valores	Perdidos	Columnas	Alineación	Medida	Rol
1	MTBF_Pre	Númerico	8	2	Confiabilidad Pre	Ninguna	Ninguna	9	Derecha	Escala	Entrada
2	MTTR_Pre	Númerico	8	2	Mantenibilidad ...	Ninguna	Ninguna	9	Derecha	Escala	Entrada
3	Disp_Pre	Númerico	8	2	Disponibilidad ...	Ninguna	Ninguna	8	Derecha	Escala	Entrada
4	MTBF_Pos	Númerico	8	2	Confiabilidad Pos	Ninguna	Ninguna	9	Derecha	Escala	Entrada
5	MTTR_Pos	Númerico	8	2	Mantenibilidad ...	Ninguna	Ninguna	9	Derecha	Escala	Entrada
6	Disp_Pos	Númerico	8	2	Disponibilidad ...	Ninguna	Ninguna	8	Derecha	Escala	Entrada
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											


ANEXO N°7: Información técnica de equipos.

 R&G MAQUINARIAS	FICHA TÉCNICA	Ficha	AL-ML01
	Máquina Láser Primalaser 1000W	Código	MPL1
		Ubicación: Área de Corte Láser	
DATOS GENERALES			
Marca		Peso	
PRIMALASER		4.35T	
Dimensiones		Año de Instalación	
4200x2400x1500mm		2020	
IMAGEN DE REFERENCIA			



Configuración Básica	Marca	Origen
Cuerpo principal de la máquina	Prima	China
Gabinete de operaciones CNC	Prima	China
Estructura de succión de polvo	Prima	China
Gabinete de aire acondicionado	Prima	China
Fibra láser	Raicus 1000W	China
Cabezal de corte por láser	Raytools	Swiss
Enfriador láser (Chiller)	S&A	China
Sistema CNC	Cypcut	China
THC Capacitivo	Cypcut	China
Servo Motor	FUJI	Japan
Mecanismo de Engranaje	YYC/nivel 6 de precisión	Taiwan
Guía lineal	Hiwin	Taiwan
Reductor de precisión	Neugar	German
Válvula proporcional	SMC	Japan
Válvula de alta presión	SMC	Japan
Piezas electrónicas	Schneider	France
Válvula de solenoide	SMC	Japan


Aire acondicionado	WINHENG	China
Software de corte	Cypcut	China
Software de ordenamiento	SmartNest	China
Parámetros de tecnología de la máquina		
Tamaño Máximo de Corte		3000x1500mm
Altura máxima de pieza de trabajo		90 mm
Extensión Efectiva	Eje X (mm)	3050
	Eje Y (mm)	1550
	Eje Z (mm)	100
Precisión Posicional	eje x (mm/m)	+ - 0.05/1000
	eje y (mm/m)	+ - 0.05/1000
	eje z (mm/m)	+ - 0.05/1000
Posicionamiento exacto en repetición	Eje X (mm)	0.01
	Eje Y (mm)	0.01
	Eje Z (mm)	0.005
Velocidad de posicionamiento máxima	Eje X (mm/min)	72
	Eje Y (mm/min)	72
	Eje Z (mm/min)	15
Velocidad máxima de corte		15
IPGrade		IP54
Consumo de energía de la máquina (kwh)		4.8

	FICHA TÉCNICA	Ficha	AL-ML03
		Código	MLL3
	Máquina Láser Leapion 3000W	Ubicación: Área de Corte Láser	
DATOS GENERALES			
Marca		Peso	
LEAPION 3000W		3.8T	
Dimensiones		Año de Instalación	
4420x2640x18300mm		2022	
IMAGEN DE REFERENCIA			



Configuración Básica	Marca
Sistema de Control	Japan Yaskawa Servo Motor
Fuente de fibra láser	Fuente láser MAX 3000W
Cabezal láser de fibra	Cabezal láser de enfoque automático BLT 421
Ajuste de altura	Ajustador de altura automático BSC 100
Válvula proporcional eléctrica	Válvula proporcional eléctrica SMC de Japón
Carriles guías	Rieles de Taiwan
Bastidor y engranaje	Bastidor y engranaje de Taiwan
Lubricación	Sistema de lubricación automática
Reductor de precisión	Francia motorreductor
Piezas electrónicas	Schneider
Enfriador (Chiller)	S&A CWFL - 3000
Voltaje	220V 3 fases 50 Hz / 60Hz
Estabilizador	50KVA
Transformador	80KVA
Área de Trabajo	3000x1500m
Longitud de onda láser	1080nm
Potencia del láser	3000W
Vida útil de la fuente de fibra	Mas de 10000 horas
Calidad del rayo láser	<0.373mrad
Tipo de posición	Punto Rojo

Carrera X/Y/Z	1520/3100/100 mm
Sistema de lubricación	motor
Consumo de energía	<13KW
Sistema de transmisión	Tipo doble cremallera - piñón
Gas auxiliar para sistema de corte	Oxígeno, nitrógeno y aire
Voltaje de la fuente de alimentación	380V/ 3fases/50Hz
Software Compatible	AutoCAD, CorelDraw

	FICHA TECNICA	Ficha	AL-ML02
		Código	MLL1
	Máquina Láser Leapion 1000W	Ubicación: Área de Corte Láser	
DATOS GENERALES			
Marca		Peso	
LEAPION 3000W		3.8T	
Dimensiones		Año de Instalación	
4420x2640x18300mm		2022	
IMAGEN DE REFERENCIA			



Configuración Básica	Marca
Sistema de Control	Japan Yaskawa Servo Motor
Fuente de fibra láser	Fuente láser MAX 1000W
Cabezal láser de fibra	Cabezal láser de enfoque semiautomático BLT 400
Ajuste de altura	Ajustador de altura semiautomático BSC 100
Válvula proporcional eléctrica	Válvula proporcional eléctrica SMC de Japón
Carriles guías	Rieles de Taiwan
Bastidor y engranaje	Bastidor y engranaje de Taiwan
Lubricación	Sistema de lubricación automática
Reductor de precisión	Francia motorreductor
Piezas electrónicas	Schneider
Enfriador (Chiller)	S&A CWFL - 1000
Voltaje	220V 3 fases 50 Hz / 60Hz
Estabilizador	50KVA
Transformador	80KVA
Área de Trabajo	3000x1500m
Longitud de onda láser	1080nm
Potencia del láser	3000W
Vida útil de la fuente de fibra	Mas de 10000 horas
Calidad del rayo láser	<0.373mrad
Tipo de posición	Punto Rojo

Carrera X/Y/Z	1520/3100/100 mm
Sistema de lubricación	motor
Consumo de energía	<13KW
Sistema de transmisión	Tipo doble cremallera - piñón
Gas auxiliar para sistema de corte	Oxígeno, nitrógeno y aire
Voltaje de la fuente de alimentación	380V/ 3fases/50Hz
Software Compatible	AutoCAD, CorelDraw

Componentes.

- **S & A Water Chiller**

Con excelente calidad y liderazgo de investigación, S & A se ha convertido en una empresa líder en la industria de refrigeración industrial de China.

- **Sistema de lubricación automática.**

Este accesorio de máquina se aplica para lubricar el riel de la máquina y el bloqueo en Ordene que se ejecute sin problemas y rápidos, mejorando la eficiencia de trabajo.

- **Fuente láser max**

Raycus / Max / IPG, varias marcas de opción múltiple, diferentes proyecciones láser están disponibles. El poder superior, el Espesor de corte más grueso.

- **Manual enfocando la cabeza láser-BT240S**

Función de recuperación de escala de enfoque cero para mantener un ajuste preciso de enfoque. Diseño integrado e interfaz de fibra QBH mejorada para evitar que se estuviera. Circuito de enfriamiento de doble agua a lente de colimación y lente de enfoque. Nivel a prueba de polvo IP65 con camino de haz totalmente cerrado para disminuir el riesgo de contaminación.

- **Fuji Servo Conductor**

Japón Fuji Dual Servo Drive System garantiza la estabilidad de trabajo y precisión. Asegura la exactitud de la máquina trabajando durante mucho tiempo.

- **Cabeza de láser Auto (BM109)**

Diseño modular con fácil mantenimiento. Circuitos de enfriamiento de agua dual. Enfoque automático para reducir la intervención humana y mejorar la perforación, la eficiencia de corte.

Clase IP65 a prueba de polvo, placa de cubierta de vidrio cubierta.

ANEXO N°8: Detalle programación del proceso

- Detalle de la programación del plan de mantenimiento preventivo

Este programa se basa en los requerimientos establecidos por la planificación de mantenimiento, exactamente en las actividades de mantenimientos requeridas según el manual del fabricante y el análisis de criticidad por sistemas.

Cód	Sistema	Actividad	Frecuencia (días)	Frecuencia	Semana 1							Semana 2							Semana 3							Semana 4						
					05 Feb - 11 Feb							12 Feb - 18 Feb							19 Feb - 25 Feb							26 Feb - 03 Mar						
					5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	1	2	3
					Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom
CL	Control	Comprobar desplazamiento a punto cero de las coordenadas del cabezal del láser.	7	Semanal	█							█								█												
CL	Control	Verificar que no haya inconvenientes en las conexiones externas cuando el equipo está en movimiento.	7	Semanal		█						█								█												
CL	Control	Comprobar velocidades de desplazamiento (FAST - STEP) para el	7	Semanal			█						█						█							█						

		posicionamiento del cabezal.				
EE	Eléctrico y Electrónico	Inspeccionar visualmente todas las conexiones eléctricas dentro del armario de control.	7	Semanal		
EE	Eléctrico y Electrónico	Limpiar exceso de polvo dentro del armario de control, brochas y trapos según requiera la situación	7	Semanal		
EE	Eléctrico y Electrónico	Inspeccionar visualmente que no haya inconvenientes que perjudiquen las conexiones eléctricas.	7	Semanal		
EE	Eléctrico y Electrónico	Comprobar el funcionamiento de las llaves termomagnéticas	30	Mensual		
EE	Eléctrico y Electrónico	Limpiar las conexiones electrónicas expuestas de los sistemas (transformador, Chiller, Estabilizador, etc.), esto mediante un aspirador industrial y brochas.	30	Mensual		
EE	Eléctrico y Electrónico	Realizar limpieza general del armario de control	30	Mensual		

		minuciosamente , no perjudicando conexiones internar							
NO	Neumático	Verificar el buen funcionamiento del regulador neumático eléctrico. Por medio del software.	7	Semanal					
NO	Neumático	Inspeccionar el nivel de refrigerante del compresor, y purgar el compresor.	7	Semanal					
NO	Neumático	Revisar que las mangueras o tuberías no estén picadas, descoloridas o dobladas.	30	Mensual					
NO	Neumático	Verificar el funcionamiento de los filtros, purgar los filtros.	30	Mensual					
NO	Neumático	Verificar fugas en acoples rápidos, tuberías, accesorios o válvulas.	30	Mensual					

Nro	Cód	Sistema	Actividad	Frecuencia (días)	Frecuencia	Semana 5							Semana 6							Semana 7							Semana 8						
						04 Mar - 10 Mar							11 Mar - 17 Mar							18 Mar - 24 Mar							25 Mar - 31 Mar						
						4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
						Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom
20	NO	Neumático	Reemplazar partes de la red neumática deteriorado (técnico especializado) y filtros de gas del sistema aire, oxígeno, nitrógeno.	180	Semestral	█																											
21	NO	Neumático	Revisar los componentes eléctricos y electrónicos del compresor.	180	Semestral																												
22	NO	Neumático	Mantenimiento del compresor según catálogo proporcionado de la marca	180	Semestral																												
23	MO	Mecánico	Inspeccionar posible rotura de la guarda de protección de los carros longitudinales y transversales.	7	Semana 1		█																										
24	MO	Mecánico	Revisar la base de apoyo del	7	Semana 1				█																								

			cabezal, ajustar de ser necesario			
	MO	Mecánico	Comprobar el estado de las cadenas de arrastre, reemplazar en caso de ser necesario.	30	Mensual	
	MO	Mecánico	Comprobar el estado de los servomotores , a través de las compuertas señaladas de la máquina.	30	Mensual	
	MO	Mecánico	Comprobar el estado del tornillo roscado del movimiento vertical del cabezal láser	30	Mensual	
28	MO	Mecánico	Inspeccionar visualmente el estado de las bases de apoyo de los servomotores , ajustar de ser necesario.	180	Semestr al	
29	MO	Mecánico	Comprobar el estado del piñón de ataque helicoidal del carro longitudinal ambos lados, reemplazar en caso de ser necesario.	180	Semestr al	

30	CE	Corte	Al cambiar lentes de protección verificar el ambiente esté libre de polvo y partículas metálicas	7	Semana I	
31	CE	Corte	Comprobar el centrado y alineación de la fibra láser	7	Semana I	
32	CE	Corte	Realizar la limpieza del polvo (metálico) en la fuente láser, verificar conexiones fuente - cabezal.	30	Mensual	
33	CE	Corte	Realizar limpieza del cabezal láser exterior, verificar la cerámica y limpiar si es necesario.	30	Mensual	
34	CE	Corte	Desmontar e inspeccionar los soportes del cabezal, ajustar y alinear.	30	Mensual	
35	CE	Corte	Inspeccionar el estado de los lentes de colimación, cambiar de ser necesario, en un ambiente libre de polvo.	30	Mensual	

36	CE	Corte	Reemplazar los elementos que presenten desgaste excesivo de la fuente láser y el cabezal láser.	180	Semestral	
37	RN	Refrigeración	Sopleteo del condensador, para evitar sobrecalentamiento.	7	Semana l	

Detalle de las actividades:

Programados (PR)	Son las actividades que están definidas de acuerdo a la planificación del mantenimiento
Ejecutados (E)	Actividades que se ejecutaron según la programación de mantenimiento.
Reprogramados (R)	Actividades que no se ejecutaron según la programación del mantenimiento por diferentes motivos, se reprograma para su posterior realización
No Ejecutados (N)	Actividades no ejecutadas según la programación, saltándose hasta la siguiente fecha de su ejecución.
Pendientes (P)	Actividades siguientes, después de ya ser ejecutados, por lo general, en software te avisa cuando este próximo la fecha de su realización.

ANEXO N°9: Actividades preventivas restantes

Actividades preventivas del sistema potencia	Frecuencia			
	Diario	Semanal	Mensual	Semestral
Comprobar el encendido del transformador y del estabilizador	X			
Inspeccionar la temperatura del estabilizador		X		
Limpieza del exterior de las carcasas tanto del estabilizador, como del transformador		X		
Inspección de las conexiones, bornes y llaves de los equipos de potencia			X	
Inspeccionar las conexiones a tierra de los equipos.			X	
Inspeccionar posibles corrosiones o defectos en las bases de los equipos de potencia				X
Realizar mantenimiento del estabilizador y transformador. Asistencia técnica especializada.				X

ANEXO N°10: Manual del cabezal láser Raytools

All manuals and user guides at all-guides.com



BM114 SERIES 6KW Laser Cutting Head User Manual

4.2 The Focus Position Adjustment

BM114 is equipped with automated focusing system. But it still need dot manually to redecide the focus position when it reset of replacement of lenses, lasers. For details about operating system parameters, please refer to the system instructions.

Manual focus can refer to the following steps:

1. The laser head scale is displayed to the maximum, and the laser power range is set to 80-100w;
2. Then, within each moving 0.5mm (as small as possible), open a laser hole on the textured paper;
3. Drilling several times, finally compare and find out the scale corresponding to the smallest hole is zero coke, that is, the focus is just at the end of the nozzle section.

5 Maintenance

5.1 Cleaning Lens

It's necessary to maintain lenses regularly because of the characteristic of laser cutting process. Once a weak cleaning the protective lenses is recommended. The collimating lenses and focusing lenses are recommended to clean once every 2~3 months. In order to facilitate the maintenance of the protective lens, the protective lens holder adopts a drawer type structure. (Figure 6.1)

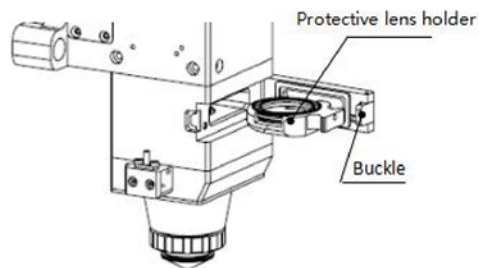


Figure 6.1 — Take out protective lens

Lens cleaning

a. Tools: Dust-proof gloves or finger stall, long fiber cotton stick, ethanol, rubber gas blowing.

b. Cleaning instruction:

1. The left thumb and index finger with fingertip;
2. Spray ethanol onto the absorbent cotton stick
3. Hold the slide edge of the lens with left thumb and index finger gently.(note: avoid the fingertip touching

the surface of the lens)

- Put the lens facing to eyes, hold the absorbent cotton stick with the left hand. Wipe the lens gently in single direction, from bottom to top or from left to right, (Should not be able to wipe back and forth, so as not to secondary pollution of the lens)and use rubber blowing to sway the surface of the lens. Both sides should be cleaned. After cleaning, make sure that there is no residual: detergent, absorbent cotton, foreign matter and impurities.

5.2 Removal and Installation of Lenses

The whole process needs to be completed in a clean place. Wear dust-proof gloves or fingertips when removing or installing the lenses.

5.2.1 Removal and Installation of Collimating Protective Lenses

The protective lens are a fragile part and need to be replaced after damage.

- As shown in Figure 6.1, open the buckle, open the cover of protective lens, pinch the two sides of the drawer-type lens holder and pull out the base of protective lens;
- Remove the pressure washer of the protective lens , remove the lens after wearing fingertips
- Clean the lens, lens holder and seal ring. The elastic seal ring should be replaced if damaged.
- Install the new cleaned lens (Regardless of the positive or negative side) into the drawer type lens holder.
- Put the pressure washer of the protective lens back.
- Insert the protective lens holder back to the laser processing head, cover the lid of the protective lens and fasten the buckle.

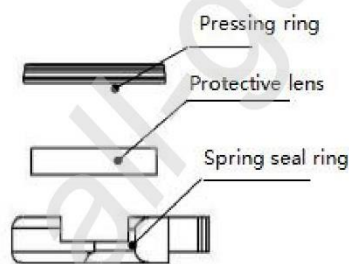


Figure 6.2 — Structure of protective lens

5.2.2 Removal and Installation of Collimating Lenses

The collimating protective lenses are a fragile part and need to be replaced after damage.

- Use a 2.5mm inner hexagon spanner to unscrew the screw of collimating protective lens (as shown in figure 6.3);

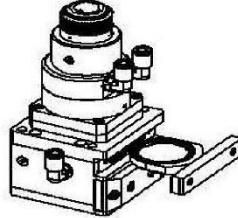


Figure 6.3 — Take out collimating protective lens

- Remove the gland of collimating protective lens, pinch the two sides of the drawer-type lens holder and pull out the base of protective lens;
- Seal the part connected with the components of collimating protective lens with textured paper so as to prevent the entry of dust;
- Wear the fingerstall and take out the lens;
- Clean the lenses, lens holder and seal rings, for example, replace a new one for the damaged elastic seal ring;
- Install the new lens (regardless of the front and back sides) wiped clean into the drawer-type lens holder;
- Re-install the seal ring;
- Re-insert the collimating protective lens holder to the laser processing head, cover the lid of collimating protective lens and tighten the locking screw.



Note: It is not allowed to directly pull out of the edge of the elastic seal ring, which will damage the elastic seal ring very easily.

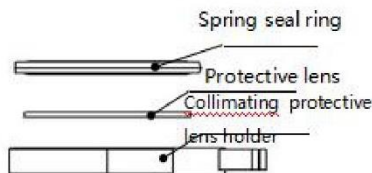


Figure 6.4 — Structure of collimating protective lens

5.2.3 Removal and Installation of Collimating Lenses

- Removal and installation of collimating lenses refer to the following steps:
- Remove the laser head and move to a clean place. Clean all dust on the laser head surface;
- Use a 3mm internal hexagonal wrench to unscrew the locking screws of the collimating components (as shown in Figure 6.5), seal the part connected with the components of collimating components with

textured paper so as to prevent the entry of dust;

- Screw out the collimating lens holder, and remove the spring compression ring and collimator lens with the lens-removing tools;
- Replace or clean the collimating lenses.
- As shown in Figure 6.6, reassemble the components of collimating lens in order, pay attention to screw the spring compression ring appropriately with force, and re-screw it into the collimating components;
- Lock the screws of the collimating components;
- Check whether the focus position is in the center of the nozzle hole before use, if it is not in the center, it is necessary to carry out center-regulating operation again.

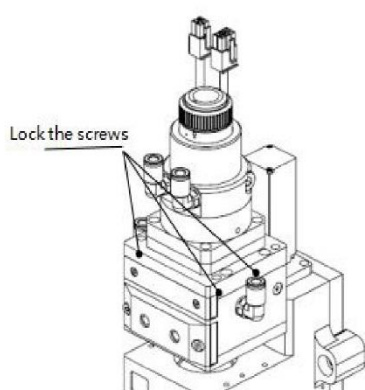


Figure 6.5 — Dismantle components

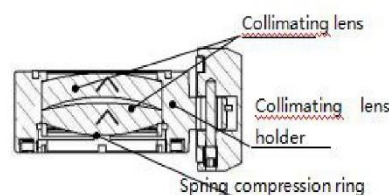


Figure 6.6 — Installation diagram of collimating lens

5.2.4 Removal and Installation of Focus Lenses

- Removal and installation of focus lenses refer to the following steps:
- Remove the laser head and move to a clean place. Clean all dust on the laser head surface;
- Place the laser head horizontally. As shown in Figure 6.7, remove the locking screws from bottom to top;

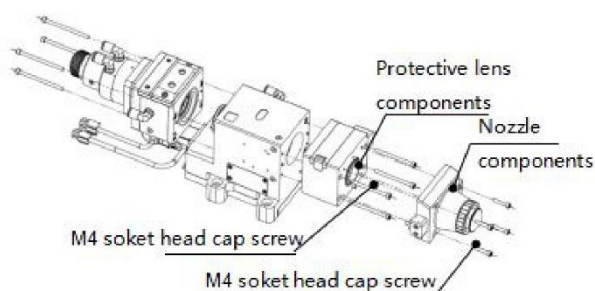


Figure 6.7 — Framing

- As shown in figure 6.8, use a lens-taking tool to remove the focus lens holder;

- Remove the spring pressure washer and lens with a lens taking tool;
- Replace or clean the focus lens.
- As the direction (arrow) shown in figure 6.9, put the focusing lens and the spring pressure washer in the lens holder carefully and tighten the pressure washer properly;
- Spin the focus lens holder back to focus lens barrel and tighten it;
- As the sequence shown in figure 6.7, reassemble and lock the screw.
- Check if the focus position is at the center of nozzle. If not, you need to refer to the 3.1 step to reset the operation.

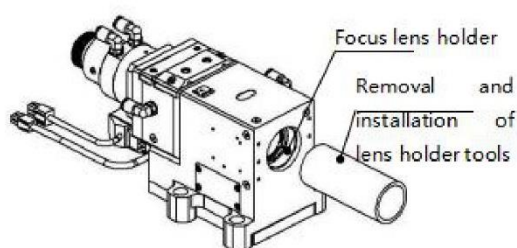


Figure 6.8 — Removal and installation of focus lens

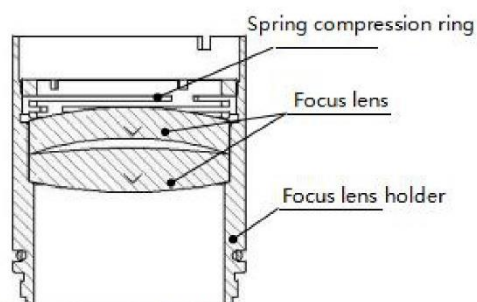


Figure 6.9 — Installation diagram of focus lens

5.3 Replace Nozzle Connector

In the laser cutting process, the laser head will inevitably be hit, so it is necessary to replace the nozzle connectors.

5.3.1 Replace Ceramic Body

- Unscrew the nozzle;
- Press the ceramic body with hands, make it fixed and not oblique, and then screw off the pressing sleeve;
- Align the pin hole of the new ceramic body with 2 locating pins, press the ceramic body with the hand and screw on the pressuring sleeve;
- Screw on the nozzle and tighten it with appropriate strength.

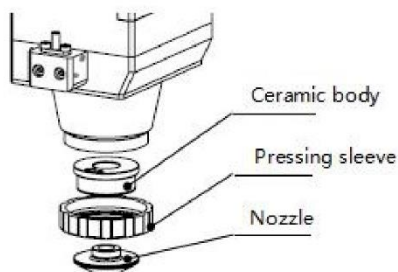


Figure 7.0 — Replace the nozzle connector

5.3.2 Replace Nozzle

- Unscrew the nozzle
- Replace with a new nozzle, and re-tighten it with appropriate force.
- Do the capacitance calibration once again after replacing the nozzle or ceramic body.

5.4 Troubleshooting of Driver

5.4.1 Fault Analysis of AheadTechs Driver

FB3

Definition	Communication failure
Failure description	The connection between the driver and the host computer is disconnected
Measures to be taken	Insert and extract the network cable between the driver and the host computer again

J1

Definition	Position error is out of range
Failure description	Motor locked-rotor or the motor is out of range
Measures to be taken	Power on the driver again and move in the opposite direction; or increase the tolerance range of the position error.

r6

Definition	Hall signal is illegal
Failure description	The driver cannot detect the Hall signal
Measures to be taken	Check whether Hall signal lines are connected correctly, rotate the motor, read the Hall state code to see which Hall signal is not connected; check whether the encoder is poorly contacted, if the contact is perfect, add the anti-interference magnet ring.

ANEXO N°11: Manual del enfriador de agua Hanli Chiller (mantenimiento)

2. Tipo SF2165 de 220V temperatura dual



Interfaz común

La interfaz común incluye la interfaz principal y la interfaz de alarma. La interfaz de los diferentes modelos se muestra en la siguiente tabla.

	EN ESPERA		FUNCIONAMIENTO NORMAL		ALARMA	
Modelo de temperatura única	PV 20.5 °C		PV 20.5 °C		PV 20.5 °C	
	SV 20.0 °C		SV 20.0 °C		SV 20.0 °C	
	ESTADO: PARE NORMAL		ESTADO: MOVIMIENTO NORMAL		ESTADO: PARE ERROR	
Modelo de doble temperatura	Agua de enfriamiento	Temperatura del agua normal	Agua de enfriamiento	Temperatura del agua normal	Agua de enfriamiento	Temperatura del agua normal
	PV 20.5°C	25.5°C	PV 20.5°C	25.5°C	PV 20.5°C	25.5°C
	SV 20.0°C	25.0°C	SV 20.0°C	25.0°C	SV 20.0°C	25.0°C
	ESTADO: PARE NORMAL		ESTADO: MOVIMIENTO NORMAL		ESTADO: PARE ERROR	

[Nota 1]: La temperatura mostrada en la interfaz principal SV es la temperatura objetivo. Es decir, el valor de visualización del modo de temperatura constante es el valor establecido de temperatura, y el valor de visualización del modo coherente a temperatura ambiente es la temperatura ambiente + la misma diferencia de temperatura.

[Nota 2]: Si el modo de control de temperatura es "coherencia de la temperatura ambiente", el valor de visualización de SV correspondiente va precedido por una marca "*".

6. ANÁLISIS Y ELIMINACIÓN DE FALLAS COMUNES DEL EQUIPO

6.1 Sin respuesta después de conectado a la electricidad

1. Revisar el interruptor (ver imagen)



El izquierdo es el interruptor de parada de emergencia, presione para desconectar.

En el medio hay un botón de metal, presione para cerrar.

A la derecha, la fuga está abierta, empuje hacia arriba para cerrar (Desconecte automáticamente el manual después de empujarlo hacia arriba: 1. La corriente de la máquina es demasiado grande, puede haber un cortocircuito dentro del dispositivo. 2. La máquina puede tener fugas).

2. Secuencia de fase es incorrecta:

Las luces de arriba y abajo no encienden	La máquina no tiene corriente
Solo prende una	Si hay una falta de fase, compruebe si la fuente de alimentación está conectada correctamente a la fase incorrecta.
Ambas luces están encendidas	Electrificada normalmente



6.2 La bomba no manda agua o tiene baja presión.

1. El agua en el tanque de agua no es suficiente, el nivel de líquido en el tanque de agua debe fluir sobre el nivel de agua del flotador.
2. El canal impulsor o el filtro de agua está obstruido,
3. Hay aire en la bomba, consulte 3.2 Instrucciones de ventilación de la bomba



6.3 Flujo de la bomba insuficiente

- 1) Como se muestra arriba el Interruptor de flujo (izquierda y derecha)
- 2) El interruptor de flujo es el componente de monitoreo en el circuito del sistema de circulación de agua. El rojo al frente es el interruptor de flujo mecánico, que puede ajustar manualmente el caudal. El interruptor de flujo electrónico en la parte posterior no se puede ajustar manualmente el valor de la alarma de flujo.
- 3) Si se genera una alarma:
 1. La resistencia al flujo es demasiado grande, la resistencia de la tubería es más alta que la capacidad de la bomba hay que ajustar la tubería. 2. El conducto de la bomba está parcialmente bloqueado, y la bomba, el filtro de agua y las tuberías deben limpiarse. Si el flujo de agua es insuficiente y el interruptor funciona, compruebe la causa de la escasez y si la bomba está vacía.
- 4) El filtro se muestra a continuación: Si la calidad del agua está demasiado sucia, los dos filtros afectarán el flujo de agua después del uso del agua purificada, la presión, y deben reemplazarse y limpiarse regularmente.
- 5) Solucione el problema del termostato o reemplace el termostato.



6.4 El ruido de la bomba es demasiado grande

- 1) El cojinete de la bomba necesita ser reemplazado si está dañado.
- 2) La bomba está sobrecargada y los tubos y válvulas están ajustados.

6.5 La prensa no arranca o para repentinamente durante la operación (la luz de sobrecarga del termostato está encendida)

- 1) Compruebe si el controlador de temperatura no está configurado correctamente, y reinicie el valor de temperatura.
- 2) Protección térmica dentro de la prensa, verifique el entorno de intercambio de calor y elimine el factor de sobrecalentamiento.
- 3) Si la presión de la prensa (220V) es mala reemplace el condensador.

6.6 La prensa no arranca o en su funcionamiento normal se detiene repentinamente (La luz de sobrecarga está encendida)

- 1) Si el control de bajo voltaje no está configurado correctamente, reinicie el valor de bajo voltaje (vea cuatro, configuración de control de voltaje).
- 2) El controlador de alto voltaje está activado (puede ser debido a una temperatura ambiente demasiado alta), Protección contra baja presión: falta de refrigerante, compruebe si hay fugas, Después de la eliminación, se inyecta el refrigerante correspondiente.
- 3) Protección de alto voltaje: Si el condensador está sucio por favor realice la correspondiente limpieza.

Si el ventilador de condensación está roto, es necesario verificar el circuito de control. Después de ser arreglado, presione el botón rojo del controlador para reiniciar.

- 4) Si el circuito de refrigeración está bloqueado o tiene fugas, consulte a un profesional.
- 5) (Foto a la derecha) si esta activada la acción de protección contra sobre corriente, primero averigüe la causa, luego ajuste a la normalidad, y presione el botón "rest" (botón verde).
- 6) El termostato está defectuoso, verifique o reemplace el termostato.



6.7 El indicador de nivel de agua está encendido durante la operación, alarma de timbre

- 1) El nivel del tanque de agua es insuficiente, y el líquido debe fluir sobre el flotador de nivel de agua.
- 2) Si existe una posición incorrecta de la sonda de nivel de agua o el flotador está atascado, por favor ajuste la sonda y el flotador.
- 3) Si el termostato está defectuoso, repare o reemplace el termostato.

6.8 Capacidad de enfriamiento es insuficiente

- 1) puede que la válvula de expansión este demasiado abierta o demasiado cerrada. La válvula de expansión actúa con una presión de cierre en el sistema de refrigeración: El método de ajuste es el que se muestra en la figura. En el sentido de las agujas del reloj es para reducir, y a la izquierda de la dirección de la aguja es para abrir.
- 2) Si el nivel de refrigerante es insuficiente o excesivo, por favor ajústelo a un valor razonable.
- 3) Si el sistema contiene aire, por favor re-evacuar y agregar de nuevo el refrigerante.
- 4) El circuito de refrigeración está sucio, averigüe la causa y elimine la falla.
- 5) Un evaporador (incluida la placa) debe estar sucia, por favor hacer la correspondiente limpieza.

6) El condensador está demasiado sucio por polvo, por favor limpiar el condensador.

El condensador actúa como un disipador de calor en el sistema de refrigeración. Si no se limpia en cualquier momento afectará el funcionamiento normal del equipo. Para hacerle limpieza al condensador primero debe saber cómo están dispuestas las hojas de calor del ventilador. Use un cepillo suave para quitar el polvo u otra suciedad en la dirección del ventilador. El uso de aire (no se puede tener demasiada presión) como se muestra arriba, se puede subir y bajar para limpiar, hasta que pueda ver la luz opuesta a través del condensador.

7) El ventilador del condensador está defectuoso y debe proceder a su reparación o reemplazo.

8) hay una fuga de refrigerante, compruebe donde están las fugas, y agregar refrigerante después de corregido el daño (Por favor, operar bajo la dirección de un profesional).



VÁLVULA DE EXPANSIÓN

GIRAR EN EL SENTIDO DE LAS AGUJAS DEL RELOJ

CONDENSADOR

6.9 La temperatura de escape de aire es demasiado alta

- 1) Si el condensador está sucio y la potencia del ventilador no es suficiente, limpie el condensador, repare o reemplace el ventilador.
- 2) El sistema de refrigeración contiene demasiado aire, por favor re-evacuar y agregar refrigerante.
- 3) El aislamiento del tubo criogénico está dañado, por favor reparar la capa aislante.
- 4) La carga térmica es demasiado grande y supera el diseño. Utilícela de acuerdo con los requisitos de diseño.
- 5) La temperatura del ambiente es extremadamente alta, por favor mejore el ambiente para su uso.

6.10 La máquina siempre está refrigerada (HD)

- 1) La sonda de control de temperatura es anormal, usa un multímetro para medir la resistencia entre las sondas. $5K\Omega$ a $25^\circ C$.
- 2) La válvula solenoide es succionada, la figura de arriba muestra la válvula solenoide.
- 3) Para los sistemas de refrigeración de alta definición, la función del compresor debe mantenerse, cortocircuito en el sistema de refrigeración, (Solo cuando el sistema de refrigeración no se está enfriando. Compruebe si es normal, solo use la imagen como se muestra. Use una herramienta de metal en la parte superior para sentir la succión. La temperatura en ambos extremos de la válvula solenoide debe ser la misma después de la operación normal. De lo contrario, la válvula de solenoide funcionará mal. Puede comprobar el circuito, Compruebe la alimentación de la bobina de la válvula solenoide, Si ambos son normales o no hay bobina, es culpa de la bobina; Si hay una bobina, es una falla del cuerpo de la válvula solenoide).



ANEXO N° 12: Costo de la implementación del plan de mantenimiento

Se considero el abastecimiento de materiales y repuestos en el almacén durante la implementación, produciendo la mejora en la reducción en los procesos de trabajo. Los activos fueron considerados de acuerdo con los elementos que han fallado con mayor frecuencia, también los consumibles necesarios para el desarrollo del mantenimiento de las máquinas de corte láser.

Se muestra la siguiente tabla, el costo del plan de mantenimiento durante la implementación en el tiempo de 3 meses. Se detalla costo de los consumibles, repuestos, útiles de escritorio y por último el costo de la capacitación.

Consumibles para las máquinas láser	Cantidad	Precio unitario	Importe (soles)
Mangueras transp. 3/8", 50m.	01	S/. 100	S/. 100
Mangueras transp. 1/4", 50m.	01	S/. 50	S/. 50
Grasa Multipropósitos	05	S/. 40	S/. 200
Paños para lentes	03	S/. 20	S/. 60
Líquido para óptica	01	S/. 25	S/. 25
Brochas	02	S/. 50	S/100
Cepillos de alambre	02	S/. 15	S/. 30
Aceite hidráulico	01	S/. 450	S/. 450
Cinta aislante	05	S/. 40	S/. 40
Trapo industrial 40kg	01	S/. 320	S/. 320
Cables elect. 8 AWG 100m.	01	S/. 200	S/. 200
Escobillas	01	S/. 35	S/. 35
1 juego de llave Allen (mm)	01	S/. 70	S/. 70
Agua purificada 6lt	05	S/. 16	S/. 80
Afloja todo	02	S/. 25	S/. 50
Limpia contacto	02	S/. 15	S/. 30
Solvente Dieléctrico	04	S/. 50	S/. 200
SUB TOTAL			S/. 2040

Abastecimiento de repuestos	Cantidad	Precio unitario	Importe (Soles)
Sensor de altura cabezal	02	S/. 50	S/. 100
Abrazaderas fijador sin fin – 3/8”	06	S/. 5	S/. 30
Pulsador servo - pc	02	S/. 40	S/. 80
Lentes de protección	10	S/. 50	S/. 500
Lentes focales / colimación	04	S/. 312	S/. 1250
Adaptadores de manguera	06	S/. 10	S/. 60
Pulsador de parado de emerg.	01	S/. 40	S/. 40
Boquilla simple cabezal	08	S/. 25	S/. 200
Boquilla doble cabezal	08	S/. 31	S/. 248
Interruptor termomagnético	01	S/. 120	S/. 120
Manómetro oxígeno	02	S/. 180	S/. 360
Manómetro nitrógeno	01	S/. 340	S/. 340
Cerámicas láser	03	S/. 50	S/. 150
Pilas alcalinas AA (8u)	01	S/. 24	S/. 24
Cable sensor láser fibra	02	S/. 25	S/. 50
Bornera tipo cuchilla	01	S/. 35	S/. 35
Llave diferencial	01	S/. 140	S/. 140
Teclado bluetooth - Logitech	01	S/. 80	S/. 80
SUB TOTAL			S/. 3807

Materiales implementación	Cantidad	Precio unitario	Importe (Soles)
Hoja bond A4 (Millar)	02	S/. 15	S/. 30
Impresiones de formatos	12	S/. 4	S/. 48
Impresión de manuales	03	S/. 20	S/. 60
Útiles de escritorio	01	S/. 200	S/. 200
Micas (paquete)	01	S/. 20	S/. 20
Señalizaciones y letreros	10	S/. 12	S/. 120
SUB TOTAL			S/. 478

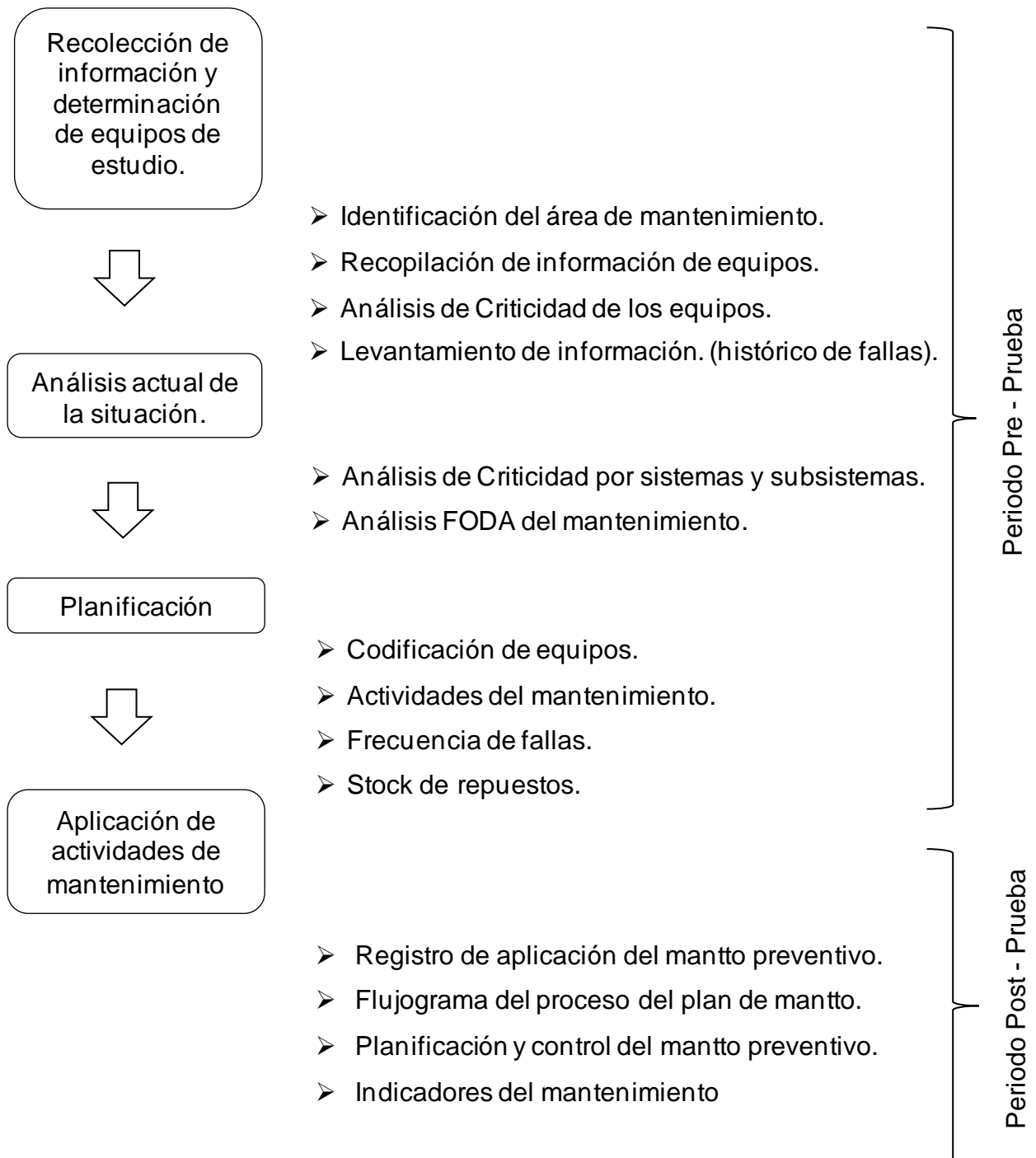
Con la finalidad que el personal técnico pueda resolver los problemas de las máquinas, sin la necesidad de poder llamar o requerir el servicio de los fabricantes ya que esto genera un costo elevado, en fallas puntuales. La capacitación lo recibió un técnico electricista, técnico mecánico y los operadores de las máquinas. Los costos de capacitación se muestran en la siguiente tabla:

Costo de capacitación	Cantidad	Precio unitario	Importe (Soles)
Material para pruebas de corte (diferentes materiales)	01	S/. 350	S/. 350
Capacitación técnicos y operarios de corte (horas)	12	S/. 265	S/. 3200
Supervisor de mantenimiento (semanas)	12	S/.400	S/. 4800
Personal capacitado viáticos (horas)	12	S/40	S/. 480
SUB TOTAL			S/. 8830

Resumen de costo de la implementación del plan de mantenimiento preventivo	Subtotal
Consumibles para las máquinas láser	S/ 2040
Abastecimiento de repuestos	S/. 3807
Materiales implementación	S/. 478
Costo de capacitación	S/. 8830
TOTAL	S/. 15155

ANEXO N° 13: Detalle de etapas de la implementación del plan de mantenimiento preventivo

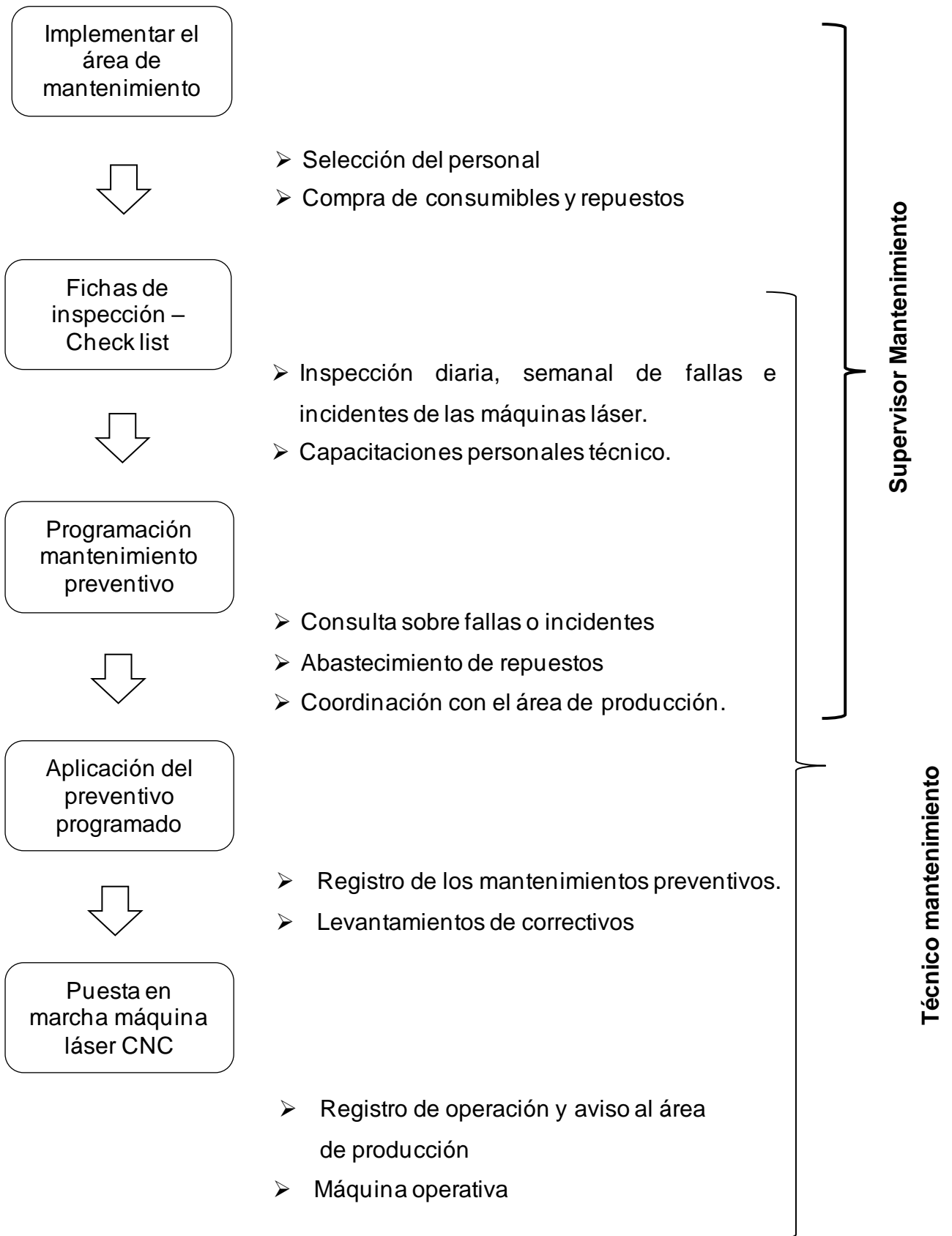
Las etapas de la implementación se encuentran desarrollado en el capítulo 4.6 de análisis y procesamiento de datos, detallada las subetapas que lo conforma. En el siguiente cuadro, se observa a manera de resumen todas las actividades desarrolladas durante la implementación.



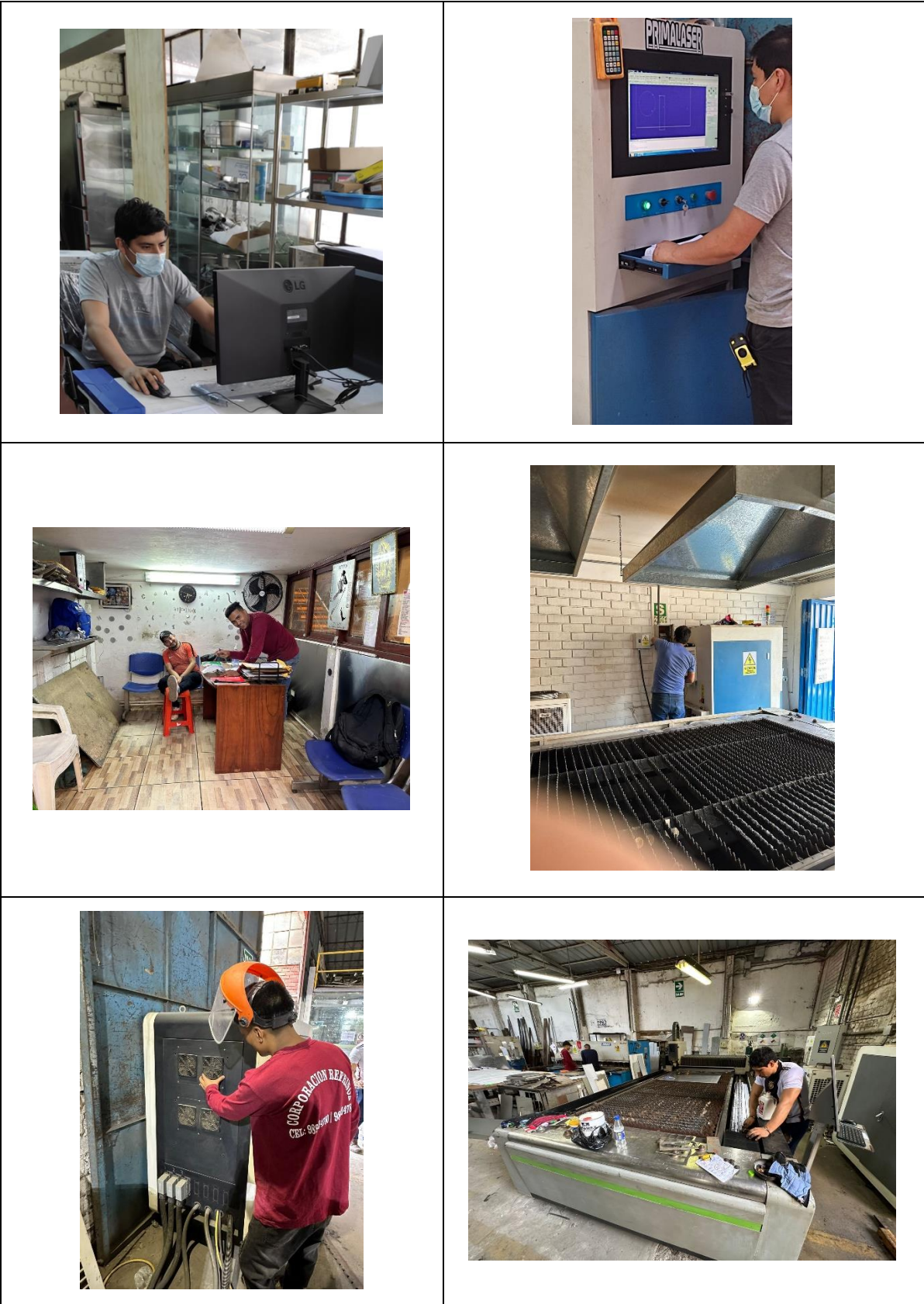
ETAPAS DE IMPLEMENTACIÓN	Pre prueba					
	Noviembre				Diciembre	
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6
1. Recolección de información y determinación de equipos de estudio.						
1.1 Identificación del área de mantenimiento.						
1.1.1 Reconocimiento de las áreas de mantenimiento	■					
1.2 Recopilación de información de equipos.						
1.2.1 Recopilación de manuales	■	■				
1.2.2 Elaboración de datos de identificación		■	■			
1.3 Análisis de criticidad de los equipos						
1.3.1 Identificación de máquinas críticas			■			
1.3.2 Elaboración de matriz de criticidad			■	■		
1.4 Levantamiento de información						
1.4.1 Elaboración de registros iniciales				■		
2. Análisis actual de la situación						
2.1 Análisis FODA del mantenimiento						
2.1.1 Recopilación de información				■		
2.1.2 Elaboración de formato FODA				■		
2.2 Análisis criticidad del mantenimiento						
2.2.1 Recopilación de información					■	
2.2.2 Matriz de criticidad por sistemas					■	■

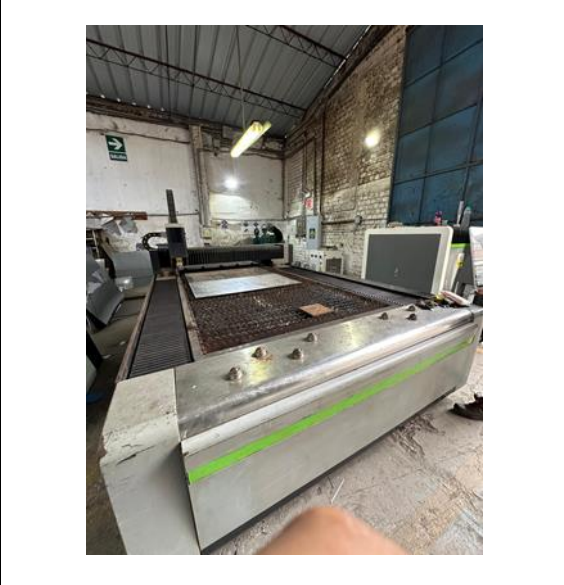
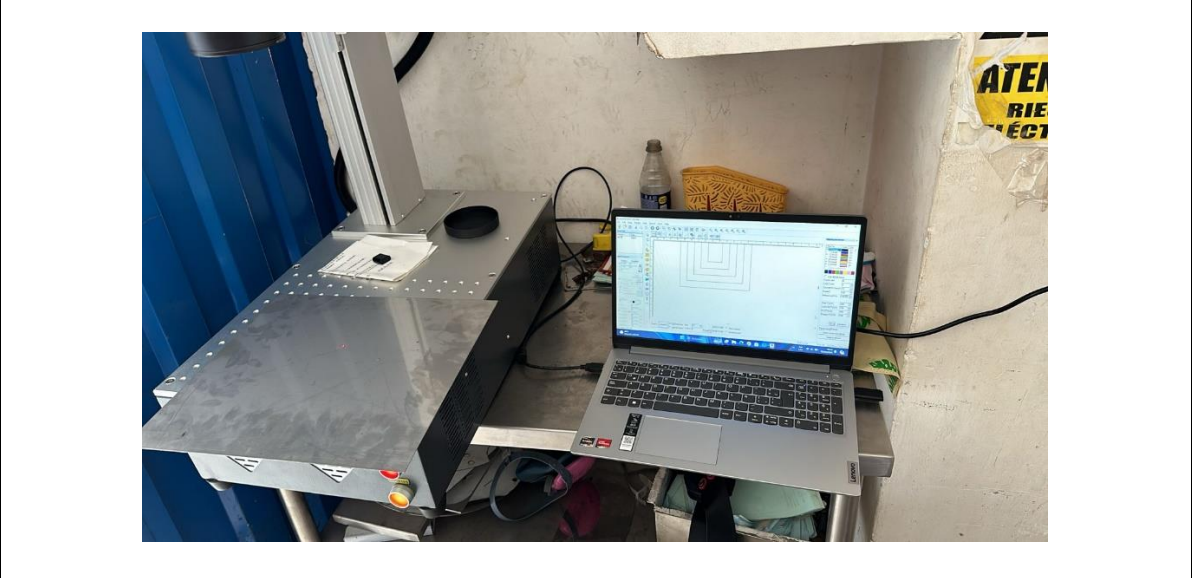
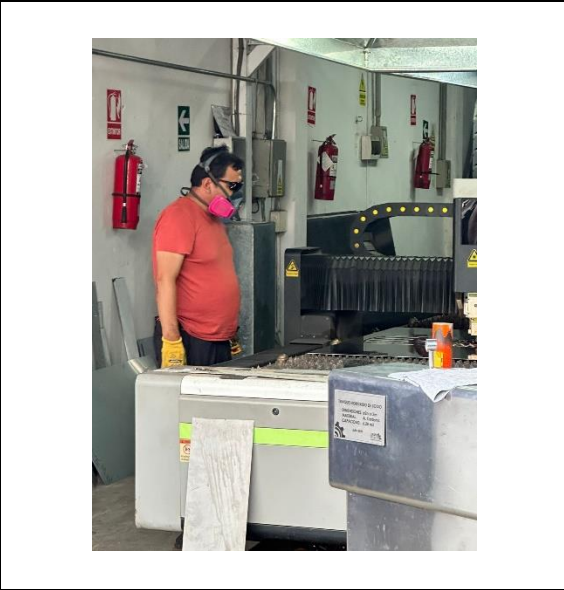
ETAPAS DE IMPLEMENTACIÓN	Diciembre		Enero			
	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12
3. Planificación						
3.1 Codificación de los equipos						
3.1.1 Recopilación de información						
3.1.2 Formato de codificación por máquinas						
3.1.3 Codificación por sistemas y subsistemas						
3.2 Actividades de mantenimiento						
3.2.1 Recopilación de manuales						
3.2.2 Elaboración de formatos						
3.2.3 Mediciones de frecuencias						
3.3 Registro del mantenimiento						
3.3.1 Recopilación de manuales						
3.3.2 Elaboración de formato						
3.4 Ocurrencias de fallas						
3.4.1 Recopilación de manuales						
3.4.2 Elaboración de formato						
3.5 Stock de repuestos						
3.5.1 Recopilación en base al historial de fallas						
3.5.2 Elaboración de formatos						
4. Aplicación de las actividades de mantenimiento						
4.1 Registro de aplicación de mantenimiento preventivo						Post prueba
4.2 Indicadores de mantenimiento						Post Prueba

- **Diagrama programación del mantenimiento preventivo**



ANEXO N° 14: Imágenes área de mantenimiento de la empresa





ANEXO N° 15: Imágenes de cortes producido por las máquinas de corte

