

**UNIVERSIDAD CENTRAL
VICERRECTORÍA ACADÉMICA**

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO
MEDIANTE METODOLOGÍA DMAIC PARA EL PROCESO DE
MANUFACTURA DE LOS TORNOS Y LAS FRESADORAS DEL
ÁREA DE PRECISIÓN DE LA EMPRESA TALLER INDUSTRIAL
FAMIR DE ALAJUELA PARA OPTIMIZAR SU
DISPONIBILIDAD PARA LA PRODUCCIÓN**

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD DE TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO
ACADÉMICO DE BACHILLERATO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

ESTUDIANTE: DIEGO ARIAS MURILLO

TUTOR: ING. GERMAN ANDRÉS BRENES VALLADARES

SEDE METROPOLITANA, COSTA RICA

ABRIL, 2025

CONTENIDO

DECLARACIÓN JURADA	I
CÉDULA DE IDENTIDAD	III
SOLICITUD DE DEFENSA	IV
CARTA DE APROBACIÓN DEL TUTOR	VII
CARTA DE AUTORIZACIÓN DEL LECTOR	VIII
CERTIFICADO DEL FILÓLOGO	IX
CARTA DE ENTENDIMIENTO	X
CONTENIDO	XII
TABLAS	XVI
FIGURAS	XIX
DEDICATORIA.....	XXI
AGRADECIMIENTOS	XXII
EPÍGRAFE	XXIII
RESUMEN.....	XXIV
CAPÍTULO I. PROBLEMA.....	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2 OBJETIVOS	3
1.2.1 <i>Objetivo general</i>	3
1.2.2 <i>Objetivos específicos</i>	3
1.3 JUSTIFICACIÓN	3
1.4 ANTECEDENTES	4
1.4.1 <i>Antecedentes nacionales</i>	4
1.4.2 <i>Antecedentes internacionales</i>	7
1.5 PROYECCIONES.....	9

1.5.1 Alcances	9
1.5.2 Limitaciones	9
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	11
2.1 HERRAMIENTAS INGENIERILES	12
2.2 IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA	26
2.2.1 Visión / Misión	26
2.2.2 Antecedentes históricos	26
2.2.3 Ubicación geográfica.....	27
2.2.4 Estructura organizacional.....	27
2.2.5 Cantidad de colaboradores	29
2.2.6 Tipos de productos.....	29
2.2.7 Descripción general del proceso productivo	30
2.2.8 Áreas productivas	31
2.2.9 Caracterización de los tornos y fresadoras del área de precisión	32
2.2.10 Análisis actual de mantenimiento.....	35
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO	36
3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	37
3.2 MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN	38
3.3 FUENTES DE INFORMACIÓN.....	42
3.3.1 Sujetos de información.....	43
3.4 VARIABLES DE ANÁLISIS	43
3.5 INSTRUMENTOS.....	46
3.6 PROCESO PARA LA RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS	46
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	48
4.1 DEFINIR	49
4.1.1 Análisis de Stakeholders.....	49
4.1.2 Diagrama SIPOC	51
4.1.3 Diagrama de flujo.....	52
4.1.4 Análisis FODA.....	55
4.2 MEDIR.....	57

4.2.1	<i>Recolección de datos</i>	57
4.2.2	<i>Gráficos de control</i>	61
4.3	ANALIZAR	64
4.3.1	<i>Entrevistas</i>	64
4.3.2	<i>Técnica de trabajo grupal (lluvia de ideas)</i>	72
4.3.3	<i>Análisis de causa y efecto (diagrama de Ishikawa)</i>	76
4.3.4	<i>Valor de las causas (multivoto)</i>	80
4.3.5	<i>Causas críticas (diagrama de Pareto)</i>	83
	CAPÍTULO V. PROPUESTA	85
5.1	MEJORAR	86
5.1.1	<i>Elección de técnicas del plan de mantenimiento preventivo</i>	86
5.1.2	<i>Análisis de modo y efecto de falla (AMEF)</i>	96
5.1.3	<i>Actividades de mantenimiento preventivo</i>	104
5.1.4	<i>Plan de capacitación técnica</i>	117
5.1.5	<i>Propuestas Kaizen</i>	129
5.2	CONTROLAR	131
5.2.1	<i>Indicadores de mantenimiento KPI)</i>	131
5.2.3	<i>Análisis de costos</i>	136
5.2.6	<i>Retorno sobre la inversión (ROI)</i>	147
5.2.7	<i>Método de ruta crítica (CPM)</i>	148
5.2.7	<i>Diagrama de Gantt</i>	151
5.2.8	<i>Análisis ambiental del plan de mantenimiento</i>	153
	CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	166
	CONCLUSIONES	167
	RECOMENDACIONES	167
	REFERENCIAS	169
	APÉNDICES Y ANEXOS	176
	APÉNDICE 1: GLOSARIO DE TÉRMINOS	177
	APÉNDICE 2: ENTREVISTA APLICADA	180

APÉNDICE 3: PROPUESTA DE FORMATO PARA REGISTRO DE FICHAS TÉCNICAS DE LOS TORNOS 101, 102 Y 103.....	181
APÉNDICE 4: PROPUESTA DE FORMATO PARA REGISTRO DE FICHAS TÉCNICAS DE LAS FRESADORAS 201 Y 202.....	182
APÉNDICE 5: PROPUESTA DE FORMATO PARA ORDEN DE MANTENIMIENTO	184
APÉNDICE 6: PROPUESTA DE FORMATO PARA HOJAS DE VIDA DE TORNOS 101, 102 Y 103 Y FRESADORAS 201 Y 202	185
APÉNDICE 7: AMEF DE LOS TORNOS 101, 102 Y 103 (PARTE 1)	186
APÉNDICE 8: AMEF DE LOS TORNOS 101, 102 Y 103 (PARTE 2)	190
APÉNDICE 9: AMEF DE LAS FRESADORAS 201 Y 202 (PARTE 1)	194
APÉNDICE 10: AMEF DE LAS FRESADORAS 201 Y 202 (PARTE 2)	199
ANEXO 1: CARTA DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL TALLER INDUSTRIAL FAMIR DE ALAJUELA.....	204
ANEXO 2: COTIZACIÓN ACEITE ISO 68 E ISO32.....	205
ANEXO 3: COTIZACIÓN VARSOL.....	206
ANEXO 4: COTIZACIÓN REFRIGERANTE	207
ANEXO 5: COTIZACIÓN TRAJOS DE LIMPIEZA.....	208
ANEXO 6: COTIZACIÓN ESCOBA	209
ANEXO 7: COTIZACIÓN ACEITERA	210
ANEXO 8: COTIZACIÓN DEPÓSITO PARA ACEITE.....	211

TABLAS

Tabla 2.1: Cantidad de colaboradores por área del Taller Industrial FAMIR de Alajuela	29
Tabla 3.1: Metodología DMAIC de la investigación	39
Tabla 3.2: Variables de la investigación por objetivo específico.....	44
Tabla 3.3: Proceso de recolección y análisis de datos	47
Tabla 4.1: Información de los tornos y las fresadoras del área de precisión	58
Tabla 4.2: Datos estimados anuales de tiempo de no disponibilidad para la producción de los tornos y las fresadoras.....	59
Tabla 4.3: Estimación anual de los tiempos de mano de obra en términos de costo	60
Tabla 4.4: Datos estimados de los costos anuales en refacciones	60
Tabla 4.5: Resultados de la lluvia de ideas de causas	73
Tabla 4.6: Resultados de multivoto	81
Tabla 5.1: Valores de evaluación para aprobar cada criterio (W) para la selección de la alternativa de técnicas del plan de mantenimiento preventivo.....	90
Tabla 5.2: Resultado de evaluación para aprobar cada criterio (W) de la selección de alternativa de técnicas del plan de mantenimiento preventivo.....	90
Tabla 5.3: Valores de evaluación de la clasificación de la alternativa en virtud del criterio (R) de la selección de la alternativa de técnicas del plan de mantenimiento preventivo	91
Tabla 5.4: Resultado de la opción más favorable utilizando el modelo matemático Scoring para la selección de la alternativa de técnicas del plan de mantenimiento preventivo ..	92
Tabla 5.5: Codificación de los tornos y fresadoras	95
Tabla 5.6: Criterio de severidad AMEF.....	98
Tabla 5.7: Criterio de ocurrencia AMEF	99
Tabla 5.8: Criterio de detección AMEF	100
Tabla 5.9: Clasificación del resultado de NPR del AMEF	100
Tabla 5.10: NPR para los tornos 101, 102 y 103.....	102
Tabla 5.11: NPR para las fresadoras 201 y 202.....	103
Tabla 5.12: Actividades diarias de mantenimiento preventivo para los tornos 101, 102 y 103	106

Tabla 5.13: Actividades mensuales de mantenimiento preventivo para los tornos 101, 102 y 103.....	108
Tabla 5.14: Actividades trimestrales de mantenimiento preventivo para los tornos 101, 102 y 103.....	109
Tabla 5.15: Actividades anuales de mantenimiento preventivo para los tornos 101, 102 y 103	111
Tabla 5.16: Actividades diarias de mantenimiento preventivo para las fresadoras 201 y 202	112
Tabla 5.17: Actividades mensuales de mantenimiento preventivo para las fresadoras 201 y 202.....	114
Tabla 5.18: Actividades trimestrales de mantenimiento preventivo para las fresadoras 201 y 202.....	115
Tabla 5.19: Actividades anuales de mantenimiento preventivo para las fresadoras 201 y 202	116
Tabla 5.20: Estructura de los módulos del programa del plan de capacitación técnica	119
Tabla 5.21: Cronograma del plan de capacitación técnica	122
Tabla 5.22: Plan de evaluación del plan de capacitación técnica.....	125
Tabla 5.23: Recursos necesarios del plan de capacitación técnica.....	127
Tabla 5.24: Costo estimado de elaboración del plan de mantenimiento preventivo	137
Tabla 5.25: Estimación de costos anuales de insumos para el plan de mantenimiento preventivo	139
Tabla 5.26: Costos estimados de elementos varios requeridos para la limpieza y lubricación	140
Tabla 5.27: Costos anuales estimados de mano de obra interna de actividades del plan de mantenimiento preventivo.....	141
Tabla 5.28: Costos estimados de mano de obra externa	142
Tabla 5.29: Costo total anual estimado de implementación del plan de mantenimiento preventivo	142
Tabla 5.30: Costo total anual estimado del plan de mantenimiento preventivo proyectado a un año.....	143
Tabla 5.31: Resumen del presupuesto del plan de capacitación técnica	145

Tabla 5.32: Costos de producción anual por cada torno y fresadora del área de precisión	146
Tabla 5.33: Duración de las actividades principales y específicas del CPM	149
Tabla 5.34: Duración de actividades específicas para diagrama Gantt.....	151
Tabla 5.35: Fuentes de riesgo ambiental	155
Tabla 5.36: Indicador de posibilidad de fuentes de riesgo.....	156
Tabla 5.37: Indicador de impacto de fuentes de riesgo	156
Tabla 5.38: Análisis de riesgos ambientales.....	157
Tabla 5.39: Medidas de control ambiental.....	160

FIGURAS

Figura 2.1: Mapa satelital del Taller Industrial FAMIR de Alajuela	27
Figura 2.2: Organigrama del Taller Industrial FAMIR de Alajuela	28
Figura 2.3: Ejemplos de trabajos realizados en el área de precisión del Taller Industrial FAMIR de Alajuela	30
Figura 2.4: Proceso productivo del Taller Industrial FAMIR de Alajuela.....	31
Figura 2.5: Torno TOS Trencin modelo SN 50 C	32
Figura 2.6: Torno LA modelo 560X2000.....	33
Figura 2.7: Torno Jashone modelo M180E	33
Figura 2.8: Fresadora Partner modelo VKM4.....	34
Figura 2.9: Fresadora Frejoth modelo 500-4200	34
Figura 4.1: <i>Stakeholders</i> del Taller Industrial FAMIR de Alajuela	51
Figura 4.2: Diagrama SIPOC del Taller Industrial FAMIR de Alajuela.....	52
Figura 4.3: Diagrama de flujo del proceso productivo del área de precisión del Taller Industrial FAMIR de Alajuela	53
Figura 4.4: Análisis FODA del Taller Industrial FAMIR de Alajuela	57
Figura 4.5: Gráfico de horas de no disponibilidad para la producción de los tornos y las fresadoras	61
Figura 4.6: Gráfico de costo de refacciones y costo de mano de obra externa por separado	62
Figura 4.7: Gráfico de costo de refacciones y mano de obra externa totales...	63
Figura 4.8: Respuestas a pregunta 1 de entrevista a colaboradores	65
Figura 4.9: Respuestas a pregunta 2 de entrevista a colaboradores	66
Figura 4.10: Respuestas a pregunta 3 de entrevista a colaboradores	67
Figura 4.11: Respuestas a pregunta 4 de entrevista a colaboradores	68
Figura 4.12: Respuestas a pregunta 5 de entrevista a colaboradores	69
Figura 4.13: Respuestas a pregunta 6 de entrevista a colaboradores	70
Figura 4.14: Respuestas a pregunta 7 de entrevista a colaboradores	71
Figura 4.15: Respuestas a pregunta 8 de entrevista a colaboradores	72
Figura 4.16: Gráfico de análisis de causa y efecto	77

Figura 4.17: Gráfico de diagrama de Pareto de causas críticas	83
Figura: 5.1 Diagrama de red del CPM.....	150
Figura 5.2: Diagrama de Gantt del proyecto.....	153
Figura 5.3: Gráfico de diagrama de Pareto de análisis de riesgos ambientales	159

DEDICATORIA

Este logro lo dedico con mucho cariño a mi esposa, a mi madre, hermanos y hermanas, sobrinos y sobrinas, a quienes agradezco profundamente por su apoyo y motivación incondicional durante esta etapa de mi vida. También quiero dar gracias a Dios por brindarme salud y sabiduría para superar cada obstáculo. Después de años llenos de experiencias, aprendizajes, noches largas y días de frustración, hoy puedo ver el fruto de todo ese esfuerzo reflejado en este anhelo que he alcanzado que es en convertirme en un ingeniero industrial.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a cada persona que formó parte de este proceso. Agradezco a los docentes que generosamente compartieron su conocimiento y profesionalismo, así como a mis compañeros, que enriquecieron esta experiencia con sus anécdotas. Juntos vivimos días largos, algunos marcados por la frustración, pero muchos otros repletos de aprendizajes valiosos.

EPÍGRAFE

Prevenir es mejor que reparar

Refrán popular

RESUMEN

Este documento tiene como objetivo principal, mediante la metodología DMAIC, desarrollar un plan de mantenimiento preventivo para los tornos y las fresadoras del área de precisión de la empresa Taller Industrial FAMIR de Alajuela, ubicada en el distrito de San Antonio del Tejar en la provincia de Alajuela, pues actualmente no cuenta con un programa de mantenimiento establecido. En la actualidad, los tornos y las fresadoras solo se intervienen cuando se quedan inhabilitadas para su operación, lo que genera sobrecostos debido a los tiempos de inactividad tanto de las máquinas como de los colaboradores. Además, la dependencia del mantenimiento correctivo acarrea altos costos de reparación y reduce la confiabilidad del sistema, provocando interrupciones en la producción y pérdidas significativas. En este sentido, el documento presenta un análisis detallado de las posibles causas de esas interrupciones donde, junto a una recopilación de información clave a través de visitas a las instalaciones para diagnosticar y caracterizar el estado de cada torno y fresadora, se evaluaron las partes críticas que impactan su funcionamiento.

Posteriormente, se llevó a cabo una comparación entre las estrategias de mantenimiento TPM, RCM y AMEF, para determinar cuál se ajusta mejor a las necesidades y activos de la empresa. Se concluyó que el Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) es la estrategia más adecuada, ya que su estructura permite concentrar información relacionada con los modos, efectos y causas de las fallas para así lograr definir las actividades del plan de mantenimiento preventivo necesarias.

Finalmente, la implementación de este plan de mantenimiento preventivo, un plan de capacitación técnica y de algunas propuestas de control, busca resolver los problemas de improductividad y sobrecostos asociados a las reparaciones del Taller Industrial FAMIR de Alajuela.

Palabras clave: DMAIC, AMEF, mantenimiento preventivo, capacitación técnica.

CAPÍTULO I. PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La investigación se llevará a cabo en la empresa Taller Industrial FAMIR de Alajuela, ubicada en el distrito de San Antonio del Tejar, en la provincia de Alajuela. El propietario de la empresa es el señor José Antonio Ramírez Delgado.

El problema principal que se presenta se relaciona con los tornos y las fresadoras en el área de precisión. Estas máquinas están operativas durante cinco días a la semana en horarios de 9.5 horas diarias. Sin embargo, la falta de un plan de mantenimiento preventivo ha provocado fallas que requieren reparaciones imprevistas, lo que ha resultado en la indisponibilidad de las máquinas para la producción. Esto ha causado retrasos en los procesos, demoras en la entrega de productos a los clientes y costos adicionales en reparaciones, afectando también a las actividades de los colaboradores.

Entre las fallas más comunes se encuentran problemas eléctricos y mecánicos, así como el desgaste de componentes, fallos en los sistemas de lubricación y refrigeración, deterioro de rodamientos, roturas de piezas móviles, desajustes en bandas y fajas y sobrecalentamientos por falta de limpieza.

El taller, actualmente, no dispone de un programa de mantenimiento preventivo ni de personal especializado para llevarlo a cabo, lo que resulta en costos anuales estimados en más de cinco millones de colones en reparaciones imprevistas y más de 2600 horas al año de inactividad entre los tornos y las fresadoras del área de precisión.

Si no se implementa un plan de mantenimiento preventivo, los gastos por reparaciones imprevistas podrían aumentar. Por lo tanto, se propone un estudio del proceso de mantenimiento actual de los tornos y las fresadoras en el área de precisión utilizando la metodología DMAIC, con el objetivo de diseñar un plan de mantenimiento preventivo que asegure el óptimo funcionamiento, disponibilidad y confiabilidad de estas máquinas.

La pregunta que se busca responder es: ¿En qué medida la implementación de un plan de mantenimiento preventivo contribuye a optimizar la disponibilidad para la producción de los tornos y las fresadoras en el Taller Industrial FAMIR de Alajuela?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

I. Diseñar un plan de mantenimiento preventivo mediante la metodología DMAIC para el proceso de manufactura de los tornos y las fresadoras del área de precisión de la empresa Taller Industrial FAMIR de Alajuela para optimizar su disponibilidad para la producción.

1.2.2 Objetivos específicos

I. Exponer las causas que provocan los tiempos de indisponibilidad para la producción de los tornos y las fresadoras del área de precisión.

II. Desarrollar herramientas que permitan estandarizar el plan de mantenimiento preventivo de los tornos y las fresadoras del área de precisión.

III. Establecer controles que permitan el seguimiento del plan de mantenimiento preventivo de los tornos y las fresadoras del área de precisión.

1.3 JUSTIFICACIÓN

La finalidad de este estudio es aplicar los principios y conceptos del mantenimiento preventivo para abordar el problema de optimización de la disponibilidad para la producción de los tornos y las fresadoras en el área de precisión del Taller Industrial FAMIR de Alajuela.

Es fundamental destacar que cuando una empresa enfrenta limitaciones en la disponibilidad de sus recursos, esto puede resultar en una paralización total de la producción, un aumento en los costos de mantenimiento y una reducción en la calidad del servicio y de los productos ofrecidos.

Por lo tanto, es crucial abordar este problema utilizando tanto conceptos teóricos como prácticos, lo que permitirá una gestión más eficiente y efectiva, asegurando así el funcionamiento continuo de las máquinas y prolongando su vida útil.

La implementación de un plan de mantenimiento preventivo ayudará a reducir los costos derivados de reparaciones imprevistas, evitar paradas de producción, mejorar el rendimiento de las máquinas y anticiparse a posibles inconvenientes.

1.4 ANTECEDENTES

Para la elaboración de este proyecto, se han considerado como antecedentes diez estudios que se asemejan a este, cinco internacionales y cinco nacionales.

1.4.1 Antecedentes nacionales

Como primer antecedente nacional, se tiene a Greivin Barahona Guzmán, estudiante de Licenciatura en Mantenimiento Industrial del Instituto Tecnológico de Costa Rica, que en el año 2016 en su proyecto de graduación “Diseño de un programa de mantenimiento preventivo para el taller de la empresa Metal Gypsum CR S.A.” indica que, utilizando el proceso y conocimientos de elaboración de un plan de mantenimiento preventivo como herramienta fundamental del proyecto, se busca mejorar la disponibilidad de la empresa Metal Gypsum CR por medio de acciones proactivas que mejoren las condiciones básicas de mantenimiento. El estudio se aplicó a un grupo preseleccionado de máquinas, con el fin de realizar un plan piloto que posteriormente se adapte para el resto de las máquinas de la empresa. Previamente a realizar el proceso de confección del plan de mantenimiento preventivo, se reestructuró el departamento y se organizó, debido a que existía mucho desorden en el proceso de ejecutar el mantenimiento y recolección de datos. Por este motivo, se realizó un documento de orden de trabajo, junto con documentos complementarios que beneficiarán y ayudarán a la gestión del departamento de mantenimiento. Finalmente, se elaboró un plan de mantenimiento preventivo que contiene el detalle de las inspecciones por realizar con el periodo, la frecuencia, la duración y el encargado de realizarla, así como una ficha técnica con información básica de cada máquina (Guzmán, 2016).

Como segundo antecedente nacional, se tiene a José David Rodríguez Morera y Luis Guillermo Loría Salazar, catedráticos de la Universidad de Costa Rica. En el año

2016, en su proyecto “El mantenimiento preventivo, clave para la protección del patrimonio vial” para la Lanamme de la UCR, indican que los tres principios más importantes de la gestión de pavimentos son: atender las redes viales pavimentadas en el momento adecuado (dentro de su vida útil), con la técnica adecuada y en la sección adecuada. Estos principios engloban la gestión proactiva o, lo que es lo mismo, el mantenimiento preventivo. Una analogía muy utilizada para comprender este enfoque de gestión, es compararlo con la planificación del mantenimiento de un vehículo. Nadie, en principio, preferirá ahorrarse 15 mil colones de un cambio de aceite, para luego tener que ingresar 800 mil colones por un *overhaul*. Al contrario, los dueños de un vehículo programan cada cierto tiempo el cambio de aceite, utilizan el aceite adecuado para el tipo de motor y si tienen una flotilla, como es el caso de las empresas, también eligen y priorizan cuál vehículo debe ir primero al taller mecánico. La atención de los pavimentos se rige bajo los mismos principios descritos en el ejemplo anterior. Cuando se tiene una red vial pavimentada, esta se divide en secciones que, según su condición, recibirán una técnica de intervención que solucione eficazmente sus deterioros y que evite la necesidad de llegar a reconstruir la sección por un avanzado estado de deterioro (Morera y Salazar, 2016).

Como tercer antecedente nacional se tiene a Carlos Federico Canales Mora, estudiante de la carrera de Licenciatura en Mantenimiento Industrial del Instituto Tecnológico de Costa Rica. En el año 2014, en su proyecto “Desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM para el departamento de patio de caña”, indica que utilizando como guía la metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) se desarrolla un estudio para mejorar la disponibilidad del Ingenio Central Azucarera del Tempisque S.A. (CATSA), mediante el establecimiento de acciones proactivas que permitan disminuir el tiempo perdido producto de fallas funcionales. El estudio se desarrolla en el departamento conocido como Patio de Caña. En este, el producto, es decir, la caña de azúcar es preparada para que el proceso posterior de molienda pueda lograr una mejor extracción del jugo de caña. Todo el proceso es realizado con ayuda de una serie de equipos que trabajan en conjunto para lograr ese objetivo. Entre ellos, se pueden mencionar grúas o volteadores de caña, transportadores o conductores y equipos rotativos provistos de cuchillas o martillos para

preparar la caña, entre otros. La selección de los equipos por estudiar en el Patio de Caña fue hecha siguiendo el criterio de Pareto para el tiempo perdido, de tal forma que aquellos equipos que más contribuyen con el tiempo perdido en zafra fueron los primeros en incluirse en el análisis; posteriormente, se fueron agregando los restantes equipos. Las acciones proactivas de mantenimiento para cada equipo fueron determinadas con la participación del personal de la empresa a cargo de la operación y el mantenimiento de los equipos. Estas acciones incluyen recomendaciones para el rediseño de equipos, áreas para mejorar en capacitación o procedimientos de trabajo y las inspecciones de rutina para la detección de fallas potenciales. Finalmente, se elabora un plan de mantenimiento preventivo que contiene el detalle de las inspecciones por realizar con el periodo, la frecuencia, la duración y el encargado de realizarla, así como una ficha técnica con información básica de cada máquina (Mora C. F., 2014).

Como cuarto antecedente nacional, se tiene a Diana Lucía Calderón Brenes, estudiante de bachillerato en Ingeniería Electromecánica en la Universidad Internacional de las Américas. En el año 2022, en su proyecto de graduación “Actualización e implementación de plan de mantenimiento preventivo para módulo probador de máquina de prueba de microprocesadores” indica que la propuesta conlleva la mejora e implementación de un plan de mantenimiento preventivo. Para ello, se revisará el plan de mantenimiento actual, con el fin de aplicar mejoras al documento con base en el estudio del área respectiva, los componentes del módulo, las reparaciones correctivas actuales, los indicadores y alarmas de la máquina relacionada al módulo y, por consiguiente, la implementación del plan. Este proceso involucra también la implementación de las mejoras del plan a nivel corporativo, el análisis de reducción de costos enfocado en ahorro de repuestos, mejora en vida útil de componentes que forman parte del módulo y reducción de tiempo inactivo en máquina (Brenes, 2022).

Como quinto antecedente nacional, se tiene a María Castro Mora, estudiante de bachillerato en Ingeniería Electromecánica en la Universidad Nacional de Costa Rica. En el año 2003, en su proyecto de graduación “Sistema automatizado de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo para el equipo y maquinaria del Ingenio El General” indica que el proceso de globalización, así como el proceso de integración de nuestra economía ha generado tratados de libre comercio en diferentes países, lo cual hace que

cada día el sector industrial requiera eficientizar cada vez más sus procesos productivos. En este contexto, las industrias de nuestro país tecnifican cada vez más sus procesos con dos objetivos fundamentales. En primer lugar, asegurar el nivel de calidad de sus productos, de forma que pueden competir en los mercados internacionales, en segundo lugar, se hace estrictamente necesario disminuir los costos asociados a la producción e industrialización de los productos, para ser más competitivos (Mora, 2003).

1.4.2 Antecedentes internacionales

Como primer antecedente internacional se tiene a Pablo Marcelo Acuña Cabezas, estudiante de Ingeniería Industrial en la Universidad Técnica Federico Santa María en Chile. En el año 2018, en su proyecto de graduación “Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo mediante el Análisis de Modos y Efectos de Fallas y criticidad para los componentes del equipo cuádruple, pertenecientes a la línea de producción de aserradero de la empresa Masisa Chile S.A.” indica que los modos de fallas más críticos y peligrosos son el paso final y fundamental de la planificación del mantenimiento para poder dar solución a los modos de fallas más frecuentes y críticos. Se realizan y aplican pautas de trabajo y *check list* para estos modos de falla dentro del equipo seleccionado anteriormente, todo esto para evitar cualquier tipo de atraso, ganar tiempo al momento de realizar las tareas de mantenimiento y evitar que se generen detenciones inoportunas en el proceso (Cabezas, 2018).

Como segundo antecedente internacional se tiene a Rubén Darío Etchengó, estudiante de maestría en Administración en la Universidad Nacional Del Sur en Argentina. En el año 2013, en su proyecto de graduación “Mantenimiento basado en la Ingeniería-Argentina”, indica que el mantenimiento industrial, componente de este engranaje, tantas veces atacado como generador de costos improductivos, es reconocido nuevamente como un potencial productor de ganancias a través del aseguramiento de la entrega en tiempo y forma de su máspreciado producto, “Capacidad de Producción”, mediante el aseguramiento de la confiabilidad y disponibilidad de activos físicos requeridas para el logro productivo (Etchengó, 2013).

Como tercer antecedente internacional se tiene a Javier Riveroll Fernández, estudiante de Ingeniería Industrial en la Universidad Nacional Autónoma de México. En

el año 2018, en su proyecto de graduación “Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para el taller de metal –mecánica de la Universidad de Sotavento A.C. Campus Coatzacoalcos, Veracruz” indica que dentro del avance del mantenimiento, el mantenimiento preventivo es el que ha tenido la mayor importancia gracias a sus resultados en la mejora de los procesos de producción. El principal objetivo del mantenimiento preventivo es disminuir el número de fallas que presenta un sistema o equipo en un periodo determinado, con el fin de hacerlo más eficiente y aumentar su vida útil. Este tipo de mantenimiento busca disminuir la frecuencia de realización de actividades correctivas, que son las que causan mayores costos para las empresas (Fernández, 2018).

Como cuarto antecedente internacional se tiene a Daniel Ligero Valle, estudiante de Ingeniería Industrial en la Universidad de Sevilla en España. En su proyecto de graduación titulado “Elaboración de una propuesta para la gestión del mantenimiento de un edificio de oficinas y su implementación en un sistema de gestión del mantenimiento asistido por ordenador (GMAO)” indica que el mantenimiento preventivo supone todas aquellas operaciones que se realizan sobre los equipos en servicio para asegurar su perfecto funcionamiento según el Plan Definitivo de Mantenimiento, cuyo objetivo es evitar o tratar de prevenir la aparición de averías o disminución de sus prestaciones y funcionalidades. Básicamente, consistirá en inspecciones y operaciones ejecutadas según programación anticipada en función a la vida útil de los elementos considerados. El mantenimiento preventivo implica la revisión periódica de las instalaciones, con el objeto de optimizar las condiciones de durabilidad para reducir el mantenimiento correctivo (Valle, s.f.).

Como quinto antecedente internacional se tiene a Jorge Carlos Palmet Bechara, estudiante de Ingeniería Mecánica en la Universidad Tecnológica de Bolívar de Colombia. En el año 2008, en su proyecto de graduación “Plan de mantenimiento preventivo para los equipos del taller de máquinas y herramientas de la empresa Servitec LTDA” indica que el mantenimiento está directamente relacionado con la confiabilidad de los equipos. Este es el fundamento de esta actividad: confiabilidad en que la planta funcionará continuamente sin paradas indeseadas evitando así pérdidas económicas. Toda empresa busca tener un departamento de mantenimiento, con personas involucradas directamente

con esta actividad. El departamento de mantenimiento no debe actuar independiente de los demás departamentos de la empresa, ya que el mantenimiento moderno necesita de la intervención de todos estos departamentos para hacer más ágil la solución de los problemas sin afectar la producción o la prestación del servicio de la empresa (Bechara, 2008).

1.5 PROYECCIONES

1.5.1 Alcances

El estudio se llevará a cabo en las máquinas de manufactura, específicamente en los tornos y las fresadoras del área de precisión del taller. No abarcará las máquinas de las otras áreas que conforman la empresa.

Diseñar un plan de mantenimiento preventivo, utilizando la metodología DMAIC para mejorar la optimización de disponibilidad para la producción de los tornos y las fresadoras en el área de precisión, además de ser un aliado estratégico para la empresa para reducir los gastos inesperados por reparaciones de fallas imprevistas, ayudará a tener el control sobre estas con el fin de cumplir las actividades específicas programadas para cada una de las máquinas, obteniendo como resultado una reducción de los costos de reparación, logrando obtener un beneficio para el taller, ya que contará con una mayor disponibilidad y confiabilidad de las máquinas del área de precisión.

1.5.2 Limitaciones

Durante el desarrollo del presente estudio se presentaron las siguientes limitaciones:

1. Las máquinas que se estudiaron son solamente los tornos y las fresadoras del área de precisión. No se contemplaron máquinas o herramientas como taladros, esmeriladoras y herramientas manuales. Ni tampoco ningún tipo de máquina o de herramienta manual de las otras áreas que conforman el taller.

2. La obtención de datos como tiempos de disponibilidad de las máquinas, costos de pagos de repuestos y de mano de obra externa se realizó a través de un pobre historial de registros del departamento de administración del taller. Sin embargo, existen otros datos que también se tomaron en consideración, pero de los cuales no existen registros

que los respalden y que se obtuvieron a través de palabra y memoria del Gerente General del taller.

3. El taller tampoco cuenta con los manuales de operación y técnicos de las máquinas estudiadas en este proyecto.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 HERRAMIENTAS INGENIERILES

Seguidamente, se detallan las herramientas y conceptos ingenieriles que se tomaron en cuenta para el desarrollo del presente estudio.

Metodología DMAIC:

Esteban Pérez López y Minor García Cerdas, másteres en sistemas modernos de manufactura de la Universidad de Costa Rica, en su artículo “Implementación de la metodología DMAIC Seis Sigma en el envasado de licores en Fanal”, publicado en diciembre del año 2014 por la revista Tecnología en Marcha del Instituto Tecnológico de Costa Rica, mencionan que el método Seis Sigma –conocido como DMAIC, en la aplicación, proyecto a proyecto–, es un proceso estructurado en cinco fases: definir, medir, analizar, mejorar y controlar.

En la fase de definición, se identifican los posibles proyectos, que deben ser evaluados por la dirección para evitar la infrautilización de recursos. Una vez seleccionado el proyecto, se prepara su misión y se selecciona el equipo más adecuado, asignándole la prioridad necesaria.

La fase de medición consiste en la caracterización del proceso, identificando los requisitos clave de los clientes, las características clave del producto (o variables del resultado) y los parámetros (variables de entrada) que afectan el funcionamiento del proceso y las características o variables clave. A partir de esta caracterización, se define el sistema de medida y se mide la capacidad del proceso.

En la tercera fase, análisis, el equipo analiza los datos de resultados actuales e históricos. Se desarrollan y comprueban hipótesis sobre posibles relaciones causa-efecto, utilizando las herramientas estadísticas pertinentes. De esta forma, el equipo confirma los determinantes del proceso, es decir, las variables clave de entrada o “pocos vitales” que afectan a las variables de respuesta del proceso.

En la fase de mejora, el equipo trata de determinar la relación causa-efecto (relación matemática entre las variables de entrada y la variable de respuesta que interese), para predecir, mejorar y optimizar el funcionamiento del proceso. Por último, se determina el rango operacional de los parámetros o variables de entrada del proceso.

La última fase, control, consiste en diseñar y documentar los controles necesarios para asegurar que lo conseguido mediante el proyecto se mantenga una vez que se hayan implantado los cambios. Cuando se han logrado los objetivos y la misión se dé por finalizada, el equipo informa a la dirección y se disuelve (López y Cerdas, 2014).

El enfoque DMAIC para este proyecto de investigación ayudará a optimizar el mantenimiento preventivo al definir problemas, medir el rendimiento, analizar causas, implementar soluciones y controlar el desempeño. Esto reduce mermas, fomenta la mejora continua y aumenta la disponibilidad de las máquinas, mejorando así el servicio al cliente.

Análisis de *Stakeholders*:

De acuerdo con el artículo “La responsabilidad social empresarial. Una óptica desde los *Stakeholders*”, publicado en julio del año 2017 por la revista digital Economía y Política, se define el término *Stakeholders* como el individuo o grupo de individuos que se ven o podrían verse afectados por las acciones u operaciones de la empresa, por lo cual constituyen actores esenciales para el éxito de la empresa. La gestión de las relaciones con los *Stakeholders* puede generar diversos tipos de valor que se podrían aprovechar para alcanzar competitividad, la cual no se alcanza de forma individual, sino que es un desempeño superior que implica la interacción y colaboración de los otros. En este escenario, las partes interesadas (*Stakeholders*) son elementos clave para alcanzar la competitividad, y son por quienes, para quienes y con quienes las empresas deben trascender más allá del beneficio económico (Pymes, 2024).

Involucrar a los *Stakeholders* para este proyecto de investigación ayudará a asegurar su efectividad y aceptación, alineándolo con los objetivos de la organización. Aportan información valiosa, mejoran la comunicación, identifican riesgos y permiten adaptar el plan a cambios, maximizando su relevancia y eficacia.

Diagrama SIPOC:

De acuerdo con la investigación científica “Diseño metodológico para la caracterización de procesos, caso empresas metalmecánicas del departamento de Boyacá”, publicada en junio del año 2020 por la revista digital Inge Cuc, se menciona que

el diagrama SIPOC ayuda a identificar fácilmente los principales elementos del proceso: las entradas y sus proveedores; las salidas y sus usuarios o clientes; los subprocesos o etapas y las interrelaciones o conexiones con otros procesos: proveedor, entradas, proceso, salidas, usuario (cliente) (González y Dueñas, 2020).

Usar un SIPOC para este proyecto de investigación ayudará a asegurar una comprensión y gestión adecuada del proceso. Facilita la comunicación, identifica recursos necesarios, define insumos y resultados, y fomenta la mejora continua.

Diagrama de flujo:

Es un esquema para representar gráficamente un algoritmo. Se basan en la utilización de diversos símbolos para representar operaciones específicas, es decir, es la representación gráfica de las distintas operaciones que se tienen que realizar para resolver un problema, con indicación expresa del orden lógico en que deben realizarse. Se les llama diagramas de flujo, porque los símbolos utilizados se conectan por medio de flechas para indicar la secuencia de operación.

Para hacer comprensibles los diagramas a todas las personas, los símbolos se someten a una normalización; es decir, se hicieron símbolos casi universales, ya que, en un principio, cada usuario podría tener sus propios símbolos para representar sus procesos en forma de diagrama de flujo. Esto trajo como consecuencia que sólo aquel que conocía sus símbolos los podía interpretar. La simbología utilizada para la elaboración de diagramas de flujo es variable y debe ajustarse a un patrón definido previamente. El diagrama de flujo representa la forma más tradicional y duradera para especificar los detalles algorítmicos de un proceso. Se utiliza principalmente en programación, economía y procesos industriales (Veracruzana, 2007).

Un diagrama de flujo del proceso para este proyecto de investigación ayudará a comprender y documentar el proceso de producción, identificar ineficiencias y analizar el impacto de los cambios, sirviendo como base para la mejora continua.

Análisis FODA:

El análisis FODA (fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas) de acuerdo con la revista digital International Journal del Instituto Superior Universitario de Japón, en

su artículo “Eficacia del análisis estratégico FODA en el Instituto Superior Japón” publicado en julio del año 2024, es una herramienta estratégica ampliamente utilizada en la gestión empresarial y educativa para evaluar la posición actual de una organización y formular estrategias efectivas para su desarrollo futuro. Este enfoque sistemático permite identificar factores internos y externos que influyen en la operatividad y el rendimiento de una institución, facilitando la toma de decisiones informadas y la planificación estratégica. En el contexto de la educación superior, el análisis FODA se ha convertido en un componente esencial para el diagnóstico institucional y la mejora continua (Reyes y Ramíte, 2024).

Un análisis FODA para este proyecto de investigación ayudará a ofrecer una visión clara de factores internos (fortalezas y debilidades) y externos (oportunidades y amenazas), permitiendo decisiones informadas. Ayuda a optimizar estrategias, identificar áreas de mejora y alinear el plan con los objetivos del taller.

Tabulación de datos:

La revista digital Actualidades Investigativas en Educación, en su artículo publicado en mayo del año 2014 llamado “El formato tabular: una revisión de literatura”, define la tabulación de datos como la capacidad de interpretar información presentada en tablas. Es un elemento clave de la cultura científica y esto requiere una atención explícita como parte de la educación de todas las personas. Algunas no se desenvuelven adecuadamente frente a información cuantitativa y pueden llegar a depender de la interpretación de otros, convirtiéndose en sujetos vulnerables a engaños intencionales o no, puesto que no han tomado conciencia de que los datos pueden manipularse para apoyar ciertos puntos de vista.

La interpretación de los datos y la habilidad de construir gráficos y tablas son fundamentales en el proceso y producción de la ciencia. Para los científicos, la organización de los datos en tablas es un método invaluable de representación de datos para encontrar relaciones entre las variables con el fin de determinar los patrones, propiedades y relaciones. Las tablas son parte de la alfabetización científica, pues constituyen una de las principales formas de presentar los datos a los lectores. Por ello,

es necesario analizar cómo mejorar el formato de tabla de modo que sea comprensible para la mayoría (Estrella, 2014).

Tabular datos en este proyecto de investigación facilitará la comprensión, el análisis y la identificación de tendencias para una mejor toma de decisiones. Permite crear un historial, optimizar recursos, planificar actividades futuras y promover la mejora continua.

Gráficos de control:

Las gráficas, diagramas o cartas de control según Alberto Isaac Pierdant Rodríguez y Jesús Rodríguez Franco en su trabajo investigativo llamado “Control estadístico de la calidad de un servicio mediante Gráficas X y R”, publicado en el año 2009 para la revista digital Política y Cultura de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco de México, permiten detectar la variación sistémica generada en un proceso de producción o en la prestación de un servicio con el objetivo de poder ser identificada y corregida antes de que produzca una gran cantidad de partes, productos o servicios defectuosos. Existen gráficas de control para las variables y para los atributos. Una gráfica para variables analiza las medidas reales de una parte o producto o medición de un servicio y las representa en forma gráfica. Por otro lado, en una gráfica de atributos solo se mide la característica del producto como bueno (no defectuoso o aceptable) o defectuoso (inaceptable) (Rodríguez y Franco, 2009).

Implementar gráficos de control en este proyecto de investigación mejorará el monitoreo y la calidad del mantenimiento, permitiendo intervenciones tempranas y reduciendo el tiempo de inactividad. Facilitan la toma de decisiones informadas, optimizan la programación y ayudan a planificar actividades futuras, fomentando una gestión proactiva.

Entrevistas:

Laura Díaz Bravo, Uri Torruco García, Mildred Martínez Hernández y Margarita Varela Ruiz del Departamento de Investigación en Educación Médica de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México, en su proyecto académico “La entrevista, recurso flexible y dinámico” publicado en abril del año 2013 por la revista

Investigación en Educación Médica, mencionan que la entrevista se define como "una conversación que se propone con un fin determinado distinto al simple hecho de conversar". (p.18) Es un instrumento técnico de gran utilidad en la investigación cualitativa, para recabar datos. El presente artículo tiene como propósito definir la entrevista, revisar su clasificación –haciendo énfasis en la semiestructurada– por ser flexible, dinámica y no directiva. Asimismo, se puntualiza la manera de elaborar preguntas, se esboza la forma de interpretarla y sus ventajas. La entrevista es muy ventajosa principalmente en los estudios descriptivos y en las fases de exploración, así como para diseñar instrumentos de recolección de datos. Con frecuencia la entrevista se complementa con otras técnicas según la naturaleza específica de la investigación (Bravo, García, Hernández y Ruiz, 2013).

Las entrevistas para este proyecto de investigación constituyen una herramienta crucial para asegurar que un plan de mantenimiento preventivo sea relevante, práctico y efectivo, alineándose con las necesidades y capacidades del taller, y su importancia radica en varios aspectos como la recopilación de información, identificación de necesidades específicas, fomento de la comunicación y mejora en la toma de decisiones.

Técnica de trabajo grupal (lluvia de ideas):

El *Brainstorming* o lluvia de ideas es una técnica de grupo que permite la generación de un gran número de ideas sobre un tema específico para la búsqueda de las causas del problema.

Margarita Rodríguez Gallego y Rosario Ordóñez Sierra, en su trabajo académico llamado "Modelo de gestión para la calidad en las prácticas de pedagogía", publicado en diciembre del año 2012 por la revista Currículum y Formación de Profesorado de la Universidad de Sevilla, España, mencionan que el profesor actúa como moderador y abre un espacio en la sala para que los participantes contribuyan a medida que surjan ideas de un problema definido. El pensamiento de diseño se asocia a la resolución de problemas, es decir, el profesor lanza un problema generador de ideas, los alumnos deben pensar en sus causas, buscar nuevas referencias, hablar con los involucrados, si es posible, para recabar más información y, después de enumerar lo esencial y enfocado, deben aportar dichas ideas para resolverlo. En el *Sprint*, se lanza el reto y los alumnos

comienzan a negociar posibles soluciones. Por lo tanto, deben aportar, a partir de sus conocimientos y también de una investigación profunda, propuestas que puedan contribuir a la resolución del problema al mismo tiempo que todos pueden, naturalmente, interferir en la propuesta de su colega (Gallego y Sierra, 2012).

La lluvia de ideas en el taller fomenta la creatividad, mejora la comunicación y el compromiso de los colaboradores, y permite identificar problemas ocultos. Genera soluciones innovadoras, promueve la participación, apoya la gestión del plan de mantenimiento preventivo y establece una cultura de mejora continua.

Análisis de causa y efecto (Ishikawa):

De acuerdo con el artículo “Matriz de falla de los motores de inducción” realizado por el Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría de Cuba y publicado en el año 2007 por la revista Ingeniería Energética, el análisis causa-efecto es una herramienta que facilita las relaciones que existen entre las fuentes que conducen a un problema determinado. Este puede expresarse como una relación tabulada. Sin embargo, su forma más aceptada, debido a la información gráfica que brinda, es el diagrama de Ishikawa. Inicialmente, al aplicar las técnicas para el desarrollo del análisis causa-efecto bastaba con llegar hasta las fuentes de variación, pero, en la actualidad, existe la tendencia de abrir el primer nivel, tanto dentro del mismo diagrama principal, como en diagramas causa efecto de niveles inferiores, teniendo siempre cuenta que en la práctica la profundidad del árbol es de cuatro o cinco niveles como máximo (Dorrbercker y otros, 2007).

El diagrama de Ishikawa ayuda a identificar las causas raíz de los problemas de mantenimiento, mejora la comunicación y facilita el trabajo en equipo. Permite desarrollar soluciones a largo plazo, previene la recurrencia de fallas y fomenta una cultura de mejora continua, capacitando al personal y promoviendo decisiones informadas.

Valor de las causas (multivoto):

Bryan Zamora Vargas, estudiante de Ingeniería en Producción Industrial del Instituto Tecnológico de Costa Rica en su proyecto de graduación en el año 2019, llamado “Elaboración de propuestas de solución para aumentar el porcentaje de cumplimiento de pedidos de los motores HSTA y Spoiler en al menos un 5% en la línea North Main”,

menciona que el multivoto consiste en determinar las posibles causas de la principal problemática dentro del proceso, con el fin de darle una calificación a cada una de ellas para concentrarse en resolver las que tuvieron mayor calificación. Estas posibles causas pueden ser propuestas ya sea por trabajadores de la empresa o por los analistas que realizan el estudio (TEC, 2019).

El multivoto facilitará la priorización de ideas y fomenta la participación del equipo en la gestión del mantenimiento, optimizando la toma de decisiones y mejorando el compromiso. Ayuda a enfocar esfuerzos, agilizar consensos, identificar necesidades urgentes y ajustar el plan de mantenimiento preventivo de forma continua.

Causas críticas (diagrama de Pareto):

El Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, en su texto “Gestión energética en la producción del ingrediente farmacéutico activo 2-bromo-5-(2-bromo-2-nitrovinil)-furano y vitrofural”, publicado en agosto del año 2012 para la revista digital ICIDCA, menciona que se utilizan diagramas de Pareto para presentar la información en orden descendente, desde la categoría mayor a la más pequeña en unidades y en porcentaje. Los porcentajes agregados de cada barra se conectan por una línea para mostrar la suma incremental de cada categoría respecto al total. Se estratifica el diagrama de Pareto para encontrar las causas particulares más influyentes en el efecto estudiado (Molina, Rico, Negrín y Cruz, 2012).

El diagrama de Pareto permitirá identificar y priorizar problemas clave en el mantenimiento, mejorando la toma de decisiones y la eficiencia al enfocar los esfuerzos en las causas más impactantes. Facilita la comunicación, detecta tendencias, documenta acciones y aumenta la fiabilidad operacional.

Análisis de modos de efectos y fallas (AMEF):

José R. Aguilar Otero, Rocío Torres Arcique y Diana Magaña Jiménez de la Corporación Mexicana de Investigación en Materiales del Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos A.C, en su proyecto académico llamado “Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad” y publicado en el año 2010 en la Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal, mencionan que las técnicas de análisis

de riesgo son empleadas en la búsqueda y evaluación de escenarios que pueden representar un impacto adverso para una instalación o planta de proceso, identificando los escenarios de mayor riesgo y emitiendo acciones de recomendación tendientes a minimizarlo. El principio de cualquier estudio de riesgo está basado en encontrar respuesta a tres interrogantes: 1) ¿Qué puede salir mal? 2) ¿Qué tan frecuente es? y 3) ¿Cuáles son sus efectos? Analizando y entendiendo la respuesta a estas preguntas, se puede entender los riesgos y diseñar mejores acciones para la prevención y control. Sin embargo, en la mayoría de los casos, las acciones recomendadas se quedan así, en recomendaciones, las cuales, en la mayoría de los casos, no son implementadas o, si lo son, no se les da seguimiento para validar el impacto real en la disminución del riesgo (Otero, Arcique y Jiménez, 2010).

El AMEF es crucial en el plan de mantenimiento preventivo, porque ayuda a identificar y evaluar riesgos, optimizar recursos y mejorar la seguridad y eficiencia. Permite anticipar fallas, priorizar acciones, mejorar la seguridad laboral, optimizar la asignación de recursos, documentar procesos y fomentar la mejora continua, lo cual aumenta la confiabilidad y la vida útil de las máquinas.

Actividades de mantenimiento:

Saray Córdoba González, psicóloga del Colegio Profesional de Psicólogos de Costa Rica, en su artículo llamado “Importancia de la elaboración de un buen artículo científico”, publicado en junio del año 2008 por la Revista Costarricense de Psicología, indica que el *checklist*, también llamado lista de chequeo o lista de verificación, es una herramienta eficiente que minimiza errores laborales y que están formados por un encabezado donde se indican las personas, máquinas o procesos a verificar. Además, también se indica el periodo de verificación, ya sea diario, semanal, mensual, trimestral o anual (González, 2008).

Por otra parte, las actividades de mantenimiento permitirán comprobar que todos los pasos se han realizado correctamente sin fallos. No obstante, existe la posibilidad de que más adelante se pueda mejorar con el fin de alargar la vida útil de las máquinas.

Plan de capacitación técnica:

Luis Alberto Bermúdez Carrillo, en su proyecto académico “Capacitación: Una herramienta de fortalecimiento de las PYMES”, publicado en enero del año 2015 por la revista digital InterSedes de la Universidad de Costa Rica, menciona que la capacitación es un proceso educacional de carácter estratégico aplicado de manera organizada y sistémica, mediante el cual el personal adquiere o desarrolla conocimientos y habilidades específicas relativas al trabajo, y modifica sus actitudes frente a aspectos de la organización, el puesto o el ambiente laboral.

Como componente del proceso de desarrollo de los Recursos Humanos, la capacitación implica, por un lado, una sucesión definida de condiciones y etapas orientadas a lograr la integración del colaborador a su puesto y a la organización, el incremento y mantenimiento de su eficiencia, así como su progreso personal y laboral en la empresa. Y, por otro, un conjunto de métodos, técnicas y recursos para el desarrollo de los planes y la implantación de acciones específicas de la empresa para su normal desarrollo. En tal sentido, la capacitación constituye un factor importante para que todos los colaboradores y responsables de la empresa aporten lo mejor para su productividad. La capacitación es un proceso constante que busca la eficiencia y, con ella, alcanzar niveles elevados de productividad. Lo anterior significa que todo plan de capacitación implica tomar decisiones en áreas críticas e importantes de la empresa, y esas decisiones deben ser fundamentadas y muy objetivas.

El plan está compuesto por programas y proyectos individuales, los cuales, armonizados y relacionados entre sí, componen el plan. La capacitación está orientada a la preparación técnica del recurso humano de las organizaciones para que este se desempeñe eficientemente en las funciones a él asignadas, produzca resultados de calidad, dé excelentes servicios a sus clientes, prevenga y solucione anticipadamente problemas potenciales dentro de la organización. Por medio de la capacitación se logra que el perfil del recurso humano se adecue a las necesidades de conocimientos, habilidades y actitudes, requeridos en un puesto de trabajo (Carrillo, 2015).

Invertir en la formación de los colaboradores mejora la eficiencia, la seguridad y la calidad del trabajo en el taller, optimizando el rendimiento de las máquinas y procesos. Reduce el riesgo de fallas, minimiza errores, fomenta la seguridad, promueve una cultura

de mejora continua, estandariza procedimientos y permite la adaptación a nuevas tecnologías.

Propuestas Kaizen:

Yeison Andrés Atehortua Tapias, estudiante de Ingeniería Industrial de la Universidad Tecnológica de Pereira de Colombia, en su proyecto académico “Kaizen: un caso de estudio” publicado en agosto del año 2010 por la revista Scientia Et Technica, menciona que el significado del Kaizen proviene de dos ideogramas japoneses: “Kai” que significa cambio y “Zen” que quiere decir para mejorar. Así, se puede decir que “Kaizen” es “cambio para mejorar” o “mejoramiento continuo”. Los dos pilares que sustentan Kaizen son los equipos de trabajo y la Ingeniería Industrial, que se emplean para mejorar los procesos productivos. De hecho, Kaizen se enfoca en la gente y en la estandarización de los procesos. Su práctica requiere de un equipo integrado por personal de producción, mantenimiento, calidad, ingeniería, compras y demás colaboradores que el equipo considere necesario. Su objetivo es incrementar la productividad, controlando los procesos de manufactura mediante la reducción de tiempos de ciclo, la estandarización de criterios de calidad, y de los métodos de trabajo por operación (Tapias y Correa, 2010).

Kaizen promueve la mejora continua en el mantenimiento preventivo mediante pequeños cambios frecuentes y el compromiso del personal. Aumenta la eficiencia, reduce mermas, optimiza procesos, facilita la retroalimentación, mide resultados, fomenta la calidad y contribuye a la sostenibilidad a largo plazo del taller.

Indicadores de mantenimiento (KPI):

De acuerdo con la publicación “Medición del desempeño y éxito en la dirección de proyectos. Perspectiva del Manager público” de la revista Escuela de Administración de Negocios de la Universidad EAN de Colombia, en diciembre del 2012, habitualmente el rendimiento de proyectos es medido a través de métricas, conocidas también como indicadores clave de rendimiento o Key Performance Indicators (KPI). Los sistemas de gestión del rendimiento en proyectos se definen como el conjunto de indicadores o medidas de rendimiento, utilizados para cuantificar la eficiencia y la eficacia de las acciones. En ese mismo orden de ideas, la gestión del rendimiento en proyectos consiste

en el establecimiento de metas de desempeño y en la aplicación de un proceso de medición con KPI para establecer la diferencia entre metas y resultados (Silva, Ezcurdia, Ramos y Guerra, 2012).

Los KPI son fundamentales para implementar y supervisar un plan de mantenimiento preventivo. Permiten medir el desempeño, identificar áreas de mejora, facilitar la toma de decisiones, optimizar operaciones, reducir costos y aumentar la eficiencia, estableciendo metas claras y mejorando la productividad. También revelan necesidades de capacitación y fomentan una cultura de mejora continua.

Análisis de costos:

Ruiz, Trejo, Pedroza y Vargas, de la Universidad Autónoma Chapingo de México, en su artículo “Análisis de costos en la captación agua de lluvia en el CAIS-URUZA-UACH, México”, publicado en el año 2007 por la revista Chapingo Serie Zonas Áridas, mencionan que el análisis de costos permite definir la factibilidad de las alternativas planteadas o del proyecto a ser desarrollado, cuyo objetivo es proporcionar una medida de los costos en que se incurre en la realización de un proyecto, y la utilidad es valorar la necesidad y oportunidad de acometer la realización del proyecto; seleccionar la alternativa más beneficiosa para realizarlo, y estimar adecuadamente los recursos económicos necesarios en el plazo en que se realice. (Torres, Calzada, Sandoval y Trujillo, 2006). (Ruiz, Trejo, Pedroza y Vargas, 2006).

Un análisis de costos para el plan de mantenimiento preventivo es esencial para optimizar recursos, mejorar la rentabilidad y fomentar la eficiencia en el taller. Permite evaluar la efectividad del mantenimiento, justificar los costos a largo plazo y revelar ineficiencias.

Retorno sobre la inversión (ROI):

Según Jenny Chaverri Jiménez y Daniel Madrigal Salazar, ingenieros y profesores de la Universidad de Costa Rica, es su texto “Modelos de optimización lineal para realizar planes de inversiones de largo plazo en una red de pavimentos” publicado en septiembre del año 2011 por la revista Infraestructura Vial, el ROI, o Retorno de la Inversión, va más allá de ser una simple métrica financiera; es un indicador multifacético que ofrece una

visión holística de la rentabilidad de una inversión en diversos contextos empresariales. Aunque comúnmente asociado con campañas de mercadeo digital en redes sociales, su alcance se extiende a todas las áreas de una empresa. En su esencia, el ROI evalúa el rendimiento económico de una inversión en relación con su costo inicial. Es fundamental comprender que el ROI no se limita a una fórmula matemática; más bien, representa una herramienta estratégica que refleja el valor generado por una inversión en términos de impacto y resultados tangibles (Jiménez y Salazar, 2011).

El análisis del ROI en el plan de mantenimiento preventivo es esencial para maximizar beneficios económicos y operativos, tomar decisiones informadas, priorizar inversiones y demostrar el valor del mantenimiento en el taller, asegurando operaciones eficientes y rentables a largo plazo.

Método de ruta crítica (CPM):

Sinuhé Sáyago Campos, estudiante del Instituto Politécnico Nacional de Tecamachalco en México, en su tesina para obtener el título de ingeniero arquitecto titulada “La administración en el proceso constructivo” en el año 2018, menciona que el CPM es una herramienta de gestión que optimiza una secuencia de actividades, diseñadas para asegurar la finalización de un proyecto dentro del tiempo previsto. Considera que las estimaciones de tiempo son deterministas y se pueden utilizar para abordar escenarios complejos. Por otra parte, en un proyecto hay factores impredecibles como el mal tiempo climático, laboral, accidentes y retrasos en la entrega de materiales que pueden alterar el cronograma de trabajo ante las incertidumbres que enfrenta el proyecto de ofertas.

En la implementación de un plan de mantenimiento preventivo para tornos y fresadoras, el uso del CPM no solo potencia la gestión del tiempo y los recursos, sino que también garantiza una operación más fluida y efectiva del sistema.

El CPM ayuda a identificar todas las tareas necesarias para desarrollar e implementar el plan de mantenimiento, desde la inspección inicial hasta la formación del personal.

Diagrama de Gantt:

De acuerdo con el artículo “Procedimiento para la síntesis y diseño óptimo de plantas discontinuas (Parte I)”, publicado en diciembre del año 2012 por la revista Tecnología Química de la Universidad de Oriente Santiago de Cuba, para la representación del proceso sintetizado, la representación gráfica más empleada es el diagrama de Gantt, el cual es un tipo de gráfico de barras que ilustra el nivel de utilización de las unidades de proceso y almacenamiento por los diversos productos a lo largo del tiempo –o sea la organización del proyecto–, e ilustra las fechas de inicio y terminación de cada una de las operaciones. A pesar de que el diagrama de Gantt es muy útil y valioso para pequeños proyectos, puede ser un inconveniente para los grandes proyectos (Carvajal, Corsano, Cortés y Suárez, 2012).

Implementar un diagrama de Gantt en este estudio mejorará la organización, planeamiento y gestión de tiempo y recursos. Facilita la visualización de actividades, la planificación anticipada, la asignación de recursos, el monitoreo en tiempo real, la identificación de prioridades y la reducción de duplicación de esfuerzos.

Análisis ambiental:

Según Niurka Carrión Santa Cruz, Odalys Quevedo Álvarez y Yamila Navarro Sosa del Centro de Investigación del Petróleo de Cuba, en su artículo “Evaluación de impactos ambientales en un laboratorio de análisis físico químico de combustibles”, publicado en abril del año 2022, indican que las organizaciones tienen un impacto sobre el medio ambiente y, a su vez, pueden verse afectadas por este. Para lograr una gestión ambiental eficaz, las organizaciones deben identificar los elementos de sus actividades, productos y servicios que interactúan o puedan interactuar con el medio ambiente, lo que se define como aspecto ambiental.

Las organizaciones, ya sean públicas o privadas, grandes o pequeñas, pertenecientes a economías desarrolladas o emergentes, poseen un impacto sobre el medio ambiente. Actualmente, existe un entendimiento cada vez mayor de que el desarrollo y bienestar humano están sujetos a la preservación y conservación de los recursos naturales, de los que depende toda la actividad y productividad humana. Lograr

un desempeño ambiental sólido requiere un compromiso de la organización hacia un enfoque sistemático y la mejora continua de su sistema de gestión ambiental (Cruz, Álvarez y Sosa, 2022).

Un análisis ambiental permite identificar posibles riesgos y aspectos ambientales asociados con el funcionamiento del taller, como contaminantes y mermas. Esto es esencial para prevenir daños al medio ambiente y asegurarse de que el mantenimiento esté alineado con las normativas.

2.2 IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA

A continuación, se verán los detalles más importantes de la empresa Taller Industrial FAMIR de Alajuela.

2.2.1 Visión / Misión

La visión y misión de la empresa taller se muestran a continuación.

Visión:

"Contribuir a la innovación y el desarrollo de la industria de la metalmecánica, poniendo a su disposición nuestros servicios de máxima calidad en mecánica de precisión, reparación de máquinas y soldaduras especiales".

Misión:

"Ser un referente dentro del sector de la industria de la metalmecánica por parte de sus clientes, colaboradores y proveedores, así como de todos los grupos de interés relacionados con la actividad de nuestra empresa".

2.2.2 Antecedentes históricos

El taller es un establecimiento de metalmecánica que ha estado presente en el mercado nacional durante más de cuarenta años, brindando sus servicios a numerosas empresas ubicadas en todo el territorio de Costa Rica. Entre estas empresas se incluyen ingenios azucareros, plantas de producción de aceite, beneficios de café, centrales generadoras de energía (hidráulicas, eólicas y térmicas), talleres mecánicos, talleres

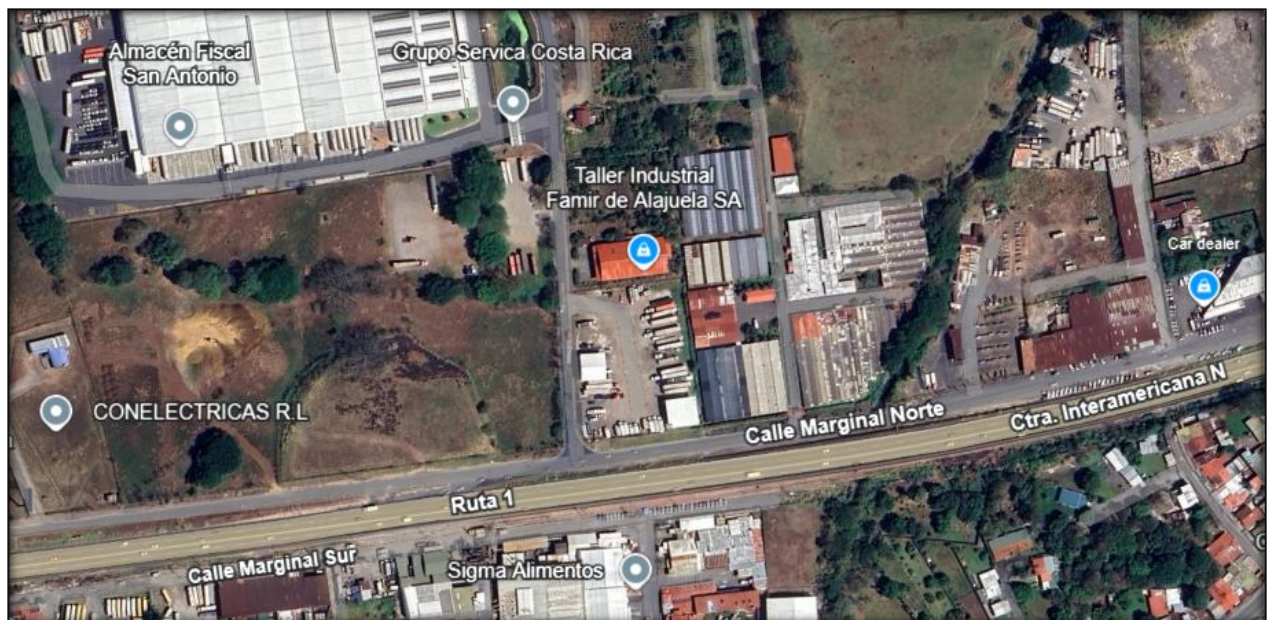
eléctricos, panificadoras, entre otros. El taller fue fundado en 1978 por el señor José Antonio Ramírez Delgado y comenzó sus actividades enfocándose en soldadura y ofreciendo asesoramiento a pequeñas industrias en sistemas mecánicos.

2.2.3 Ubicación geográfica

La ubicación del taller es 300 metros al sur de la Zona Franca ZETA, en la provincia de Alajuela.

Figura 2.1

Mapa satelital del Taller Industrial FAMIR de Alajuela



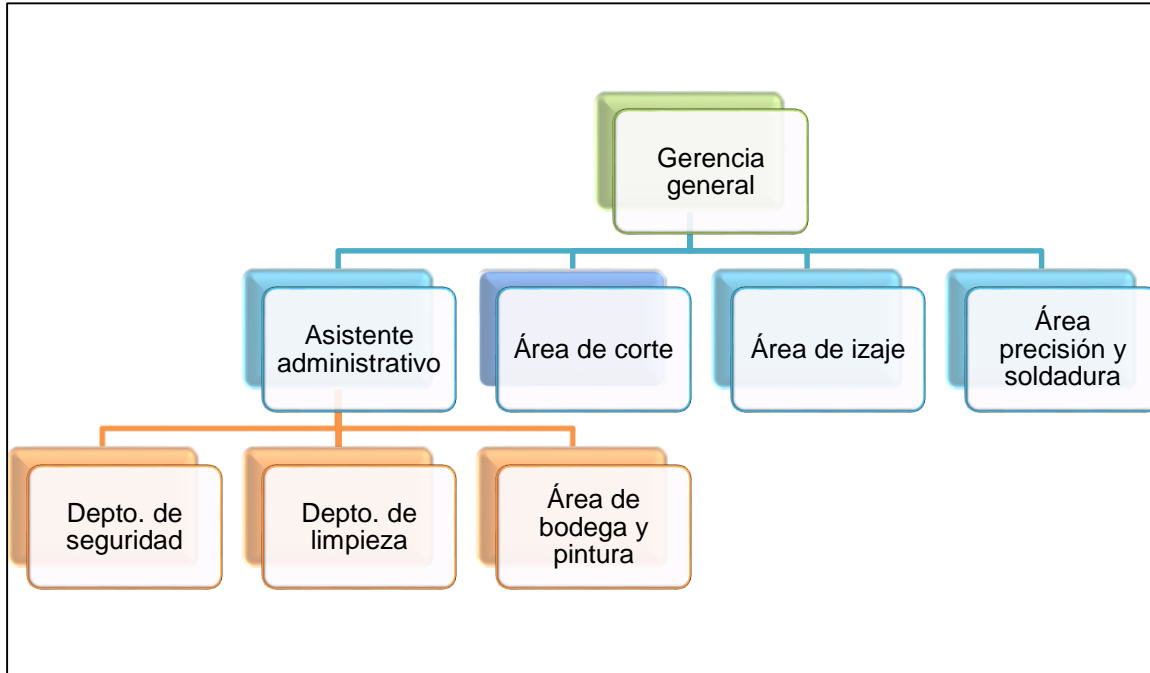
Fuente: earth.google.com, 2024.

2.2.4 Estructura organizacional

El organigrama del taller se muestra a continuación:

Figura 2.2

Organigrama del Taller Industrial FAMIR de Alajuela



Fuente: Taller Industrial FAMIR de Alajuela, 2024.

En el taller, José Antonio Ramírez Delgado ocupa el cargo de Gerente General, donde sus responsabilidades incluyen no solo la administración del taller, sino también la coordinación, asignación y supervisión de los trabajos, atención a los clientes, reclutamiento de nuevo personal y liderazgo hacia los colaboradores de manufactura. Además, hay una asistente administrativa que se encarga de diversas tareas, como realizar los pagos a los proveedores, confirmar los ingresos por los trabajos realizados, enviar cotizaciones a los clientes, gestionar los pagos de salarios y vacaciones, atender las llamadas externas y, en general, satisfacer cualquier otro requerimiento de los colaboradores.

En lo que respecta a asuntos legales y contables, el taller recurre a empresas externas para manejar esas funciones, las cuales reportan directamente al señor José Antonio Ramírez Delgado.

2.2.5 Cantidad de colaboradores

La cantidad de colaboradores por área del taller se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2.1

Cantidad de colaboradores por área del Taller Industrial FAMIR de Alajuela

Área	Sexo	Cantidad
Gerencia general	Masculino	1
Asistente administrativo	Femenino	1
Área de precisión	Masculino	4
Área de izaje	Masculino	1
Área de corte y soldadura	Masculino	2
Área de bodega y pintura	Masculino	1
Departamento de seguridad	Masculino	1
Departamento de limpieza	Femenino	1
Total		12

Fuente: Taller Industrial FAMIR de Alajuela, 2024.

2.2.6 Tipos de productos

El taller proporciona servicios de mantenimiento para maquinarias industriales, incluyendo molinos, tolvas, inyectoras y etiquetadoras. También realizan rectificado y la fabricación de moldes completos en diferentes dimensiones y formas. Además, se producen repuestos solicitados por los clientes, como ejes, piñones, acoples, vástagos, émbolos, camisas de cilindros, placas, dispositivos especiales, bujes y tornillería de especificaciones especiales.

A continuación, se muestran algunos de los trabajos realizados en el área de precisión del taller.

Figura 2.3

Ejemplos de trabajos realizados en el área de precisión del Taller Industrial FAMIR de Alajuela



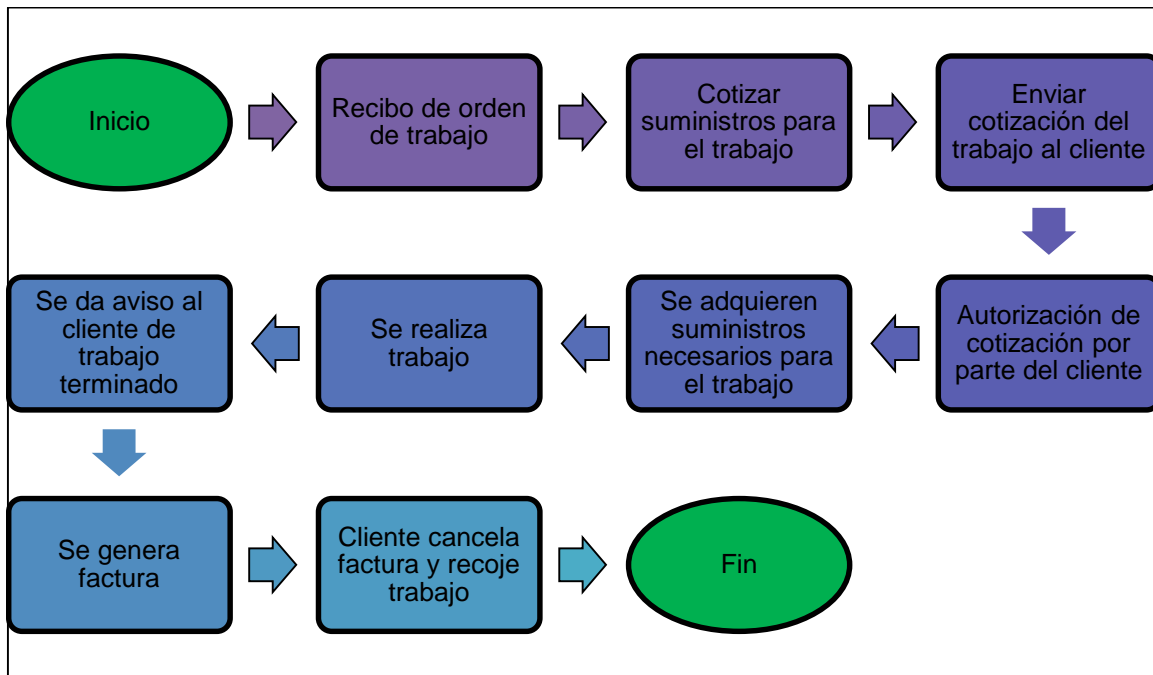
Fuente: Taller Industrial FAMIR de Alajuela, 2024.

2.2.7 Descripción general del proceso productivo

En la siguiente figura, se presenta el proceso productivo al momento de recibir una solicitud de servicio por parte del cliente en el taller.

Figura 2.4

Proceso productivo del Taller Industrial FAMIR de Alajuela



Fuente: Taller Industrial FAMIR de Alajuela, 2024.

2.2.8 Áreas productivas

A continuación, se presenta la descripción de las áreas productivas del taller:

Área de precisión:

En el área de precisión, se realizan los mecanizados necesarios para darle las medidas correctas a las piezas que se están reparando o fabricando. Los tornos y las fresadoras son dos tipos de las máquinas más empleadas. El taller cuenta con tres tornos y dos fresadoras.

Área de izaje:

Acá el proceso es de levantar y mover cargas pesadas utilizando máquinas especializadas, como grúas, polipastos y tacles. En el taller, en ocasiones, llegan órdenes de servicio de clientes en donde el trabajo requiere levantar objetos grandes y pesados como *container* o excavadoras.

Área de corte y soldadura:

Es donde se cortan los materiales como láminas de acero o aluminio y consiste en aplicar una fuerza de corte mediante dos cuchillas afiladas que se mueven en direcciones

opuestas, separando el metal de forma limpia y precisa. En el taller, cuenta con dos sierras tronadoras, una máquina de corte plasma, una amoladora y dos sierras de cinta.

En la parte de soldadura se encuentran máquinas que se utilizan para unir piezas o realizar rellenos cuando es necesario, que se encargan de fusionar piezas metálicas a través de la aplicación de calor intenso, creando así una única pieza rígida y homogénea. El taller cuenta con una variedad de máquinas entre las cuales se tiene dos soldadoras TIG, dos soldadoras MIG y una soldadora STICK.

2.2.9 Caracterización de los tornos y fresadoras del área de precisión

El taller dispone en sus instalaciones de máquinas para procesos de manufactura en el área de precisión, incluyendo tres tornos que llevan a cabo diversas operaciones como rectificado, cilindrado, taladrado, roscado, entre otras. Además, cuentan con dos fresadoras que se utilizan para alejar, rectificar, taladrar y realizar otras operaciones similares.

A continuación, se muestran los tornos y las fresadoras para los procesos de manufactura en el área de precisión del taller:

Figura 2.5

Torno TOS Trencin modelo SN 50 C



Fuente: Taller Industrial FAMIR de Alajuela, 2024.

Figura 2.6

Torno LA modelo 560X2000



Fuente: Taller Industrial FAMIR de Alajuela, 2024.

Figura 2.7

Torno Jashone modelo M180E



Fuente: Taller Industrial FAMIR de Alajuela, 2024.

Figura 2.8

Fresadora Partner modelo VKM4



Fuente: Taller Industrial FAMIR de Alajuela, 2024.

Figura 2.9

Fresadora Frejoth modelo 500-4200



Fuente: Taller Industrial FAMIR de Alajuela, 2024.

2.2.10 Análisis actual de mantenimiento

En la actualidad, el taller realiza ciertas actividades de limpieza y lubricación en los tornos y las fresadoras; sin embargo, estas actividades no se realizan de forma programada ni coordinada y tampoco se cuenta con los registros respectivos.

Ocasionalmente, los colaboradores recogen los residuos generados por el mecanizado, comúnmente conocidos como virutas, depositándolos en un estanque y asegurándose de que las superficies de las máquinas queden libres de este material.

Esporádicamente, se lubrican los rieles y guías de los tornos y las fresadoras para prevenir la corrosión, reducir la fricción y evitar el desgaste prematuro de las partes móviles. Para estas tareas, utilizan aceite AW ISO32. Por otro lado, para las cajas de velocidades de los tornos y las fresadoras aplican aceite AW ISO68.

Además, como se mencionó, el taller no cuenta con registros de estas intervenciones mediante órdenes de mantenimiento. No existen hojas de vida de las máquinas ni de información necesaria para crear las fichas técnicas. El taller no tiene actividades programadas, lo que indica que no existe un mantenimiento preventivo.

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

Paul A. Torres Fernández, en su artículo “Acerca de los enfoques cuantitativo y cualitativo en la investigación educativa cubana actual”, publicado en febrero del año 2016 por el Instituto Central de Ciencias Pedagógicas de Cuba, se refiere a que en el enfoque cuantitativo se parte de identificar y formular un problema científico, seguido de una revisión de la literatura afín al tema, con la que se construye un marco teórico referencial; posteriormente y sobre la base de esos dos aspectos se formulan hipótesis de investigación. En estas últimas, se precisan las variables fundamentales de la investigación, las que son definidas conceptual y operacionalmente. De ese último proceso resulta un conjunto de indicadores con los que se construyen los reactivos que dan lugar a los instrumentos de investigación, siempre de carácter estructurado. Con ellos se obtienen datos, los que son procesados con recursos estadísticos potentes con la intención de confirmar o refutar las hipótesis inicialmente establecidas.

En cambio, en el enfoque cualitativo el investigador parte también de plantearse un problema científico, como es de esperar, pero no sigue un proceso claramente definido, sus planteamientos no son tan específicos como en el enfoque cuantitativo y las preguntas de investigación no siempre se han conceptualizado ni definido por completo. En consecuencia, en el enfoque cualitativo por lo general no se prueban hipótesis, estas se generan durante el proceso y van refinándose conforme se recaban más datos o son un resultado del estudio. Otra característica singular del enfoque cualitativo es que se apoya en métodos de recolección de datos no estandarizados ni completamente predeterminados, y la recolección de datos consiste en obtener las perspectivas y puntos de vista de los participantes (sus emociones, prioridades, experiencias, significados y otros aspectos subjetivos) (Fernández, 2016).

El enfoque de esta investigación es mixto, lo que significa que combina metodologías cuantitativas y cualitativas en un mismo estudio. Se utiliza una estrategia secuencial explicativa, donde primero se recogen datos cuantitativos y, posteriormente, se utilizan los resultados cualitativos para interpretar y explicar estos datos iniciales. En este caso, el orden es cuantitativo seguido de cualitativo, con el objetivo de profundizar en la comprensión de las relaciones entre los datos.

Emplear un enfoque de investigación mixto con esta estrategia para crear un plan de mantenimiento preventivo contribuirá a una mejor comprensión del entorno y las necesidades del taller. La combinación de datos cuantitativos (como las tasas de horas en que los tornos y las fresadoras no están operativos, los costos de repuestos y de mano de obra) con datos cualitativos (que incluyen las opiniones de los colaboradores y observaciones en el taller) ofrecerá una visión integral sobre el estado actual del mantenimiento.

Utilizar datos cuantitativos puede evidenciar la existencia de un problema, mientras que los datos cualitativos ayudan a comprender las razones detrás de esos problemas. Esta comprensión es fundamental para desarrollar estrategias de mantenimiento efectivas.

Además, este enfoque de investigación permitirá priorizar las estrategias de mantenimiento según datos y percepciones de los trabajadores. Así, se podrán concentrar los recursos en las áreas más críticas del taller, y la gerencia podrá tomar decisiones más informadas sobre el diseño e implementación del plan de mantenimiento preventivo. Esto no solo aumentará la eficacia del plan, sino que también fomentará la participación y el compromiso de los colaboradores. Al involucrarlos en el proceso, se facilitará la aceptación del plan de mantenimiento preventivo, lo cual crea una cultura de mejora continua y colaboración. Por último, al permitir ciclos de evaluación continua, se podrán ajustar los enfoques de mantenimiento a medida que se recopilen nuevos datos, disminuyendo así el riesgo de cometer errores en la gestión del mantenimiento.

3.2 MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

Para el presente proyecto de investigación, será aplicada la metodología DMAIC como principal elemento debido a que presenta un marco de trabajo claro y estructurado a través de cada fase del proceso de mejora. Esto asegura que el proyecto se aborde de manera lógica y completa, en lugar de depender de soluciones rápidas o cambios aleatorios.

Además, el DMAIC se basa en la recopilación y análisis de datos para comprender el estado actual del proceso, identificar las causas raíz de los problemas y medir el impacto de las mejoras implementadas.

En comparación con otras metodologías, el DMAIC ofrece una mayor probabilidad de éxito en la implementación de un plan de mantenimiento preventivo efectivo y sostenible. Su enfoque en datos, la mejora continua y la participación de los colaboradores la convierten en una opción sólida para optimizar los procesos y lograr resultados medibles.

La metodología DMAIC lleva a cabo el desarrollo en cinco etapas, que, para propósito de este proyecto de investigación, se desarrollarán de la siguiente forma.

Tabla 3.1
Metodología DMAIC de la investigación

D	M	A	I	C
Definir	Medir	Analizar	Mejorar	Controlar
Análisis de Stakeholders	Tabulación de datos	Entrevistas	Análisis de modos de efectos y fallas (AMEF)	Indicadores de mantenimiento (KPI)
Diagrama SIPOC	Gráficos de control	Lluvia de ideas	Actividades de mantenimiento	Análisis de costos
Diagrama de flujo		Diagrama de Ishikawa	Plan de capacitación técnica	Retorno sobre la inversión (ROI)
Análisis FODA		Multivoto	Kaizen	Método de ruta crítica (CPM)
		Diagrama Pareto		Diagrama Gantt

				Análisis ambiental
--	--	--	--	--------------------

Fuente: Elaboración propia, 2024.

A continuación, se muestra el uso de las herramientas ingenieriles utilizadas, así como su aplicación en cada una de las etapas desarrolladas en el DMAIC, para crear una guía del desarrollo del proyecto en el taller:

Definir:

Con el objeto de definir la situación actual de la empresa, se llevará a cabo un análisis para identificar a las personas clave. Además, se utilizará un diagrama SIPOC para mapear el proceso de producción de los tornos y las fresadoras, identificando los proveedores (S), las entradas (I), el proceso (P), las salidas (O) y los clientes (C). Esto dará una visión general del proceso y ayudará a identificar posibles puntos débiles. También se elaborará un diagrama de flujo que detalla visualmente el proceso. Por otra parte, se realizará un análisis FODA (fortalezas, oportunidades, debilidades, amenazas), que ayudará a identificar áreas de mejora y posibles riesgos.

Medir:

En esta etapa, se recolectarán datos sobre los tiempos en horas y el valor en dinero de esos tiempos en que los tornos y las fresadoras del área de precisión no están disponibles para la producción, así como datos de los gastos en refacciones en que el taller incurre en las reparaciones de fallas imprevistas. Con esta información, se crearán gráficos de control para monitorear la tendencia del tiempo de indisponibilidad y detectar variaciones significativas.

Analizar:

En esta fase, se evaluará la causa raíz de la indisponibilidad para la producción de los tornos y las fresadoras en el área de precisión del taller. Para ello, se llevarán a cabo entrevistas con los colaboradores del área de precisión, así como sesiones de lluvia de ideas para identificar posibles causas no documentadas. Luego, se utilizará un diagrama

de Ishikawa, para organizar las causas identificadas en categorías. Posteriormente, se aplicará una técnica de Multivoto, para priorizar las causas identificadas por los colaboradores. Finalmente, se empleará un diagrama de Pareto para aislar las causas críticas que necesitan ser corregidas, enfocando los esfuerzos en aquellas que tienen el mayor impacto.

Mejorar:

En esta etapa, se realiza un Análisis de modos de efectos y fallas (AMEF) para identificar los modos de falla potenciales de los tornos y las fresadoras. Además, se llevarán a cabo actividades de mantenimiento preventivo con los modos de falla identificados en el AMEF para asegurar la cobertura adecuada y se desarrolla un plan de capacitación técnica para los colaboradores del área de precisión, asegurando que tengan las habilidades necesarias para ejecutar las actividades del plan de mantenimiento preventivo. Finalmente, se dará la generación de propuestas Kaizen para identificar y eliminar barreras a la implementación del plan de mantenimiento preventivo.

Controlar:

En esta fase, se propone la creación de indicadores clave de desempeño (KPI) claros y medibles para el seguimiento del desempeño del mantenimiento preventivo. Además, se llevará a cabo un análisis de costos para determinar el costo total del mantenimiento preventivo a través del retorno de la inversión (ROI) para evaluar la rentabilidad del plan de mantenimiento preventivo, para asegurar una implementación y evitar retrasos en el plan de mantenimiento preventivo. Se aplicará el método de ruta crítica (CPM) y el diagrama de Gantt para planificar y monitorear el cumplimiento del cronograma referente al plan de mantenimiento preventivo. Finalmente, se llevará a cabo un análisis ambiental para identificar los impactos ambientales asociados con las actividades de mantenimiento preventivo y proponer medidas para reducirlos.

3.3 FUENTES DE INFORMACIÓN

Por fuente de información se entiende cualquier instrumento o recurso, que pueda servir para satisfacer una necesidad informativa. El objetivo de las fuentes de información es facilitar la localización e identificación de documentos. Es necesario considerar el tipo de fuentes de información que se consultarán para los trabajos de estudio. El estudiante debe seleccionar las fuentes que le proporcionen la información a un nivel adecuado a sus necesidades.

Las fuentes de información, de forma básica, pueden clasificarse en fuentes primarias, que son las que contienen información original que ha sido publicada por primera vez y que no ha sido filtrada, interpretada o evaluada por nadie más. Son producto de una investigación o de una actividad eminentemente creativa. Componen la colección básica de una biblioteca y pueden encontrarse en soporte impreso o digital. Por otro lado, están las fuentes secundarias, que son las que están diseñadas para facilitar y maximizar el acceso a las fuentes primarias o a sus contenidos. Se utilizan cuando no se tiene acceso a la fuente primaria por una razón específica (Universidad de Valencia, 2022).

Para la elaboración de este proyecto, la recolección de información se llevó a cabo a través de diversos métodos, incluyendo archivos documentados por el taller y también información transmitida verbalmente, dependiendo de la memoria del Gerente General, el señor José Antonio Ramírez Delgado, ya que no se contaba con todos los soportes documentales necesarios.

Fuentes primarias:

Copias de facturas físicas.

Registros electrónicos relacionados con la operación del taller.

Información recabada del personal administrativo y operativo.

Fuentes secundarias:

Datos de lubricantes y otros insumos.

Recursos en internet, incluyendo publicaciones, proyectos de graduación y artículos de investigación en revistas.

3.3.1 Sujetos de información

Para esta investigación, el primer contacto que aporta información crucial para el desarrollo del estudio es el Gerente General, el señor José Antonio Ramírez Delgado. Él es el responsable y administrador de la información relacionada con las fallas de los tornos y las fresadoras en el área de precisión del taller.

Además, se llevarán a cabo reuniones informales, consultas y entrevistas con los colaboradores del área de precisión para obtener sus perspectivas y experiencias, enriqueciendo así la información recopilada.

3.4 VARIABLES DE ANÁLISIS

La variable hace referencia a aquellas características que se pueden medir a partir de escalas (convertir la cualidad en una cantidad o un número). Por su parte, los conceptos y categorías son elementos que dependen de la capacidad interpretativa de las personas. En otras palabras, su interpretación es subjetiva y esta cualidad hace que no sea uniforme lo que se entiende de estos. Es por ello que en diversas investigaciones se hace necesario convertir los conceptos en variables para el caso cuantitativo y, en el caso cualitativo, se usan procesos interpretativos para el entendimiento de la prueba (Centro de Investigación en Cultura y Desarrollo, 2021).

A continuación, se observa la tabla de variables de esta investigación.

Tabla 3.2

Variables de la investigación por objetivo específico

Objetivo específico	Variable	Definición conceptual	Operacionalización	Instrumentalización
Exponer las causas que provocan los tiempos de indisponibilidad para la producción de los tornos y las fresadoras del área de precisión.	Causas críticas de la indisponibilidad de los tornos y las fresadoras para la producción.	“Factores o razones principales que contribuyen de manera significativa al tiempo en que los tornos y fresadoras no están disponibles para la producción”.	Causas identificadas y priorizadas a través del análisis de datos recopilados.	Stakeholders Diagrama SIPOC Diagrama de flujo FODA Tabulación de datos Gráficos de control Entrevistas Lluvia de ideas Diagrama de Ishikawa Multivoto Diagrama de Pareto
Desarrollar herramientas que permitan estandarizar el plan de mantenimiento preventivo de los tornos y las fresadoras del área de precisión.	Estandarización del plan de mantenimiento preventivo.	“El grado en que el plan de mantenimiento preventivo para los tornos y las fresadoras del área de precisión está documentado, es consistente, repetible y	Nivel de estandarización alcanzado, medido a través de la implementación y evaluación de herramientas.	Análisis de modos de efectos y fallas (AMEF) Actividades de mantenimiento Plan de capacitación técnica Propuestas Kaisen

		aplicado de manera uniforme en el tiempo”.		
Establecer controles que permitan el seguimiento del plan de mantenimiento preventivo de los tornos y las fresadoras del área de precisión.	Control del plan de mantenimiento preventivo	“La capacidad de monitorear, medir y evaluar el desempeño del plan de mantenimiento preventivo, identificar desviaciones y tomar acciones correctivas para asegurar el cumplimiento de los objetivos establecidos”.	El grado en que se implementan y utilizan mecanismos de control para el seguimiento del plan de mantenimiento preventivo.	KPI Análisis de costos Retorno sobre la inversión (ROI) Método de ruta crítica (CPM) Diagrama de Gantt Análisis ambiental

Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.5 INSTRUMENTOS

Para alcanzar cada uno de los objetivos de la investigación, es fundamental contar con herramientas y técnicas específicas, las cuales se desglosan a continuación.

Observación:

Se utilizó la observación como un instrumento clave para obtener datos adicionales relevantes para el desarrollo del proyecto de investigación.

Reuniones:

Se llevaron a cabo diversas reuniones informales y una entrevista para la recolección de información, comenzando con sesiones de lluvia de ideas. Estas ideas fueron posteriormente clasificadas mediante un proceso de votación.

Herramientas ingenieriles:

Se emplearon herramientas ingenieriles para desarrollar estrategias relacionadas con el análisis, diseño, gestión e implementación de un plan de mantenimiento preventivo.

Documentación:

Se utilizó documentación registrada y verbal como instrumento para fomentar el intercambio de conocimientos y comprender mejor cómo funcionan los procesos de mantenimiento actuales en el taller.

3.6 PROCESO PARA LA RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

Para la recolección de datos específicos, tanto documentados como verbales, incluyendo costos de refacciones, costos de mano de obra externa y tiempos de indisponibilidad para la producción de los tornos y las fresadoras del área de precisión, se realizarán las consultas correspondientes al Gerente General del taller y a los colaboradores del área de precisión.

A continuación, se presenta una tabla que muestra cada uno de los pasos a seguir en este estudio, así como las herramientas utilizadas en cada etapa de la metodología vigente, que es la metodología DMAIC.

Tabla 3.3

Proceso de recolección y análisis de datos

DEFINIR	MEDIR	ANALIZAR
Análisis de <i>Stakeholders</i> Diagrama SIPOC Diagrama de Flujo Análisis FODA	Tabulación de datos Gráficos de control	Entrevistas Lluvia de ideas Diagrama de Ishikawa Multivoto Diagrama Pareto

Fuente: Elaboración propia, 2024.

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 DEFINIR

El estudio se llevará a cabo en la empresa Taller Industrial FAMIR de Alajuela, ubicada en el distrito de San Antonio del Tejar, en la provincia de Alajuela.

El problema actual se centra en los tornos y las fresadoras del área de precisión, donde los mantenimientos se realizan de manera imprevista. Esto significa que, al presentarse una falla en alguna de las máquinas, el proceso de producción se detiene, lo que genera gastos adicionales por refacciones y por la contratación de mano de obra externa. Como resultado, disminuye no solo la disponibilidad para la producción de las máquinas, sino que también provocan atrasos en la entrega de los trabajos finales a los clientes, lo que impacta negativamente en la satisfacción del cliente y en la eficiencia operativa del taller.

4.1.1 Análisis de *Stakeholders*

***Stakeholders* internos:**

Este grupo incluye los elementos esenciales para el funcionamiento del taller. La relación con ellos es directa y económica. Entre los *Stakeholders* internos se encuentran:

a) Propietario: El propietario es fundamental en la toma de decisiones estratégicas. Su visión y experiencia influyen en la dirección del taller, desde la definición de objetivos hasta la asignación de recursos. Su capacidad para identificar oportunidades y amenazas es crucial para la resiliencia del taller.

b) Inversionistas: Su apoyo no solo proporciona los recursos financieros necesarios, sino que también puede ofrecer conocimientos, conexiones y una visión estratégica que beneficie la operación y el crecimiento del negocio.

c) Colaboradores: Su rol va más allá de las tareas operativas; impactan en la cultura, la calidad, la innovación y la satisfacción del cliente. Una gestión adecuada de este grupo puede llevar al taller hacia el éxito y la sostenibilidad a largo plazo.

***Stakeholders* externos:**

Aunque no están vinculados directamente, estos grupos son parte de las actividades del taller. Entre los *Stakeholders* externos se incluyen:

a) Clientes: Su influencia va más allá de ser simples compradores; impactan en la estrategia, la calidad del servicio y la innovación. Escuchar y atender a los clientes no solo mejora la relación, sino que también es clave para el crecimiento sostenible del negocio.

b) Proveedores: Son una parte vital del ecosistema del taller. Su influencia abarca desde la calidad del producto final hasta la sostenibilidad y la rentabilidad. Construir y mantener relaciones efectivas con ellos es esencial para el éxito y la competitividad.

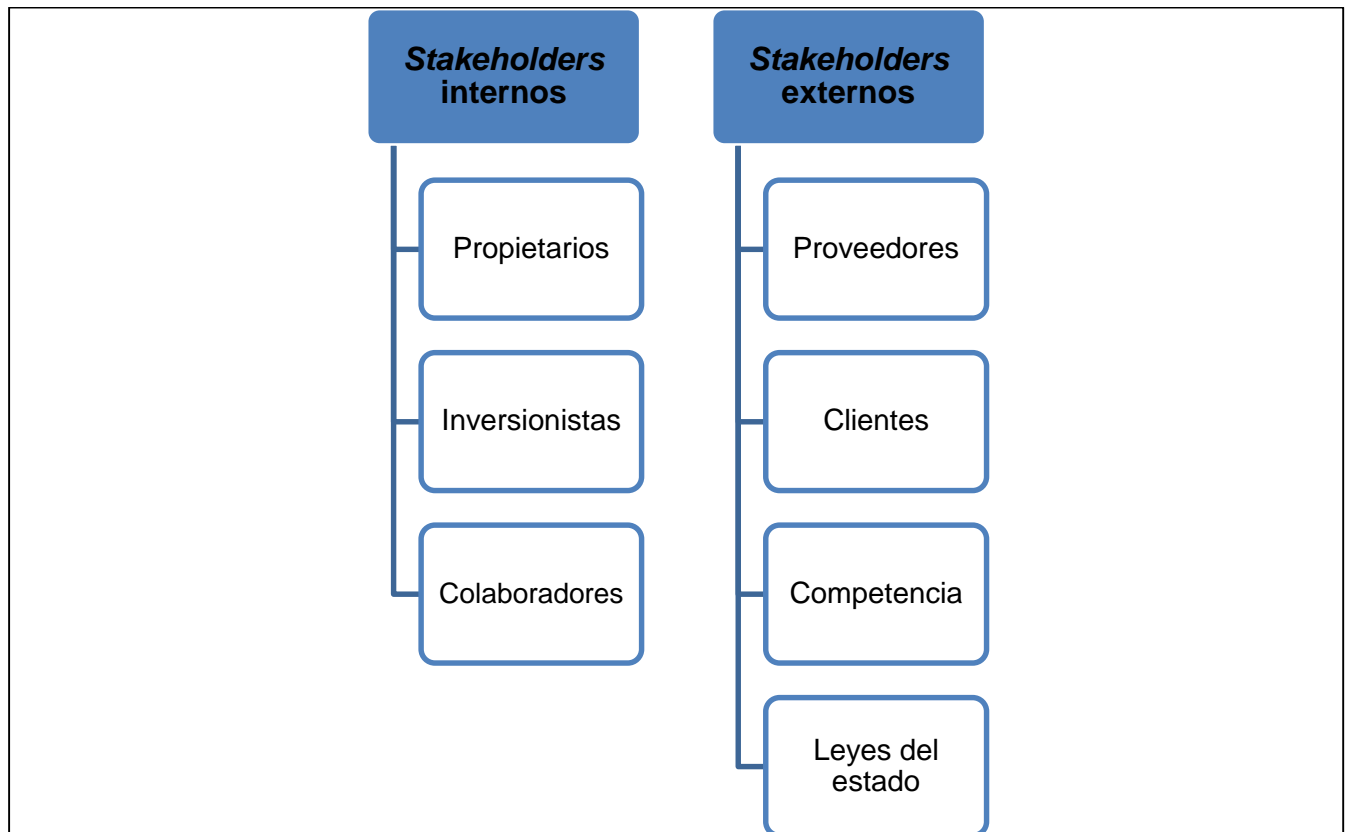
c) Competencia: La competencia influye en casi todos los aspectos de la operación del taller. Estar alerta y responder adecuadamente a los movimientos de los competidores es crucial para la formulación de estrategias efectivas y el éxito sostenido.

d) Leyes del Estado: Establecen el marco normativo en el que opera el negocio. Cumplir con estas leyes no solo evita problemas legales, sino que también contribuye al éxito y la sostenibilidad a largo plazo.

A continuación, se ilustran los *Stakeholders* del Taller Industrial FAMIR de Alajuela.

Figura 4.1

Stakeholders del Taller Industrial FAMIR de Alajuela



Fuente: Elaboración propia, 2025.

4.1.2 Diagrama SIPOC

El diagrama SIPOC tiene como objetivo identificar y describir los recursos, tanto humanos como materiales, que intervienen en el proceso del taller. Este diagrama también delinearé las salidas y entradas de las actividades, lo cual facilitará la implementación de un plan de mantenimiento preventivo. Al hacerlo, proporcionará una comprensión clara de los componentes y procesos involucrados.

A continuación, se presenta el diagrama SIPOC del taller.

Figura 4.2

Diagrama SIPOC del Taller Industrial FAMIR de Alajuela



Fuente: Elaboración propia, 2024.

4.1.3 Diagrama de flujo

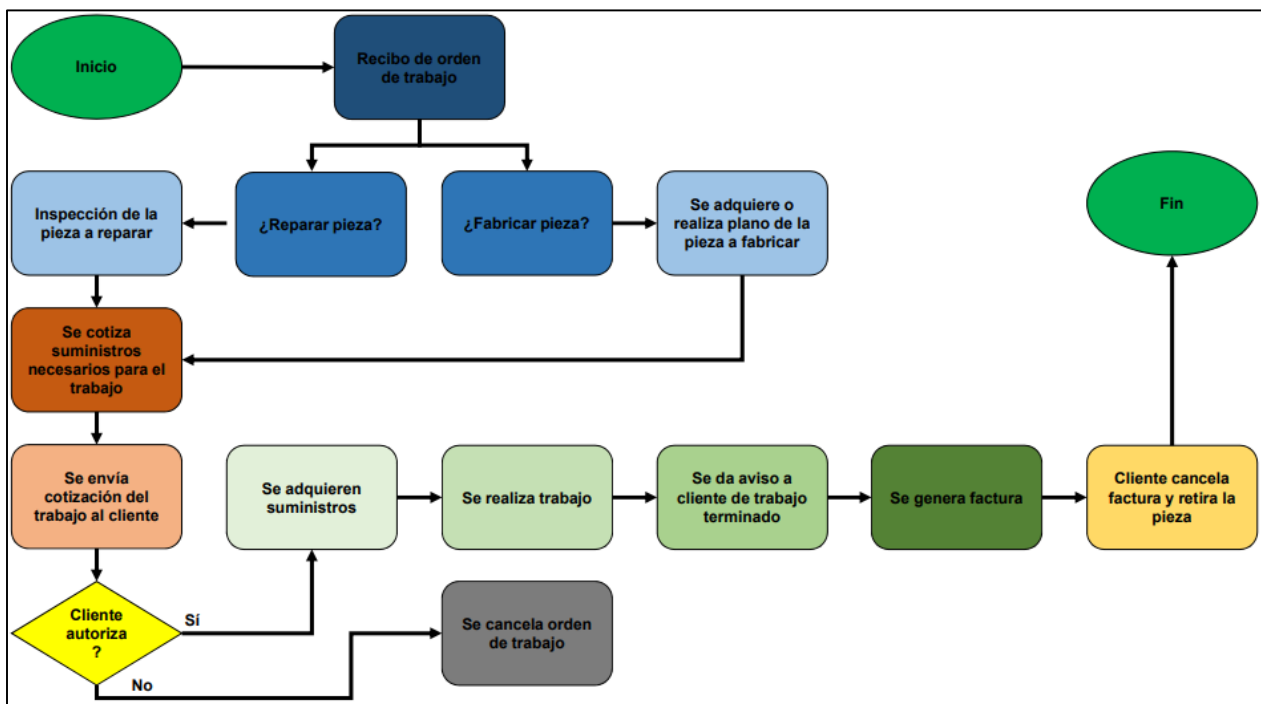
Un diagrama de flujo ofrece una representación visual del proceso en el taller, lo que facilita la comprensión de cada etapa, los roles involucrados y las interacciones entre ellos. Este diagrama es clave para implementar un plan de mantenimiento preventivo, ya que permite la visualización, estandarización, comunicación y mejora continua del proceso.

Este diagrama de flujo describe el proceso de gestión de órdenes de trabajo, desde la recepción inicial hasta la finalización y cobro. Incluye pasos clave como la inspección de la pieza, la cotización y la autorización del cliente, la adquisición de suministros y la comunicación con el cliente. La estructura del diagrama permite identificar fácilmente las decisiones a tomar en cada etapa y los flujos posibles, asegurando un manejo claro y eficiente del proceso de trabajo.

A continuación, se presenta el diagrama de flujo del proceso en el área de precisión:

Figura 4.3

Diagrama de flujo del proceso productivo del área de precisión del Taller Industrial FAMIR de Alajuela



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Explicación detallada del diagrama de flujo:

1. Inicio y recibo de la orden de trabajo:

Inicio: El proceso comienza con el inicio (Inicio).

Recepción de orden de trabajo: Se recibe una orden por parte del cliente para reparar o fabricar una pieza.

2. Inspección de la pieza:

Se realiza una inspección de la pieza a reparar. Esta etapa es crítica para determinar la naturaleza de las acciones que se deben tomar a continuación.

3. Decisión: reparar o fabricar:

¿Reparar pieza?: Si la pieza puede ser reparada, se toma el camino de reparación.

¿Fabricar pieza?: Si no puede ser reparada, se determina si es necesario fabricar una nueva pieza.

4. Cotización de suministros necesarios:

Independientemente del camino tomado (reparación o fabricación), se procede a cotizar los suministros necesarios para llevar a cabo el trabajo.

Envío de cotización: Se envía una cotización del trabajo al cliente para su revisión y autorización.

5. Decisión: autorización del cliente:

¿Cliente autoriza?: Aquí se toma una decisión fundamental:

Sí: Si el cliente autoriza, se procede a adquirir los suministros necesarios.

No: Si el cliente no autoriza, se cancela la orden de trabajo.

6. Adquisición de suministros:

Si el cliente ha dado su autorización, se adquieren los suministros necesarios para la reparación o fabricación.

7. Realización del trabajo:

Con los suministros en mano, se procede a realizar el trabajo de reparación o fabricación de la pieza.

8. Notificación al cliente:

Una vez terminado el trabajo, se notifica al cliente que su pedido ha sido completado.

9. Generación de factura:

Se genera la factura correspondiente por el servicio prestado, que se le enviará al cliente.

10. Finalización:

Fin: El proceso culmina cuando el cliente cancela la factura y retira la pieza reparada o fabricada.

4.1.4 Análisis FODA

Factores internos

Fortalezas:

a) Rentabilidad del sector metalmecánico: La industria metalmecánica es dinámica y competitiva, proporcionando maquinaria, herramientas y piezas a otras industrias.

b) Capacidad de adaptación: El asesoramiento al cliente ha establecido al taller como un negocio serio y competente.

c) Productos no perecederos: Los productos fabricados no se deterioran fácilmente y tienen una larga vida útil, dado que están compuestos principalmente de metales y plásticos.

d) Actividades bien definidas: El taller proporciona bienes de consumo y piezas fabricadas con metales y maquinaria a distintas cadenas de producción.

e) Mano de obra calificada: Los colaboradores del área de precisión cuentan con suficientes años de experiencia en metalmecánica.

f) Experiencia en el mercado: Con más de 40 años en el sector, el taller ha adquirido credibilidad y conocimiento específicos.

g) Ubicación estratégica: Su proximidad a zonas francas y vías de acceso como la ruta 1 y la ruta 27, así como la cercanía al Aeropuerto Internacional Juan Santamaría, le confiere ventajas logísticas.

Debilidades:

a) Producción con merma irre recuperable: La merma de los materiales utilizados en la producción son residuos que no pueden ser reutilizados.

b) Alto consumo de energía: Los tornos y las fresadoras requieren grandes cantidades de electricidad, con aproximadamente dos tercios consumidos por motores eléctricos.

c) Bajo nivel tecnológico: La mayoría de las máquinas del taller tienen más de 20 años de antigüedad.

d) Falta de estrategia de manufactura: No hay una estrategia clara debido a la naturaleza variada de los trabajos, lo que complica el ajuste a las necesidades de producción.

e) Altos costos de producción: Los precios de los productos metalúrgicos continúan aumentando, afectando la gestión de un inventario amplio de materiales.

Factores externos

Oportunidades:

a) Trabajo en turnos rotativos: Implementar esta modalidad mejoraría la operatividad y podría generar un ambiente de trabajo más dinámico.

b) Desarrollo de tecnologías propias: Crear tecnologías internas puede mejorar la producción y competitividad del taller.

c) Cooperación con otros proveedores: Colaborar con otros puede potenciar la capacidad de innovación y producción.

d) Acceso a tecnologías de alto nivel: Adoptar tecnologías avanzadas puede transformar la eficiencia y calidad del taller.

e) Crecimiento en la demanda del sector metalmecánico: Hay un alto potencial de crecimiento, lo que permite aumentar la producción y expandirse estratégicamente.

Amenazas:

a) Competencia de precios: La competencia en precios puede afectar la rentabilidad, pero estrategias de diferenciación pueden ayudar a mantener la competitividad.

b) Crisis económica y fluctuaciones monetarias: Estas situaciones pueden amenazar la viabilidad del taller, aunque una planificación estratégica puede ayudar a mitigar el impacto.

c) Altos costos de insumos: El incremento en los costos de insumos afecta la rentabilidad, aunque se pueden implementar estrategias para gestionarlos.

d) Cambio en las preferencias de los clientes: Adaptarse proactivamente a estas preferencias puede permitir crecer y evolucionar.

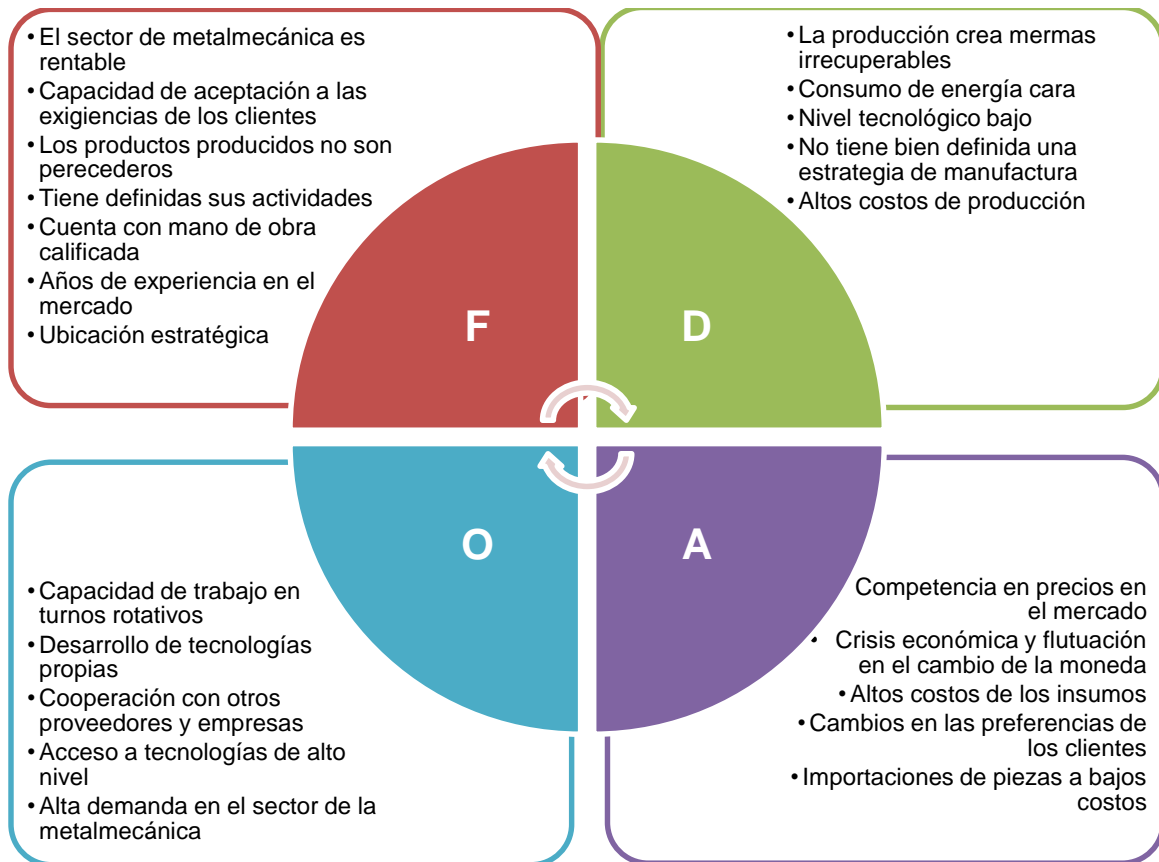
e) Pérdida de mercados por falta de tecnologías actuales: No adoptar nuevas tecnologías puede repercutir en la competitividad, pero implementar avances puede abrir nuevas oportunidades.

f) Importaciones de piezas a bajos costos: Esto puede ofrecer oportunidades para reducir costos y mejorar la competitividad en el mercado.

A continuación, en la siguiente figura se muestra el análisis FODA del taller:

Figura 4.4

Análisis FODA del Taller Industrial FAMIR de Alajuela



Fuente: Elaboración propia, 2024.

4.2 MEDIR

4.2.1 Recolección de datos

Las refacciones y la mano de obra externa para las reparaciones de fallas imprevistas de los tornos y las fresadoras en el área de precisión son gastos en los que incurre el taller sin ningún tipo de control, con el objetivo de evitar paros en la producción. Todos los datos recopilados en este apartado pertenecen al periodo que abarca desde el 1 de noviembre de 2023 hasta el 30 de octubre de 2024, en donde la información se

obtuvo a través de archivos documentados por el taller y otros datos transmitidos verbalmente, sin soportes documentales, confiando en la memoria del Gerente General, el señor José Antonio Ramírez Delgado.

Debido a que el taller no ha mantenido un registro documentado y consistente de los tiempos de disponibilidad de las máquinas, los costos de refacciones, ni los pagos por mano de obra externa, actualmente no se dispone de una base de datos histórica fiable. Esto significa que no es posible realizar una comparación precisa con los datos recopilados en el período mencionado. Para poder hacer comparaciones significativas en el futuro, será necesario implementar un sistema de registro y seguimiento de estos datos a partir de ahora.

Información de los tornos y fresadoras del área de precisión:

En la siguiente tabla, se describen los datos principales de los tornos y las fresadoras del área de precisión del taller, junto con sus respectivas abreviaturas. Esta información será útil a lo largo de este apartado.

Tabla 4.1

Información de los tornos y las fresadoras del área de precisión

Tipo de máquina	Abreviatura	Marca	Modelo	Cantidad
Torno	T1	TOS Trencin	SN 50 C	1
Torno	T2	LA	560X2000	1
Torno	T3	Jashone	M180E	1
Fresadora	F1	Partner	VKM4	1
Fresadora	F2	Frejoth	500-4200	1
Total				5

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Datos estimados anuales de tiempo de no disponibilidad para la producción de los tornos y fresadoras del área de precisión:

El tiempo en el que un torno o una fresadora se detiene debido a alguna falla se considerará como tiempo de no disponibilidad para la producción. Esto incluye tanto el tiempo que permanece en espera de refacciones como el tiempo dedicado a la intervención para su reparación.

A continuación, se presentan los datos estimados anuales de tiempo de no disponibilidad para la producción, en horas, de los tornos y las fresadoras del área de precisión, desglosados por concepto de reparaciones de fallas imprevistas.

Tabla 4.2

Datos estimados anuales de tiempo de no disponibilidad para la producción de los tornos y las fresadoras

Máquina	Horas
T1	532
T2	507
T3	491
F1	539
F2	595
Total	2664

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Estimación anual de los tiempos de mano de obra en términos de costo:

El costo por concepto de mano de obra externa se proyecta únicamente durante el tiempo en que los tornos o las fresadoras son intervenidos por personal capacitado y no mientras se está a la espera de alguna refacción. Por ejemplo, si un torno se detuvo durante 24 horas, de las cuales 20 horas fueron por la espera de una refacción y 4 horas por la reparación, solamente esas 4 horas se considerarán como costo de mano de obra. Dado que el taller no cuenta con personal capacitado para realizar el mantenimiento ni la reparación de los tornos y fresadoras, es necesario incurrir en pagos a mano de obra externa especializada, específicamente a la empresa Almacén Capris, con un costo aproximado de ₡16,500 por hora por técnico requerido.

Seguidamente, se presenta la estimación anual de los tiempos de mano de obra en términos de costo.

Tabla 4.3

Estimación anual de los tiempos de mano de obra en términos de costo

Máquina	Costo
T1	€539 400
T2	€353 400
T3	€390 600
F1	€241 800
F2	€669 600
Total costo mano de obra externa	€2 194 800

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Datos estimados de los costos anuales en refacciones:

A continuación, se presentan los datos estimados de los costos anuales en refacciones por concepto de reparaciones de fallas imprevistas de los tornos y las fresadoras del área de precisión. Se muestra la tabla con la estimación de los costos anuales en refacciones.

Tabla 4.4

Datos estimados de los costos anuales en refacciones

Máquina	Costo
T1	€638 400
T2	€566 711
T3	€382 951
F1	€470 344
F2	€754 465
Total	€2 812 871

Fuente: Elaboración propia, 2024.

4.2.2 Gráficos descriptivos

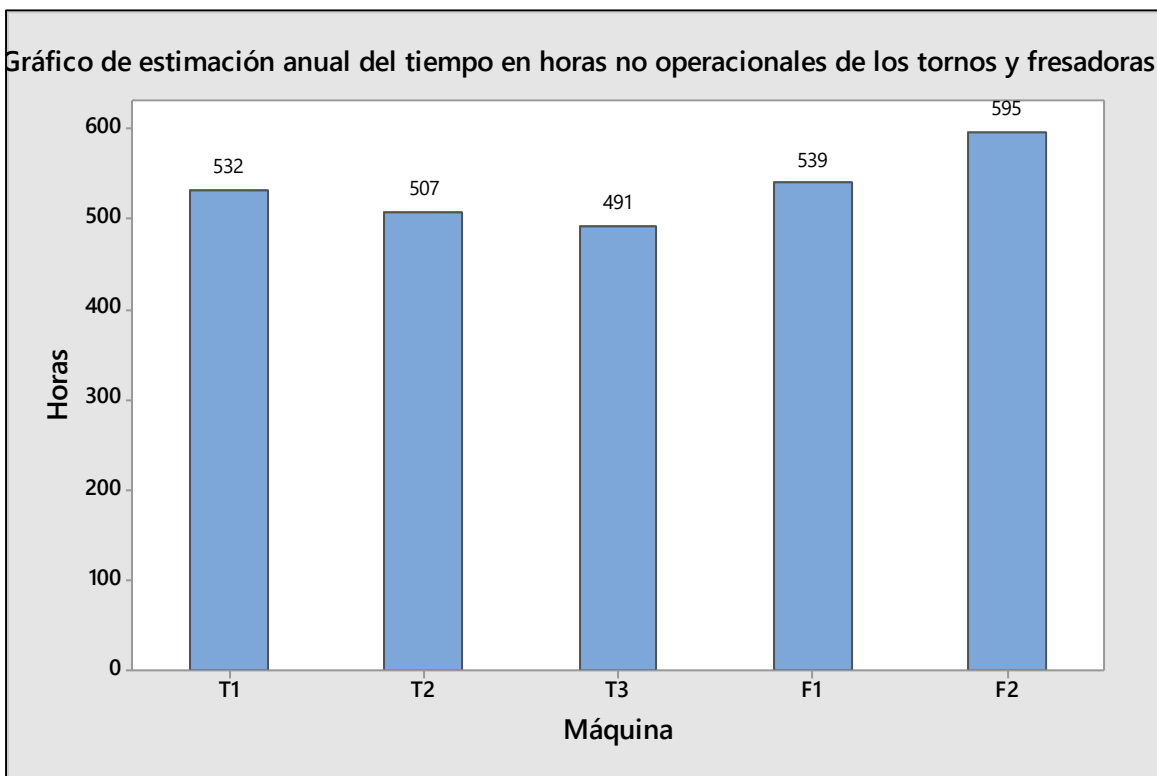
Los gráficos descriptivos son herramientas visuales fundamentales para el seguimiento de los tiempos de disponibilidad para la producción de las máquinas, los costos de refacciones y los costos de mano de obra externa en los que incurre el taller. A continuación, se presentan los gráficos correspondientes:

Tiempos de no disponibilidad para la producción de los tornos y las fresadoras:

Muestra las horas de no disponibilidad para la producción de los tornos y las fresadoras debido a fallas imprevistas.

Figura 4.5

Gráfico de horas de no disponibilidad para la producción de los tornos y las fresadoras



Fuente: Elaboración propia, 2025.

En la figura anterior, se observa el gráfico del tiempo estimado en horas anuales de no disponibilidad para la producción de los tornos y las fresadoras al momento en el que se efectúa una reparación de falla no programada. En el gráfico se visualiza que la

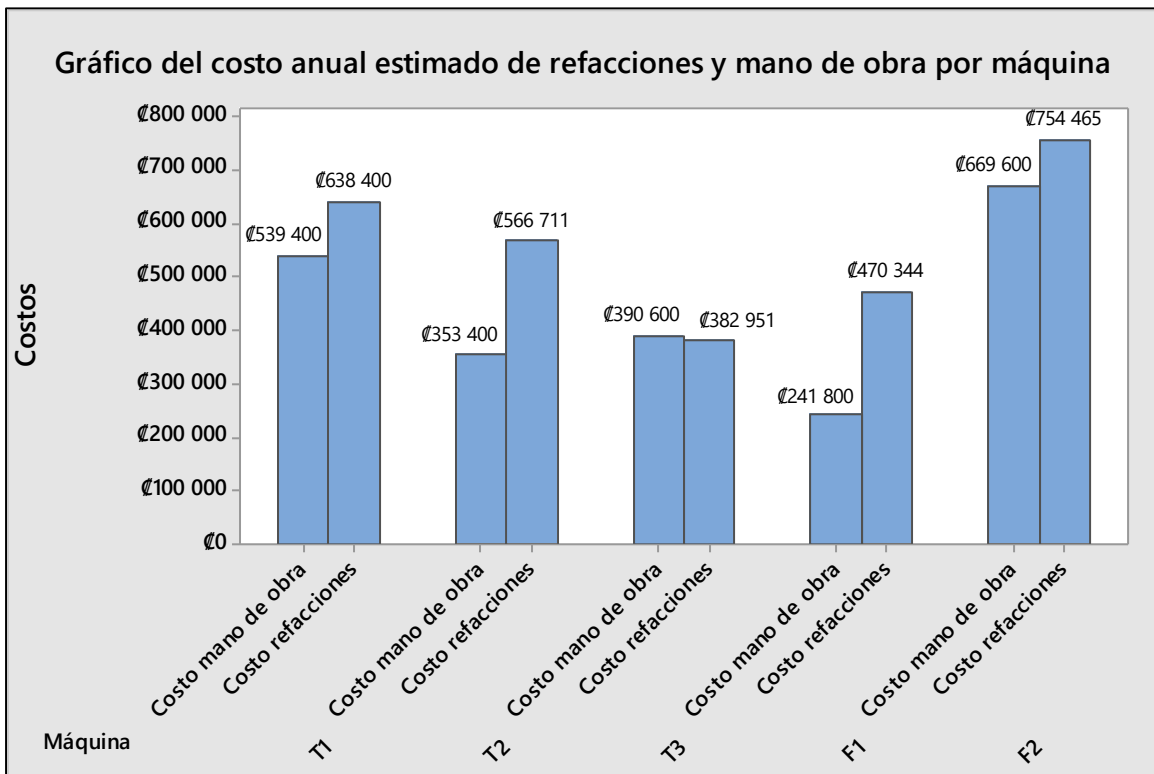
máquina que más horas no tuvo disponibilidad durante el periodo fue la fresadora Frejth, modelo 500-4200 (F2) por un total de 595 horas y la que menos horas de no disponibilidad tuvo fue el torno Jashone, modelo M180E (T3) por un total de 491 horas.

Costos de refacciones y mano de obra externa (por separado):

Representa los gastos anuales en refacciones que son necesarias para la reparación de maquinaria y los costos de mano de obra externa que indica los costos asociados a la contratación de personal especializado para las reparaciones.

Figura 4.6

Gráfico de costo de refacciones y costo de mano de obra externa por separado



Fuente: Elaboración propia, 2025.

En el gráfico anterior, se muestra el costo total mensual estimado, diferenciando entre los costos de refacciones y los costos por mano de obra externa de cada uno de los tornos y fresadoras que conforman el área de precisión durante las reparaciones de fallas imprevistas.

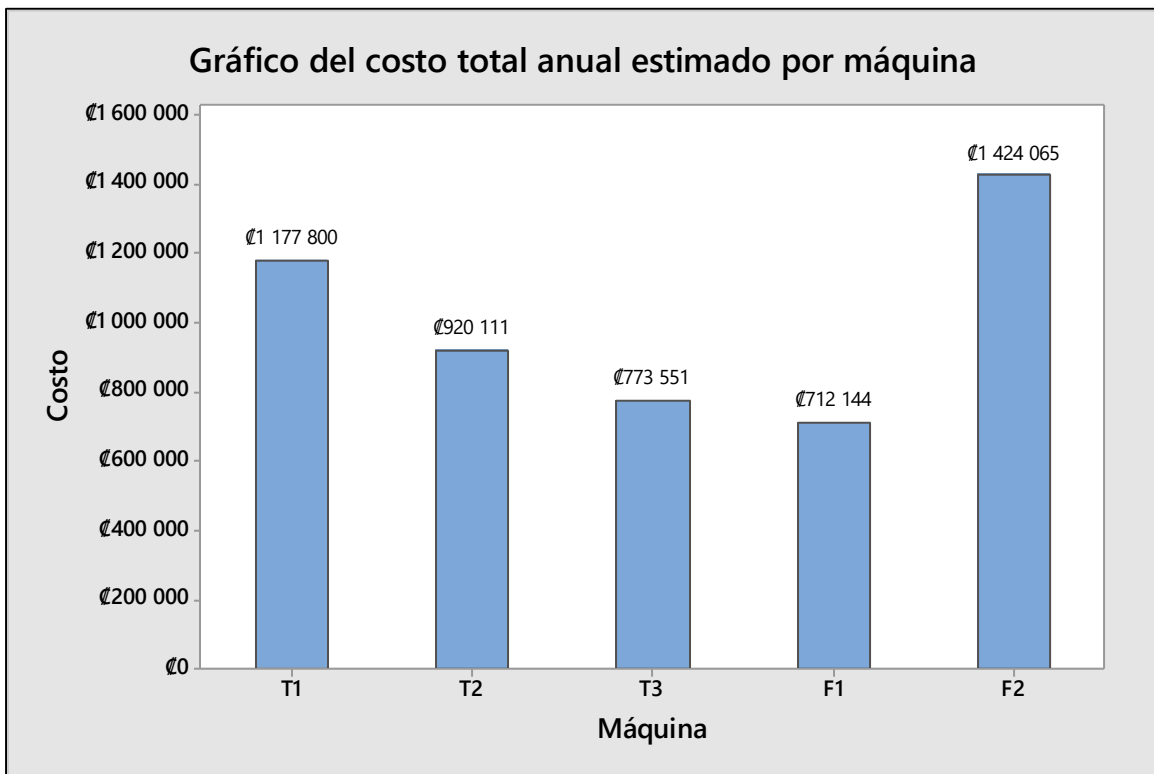
Del gráfico se puede observar que la máquina con mayores costos por concepto de refacciones fue la fresadora Frejoth, modelo 500-4200 (F2), con un monto de ₡754,465. En contraste, el torno Jashone, modelo M180E (T2) tuvo los menores costos en este concepto, con un monto de ₡382,951.

Por otro lado, en términos de costos de mano de obra externa, la fresadora Frejoth, modelo 500-4200 (F2) también tuvo el mayor gasto, que ascendió a ₡669,600, mientras que el torno Jashone, modelo M180E (T3) enfrentó los menores costos, con un total de ₡241 800.

Costos de refacciones y mano de obra externa (total):

Figura 4.7

Gráfico de costo de refacciones y mano de obra externa totales



Fuente: Elaboración propia, 2025.

En la figura anterior, se presenta el gráfico del costo total anual estimado, que incluye los costos por refacciones y los costos de mano de obra externa para cada uno

de los tornos y fresadoras del área de precisión, durante las reparaciones de fallas imprevistas.

Del gráfico, se puede observar que la máquina con mayores costos fue la fresadora Frejoth, modelo 500-4200 (F2), con un monto total de ¢1 424 065. En contraste, la máquina con menores costos fue la fresadora Partner, modelo VKM4 (F1), que incurrió en un costo de ¢712 144.

4.3 ANALIZAR

4.3.1 Entrevistas

El objetivo de las entrevistas es obtener información extra acerca de las posibles causas por las que ocurren las fallas en los tornos y las fresadoras del área de precisión. Las entrevistas se realizaron a los cuatro colaboradores del área de precisión de forma individual en el comedor de la empresa, siendo este un lugar tranquilo y cómodo donde pudiesen sentirse libres de hablar.

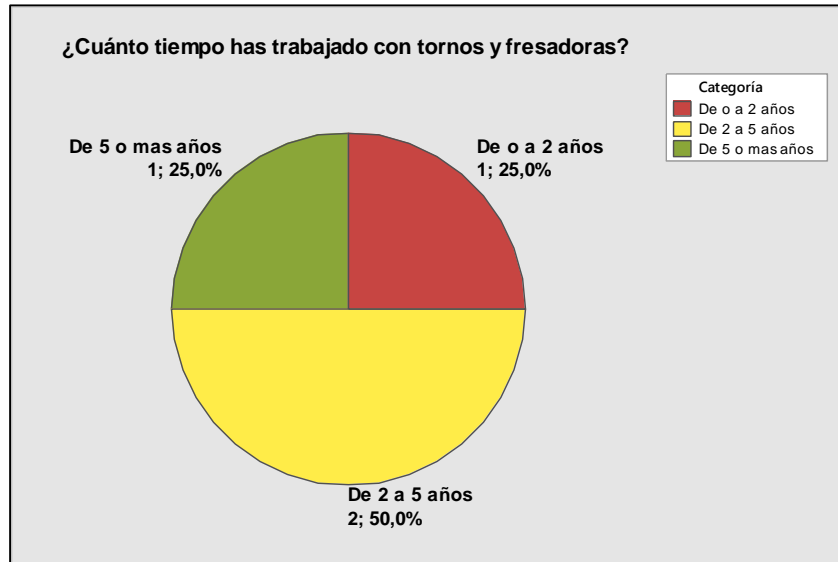
Las preguntas de las entrevistas se realizaron de forma verbal, y las respuestas se colocaron en una tabla de Excel para posteriormente graficarlas. Para ello, se elaboró un guion de ocho preguntas, las cuales se muestran a continuación junto con sus resultados, y adicional un gráfico para mejor visualización de las respuestas: (El formato para la entrevista se encuentra en el apéndice 2).

1. ¿Cuánto tiempo ha trabajado con tornos y fresadoras?

Un colaborador contestó tener entre 0 y 2 años de experiencia para un 25%, un colaborador contestó tener entre 2 a 5 años de experiencia, para un 25%, mientras que dos colaboradores contestaron tener de 5 o más años de experiencia, para un 50%.

Figura 4.8

Respuestas a pregunta 1 de entrevista a colaboradores



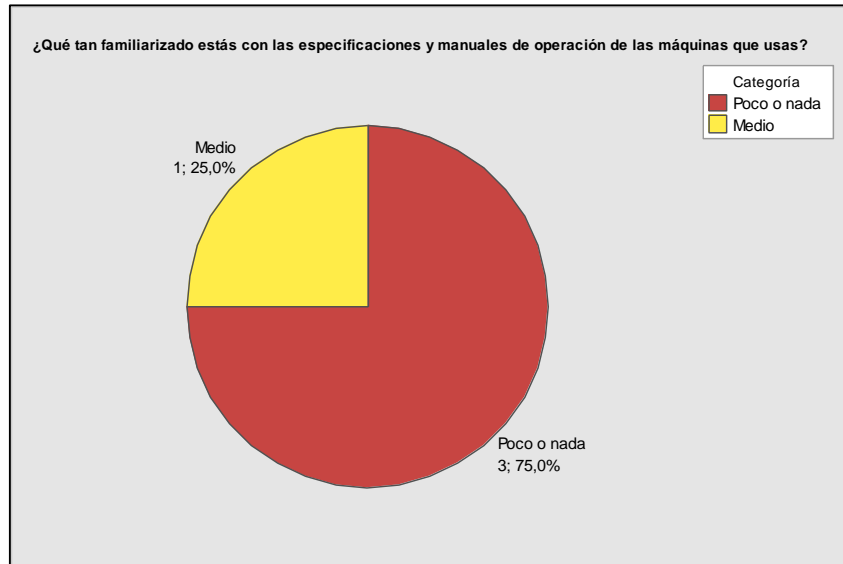
Fuente: Elaboración propia, 2025.

2. ¿Qué tan familiarizado está con las especificaciones y manuales de operación de los tornos y fresadoras del área de precisión que usa?

Tres colaboradores contestaron tener poca o ninguna familiaridad con las especificaciones y manuales de operación, para un 75%, mientras que un colaborador contestó tener algo de familiaridad, para un 25%.

Figura 4.9

Respuestas a pregunta 2 de entrevista a colaboradores



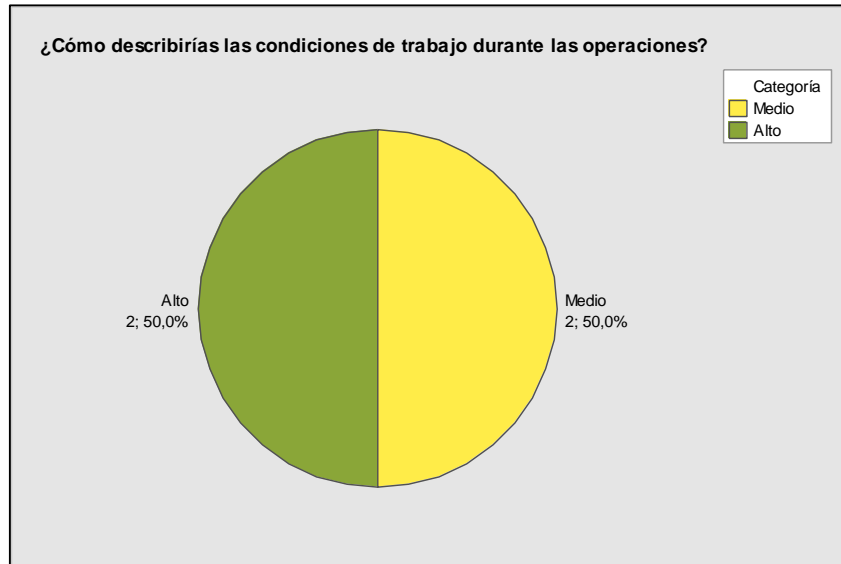
Fuente: Elaboración propia, 2025.

3. ¿Cómo describiría el nivel grado de las condiciones de trabajo en general durante las operaciones de los tornos y fresadoras del área de precisión? (Ej. ¿hay mucha vibración, sobrecarga de trabajo, etc.?)

Dos colaboradores contestaron que el grado de las condiciones de trabajo durante las operaciones son de nivel medio, para un 50%, mientras que dos colaboradores contestaron que el grado es alto, para un 50%.

Figura 4.10

Respuestas a pregunta 3 de entrevista a colaboradores



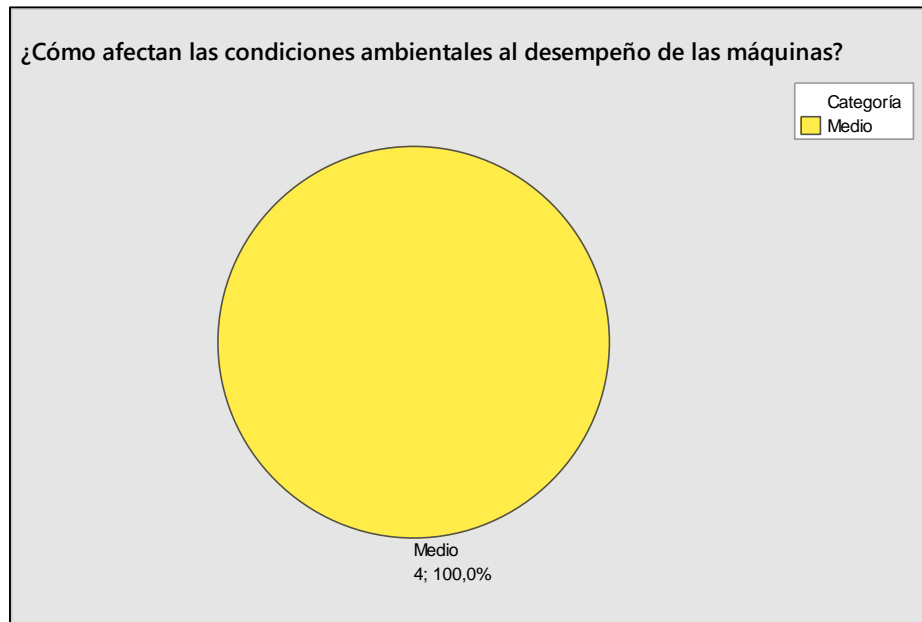
Fuente: Elaboración propia, 2025.

4. ¿Cuál considera usted que es el grado de nivel de afectación de las condiciones ambientales (temperatura, polvo, humedad) al desempeño de los tornos y fresadoras del área de precisión?

Los cuatro colaboradores contestaron que el nivel de grado de afectación de las condiciones ambientales al desempeño de las máquinas es medio, para un 100%.

Figura 4.11

Respuestas a pregunta 4 de entrevista a colaboradores



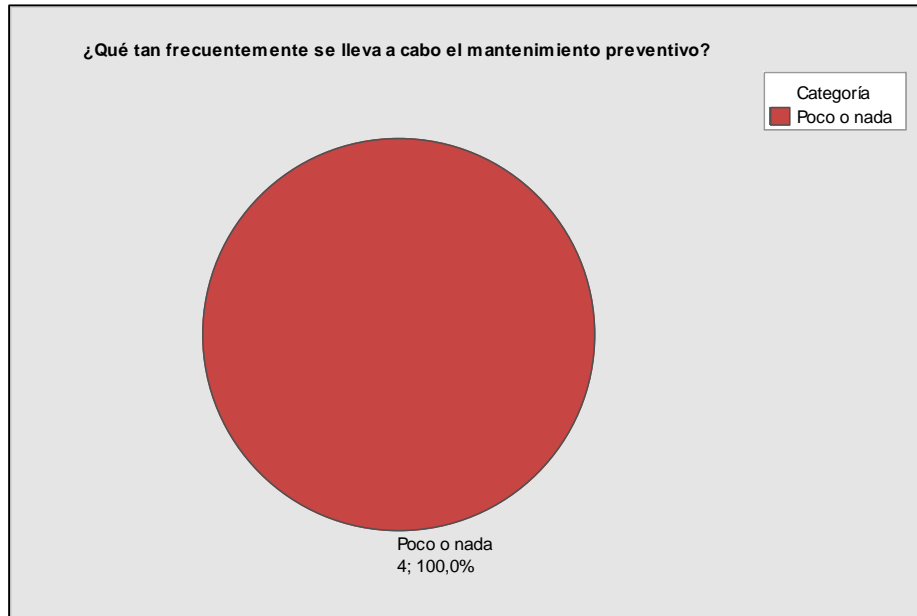
Fuente: Elaboración propia, 2025.

5. ¿Según su percepción, qué tan frecuentemente se lleva a cabo el mantenimiento preventivo de los tornos y fresadoras del área de precisión?

Los cuatro colaboradores contestaron como poco o nada la frecuencia con que se lleva a cabo el mantenimiento preventivo, para un 100%.

Figura 4.12

Respuestas a pregunta 5 de entrevista a colaboradores



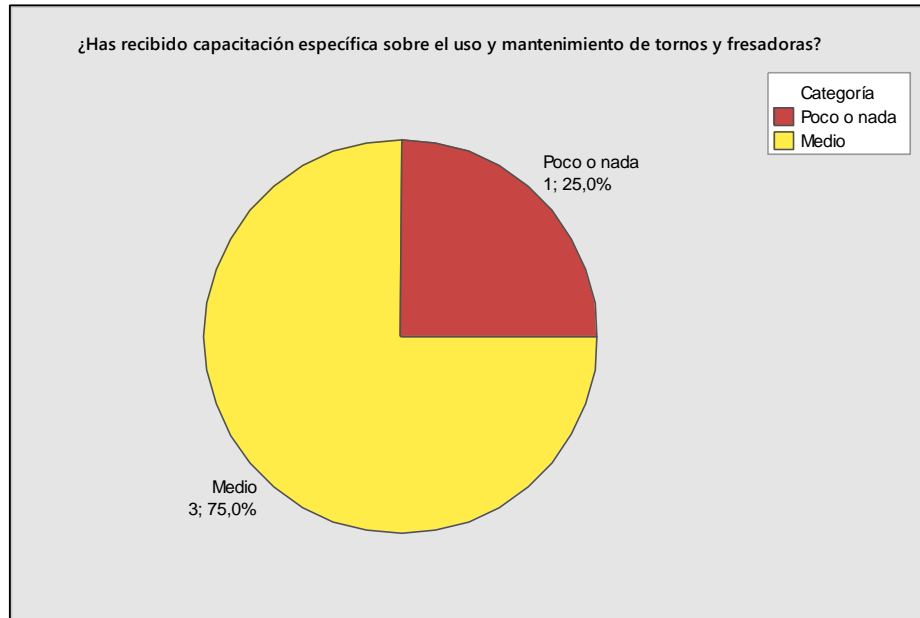
Fuente: Elaboración propia, 2025.

6. ¿Qué nivel de capacitación técnica ha recibido acerca del uso y mantenimiento de los tornos y fresadoras del área de precisión?

Un colaborador señaló un nivel de poco o nada acerca de haber recibido capacitación técnica sobre el uso y mantenimiento de los tornos y fresadoras, para un 25%, mientras que tres colaboradores contestaron un nivel medio, para un 75%.

Figura 4.13

Respuestas a pregunta 6 de entrevista a colaboradores



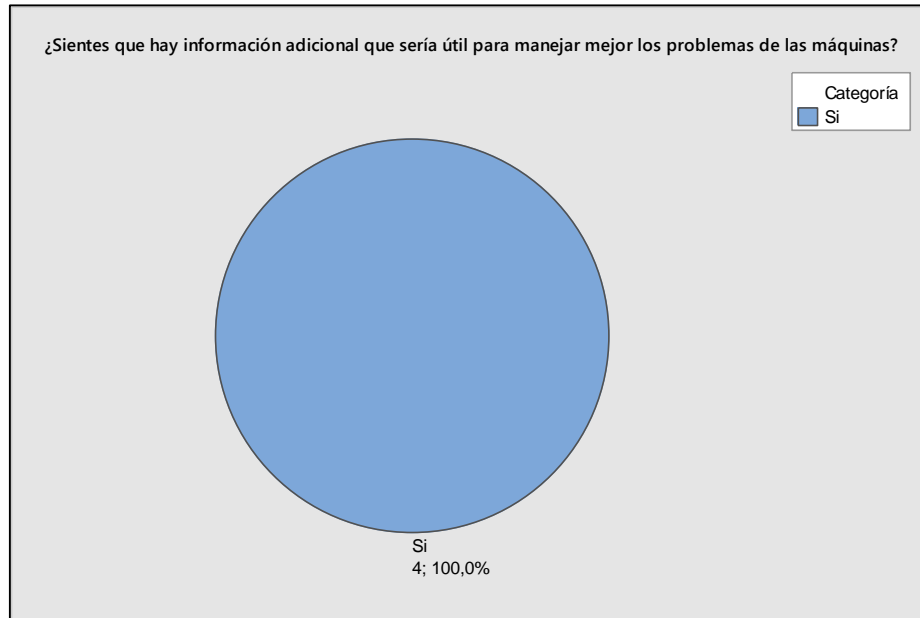
Fuente: Elaboración propia, 2025.

7. ¿Sientes que hay información adicional que sería útil para manejar mejor los problemas de fallas de los tornos y fresadoras del área de precisión?

Los cuatro colaboradores coinciden en sentir que si existe información adicional que sería útil para manejar mejor los problemas de fallas en los tornos y fresadoras del área de precisión, para un 100%.

Figura 4.14

Respuestas a pregunta 7 de entrevista a colaboradores



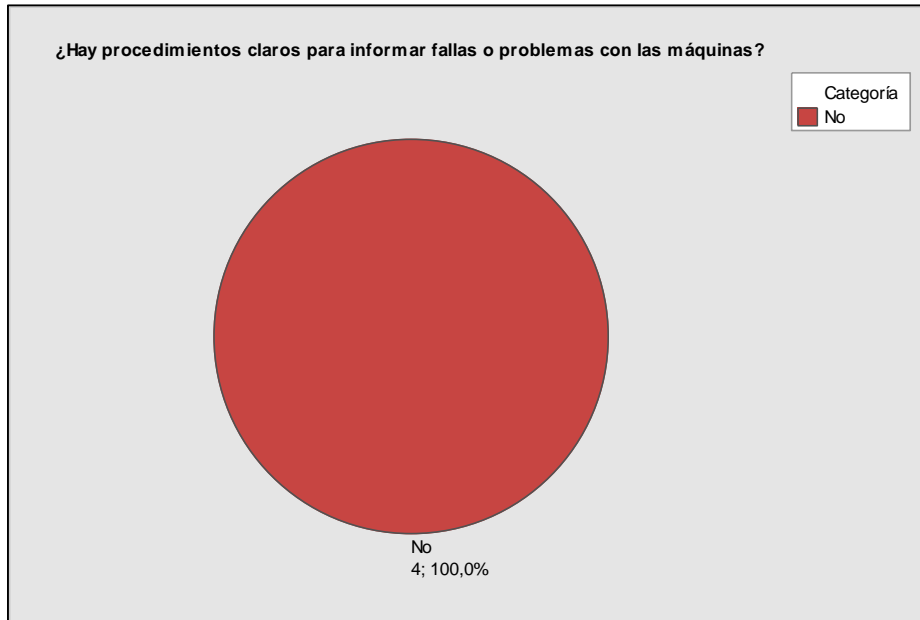
Fuente: Elaboración propia, 2025.

8. ¿Cree usted que actualmente existen procedimientos claros para informar sobre las fallas de los tornos y fresadoras del área de precisión?

Los cuatro colaboradores coinciden en creer que no hay existen actualmente procedimientos claros para informar fallas de los tornos y fresadoras del área de precisión para un 100%.

Figura 4.15

Respuestas a pregunta 8 de entrevista a colaboradores



Fuente: Elaboración propia, 2025.

4.3.2 Técnica de trabajo grupal (lluvia de ideas)

Se llevó a cabo un análisis para identificar las posibles causas de fallas imprevistas en los tornos y fresadoras del área de precisión. Estas fallas generan tiempos de inactividad y afectan la producción.

La metodología fue a través de una lluvia de ideas, en la cual se organizó una reunión abierta donde participaron cuatro colaboradores del área de precisión, junto con el Gerente General. La dinámica de lluvia de ideas permitió que cada participante compartiera sus observaciones y experiencias sobre las fallas de las máquinas.

Para proteger la identidad de los colaboradores, se les asignó un número del 1 al 5 en vez de usar sus nombres. Así, cada persona escribió en una hoja las posibles causas que consideraba pertinentes.

A partir de las contribuciones de los participantes, se compiló una lista de posibles causas de problemas en las máquinas. Esta lista se organizó en una tabla que destaca los problemas identificados, junto con las causas sugeridas por cada participante.

El análisis tiene como objetivo ayudar a los responsables a identificar las áreas que necesitan atención. Al resaltar problemas comunes y sus causas, se busca facilitar la

implementación de soluciones efectivas. Esto permitirá mejorar el rendimiento general de las máquinas y reducir el tiempo de inactividad provocado por fallas imprevistas.

En resumen, este enfoque colaborativo es crucial para optimizar la operación de los tornos y fresadoras, y asegurar un flujo de producción más eficiente.

A continuación, se muestran los resultados de esta lluvia de ideas:

Tabla 4.5
Resultados de la lluvia de ideas de causas

Participante			Posibles causas		
1	Problemas en las fajas, engranajes o motores	No hay capacitación técnica	Falta de mantenimiento o a las máquinas	Mal funcionamiento o de los sensores de las máquinas	Fatiga de las partes de las máquinas
2	Falta de mantenimiento o preventivo	Fallas eléctricas en general	Vibraciones de las máquinas	Suciedad en las guías de tornos y fresadoras	Fallos en los sistemas de control eléctricos
3	Uso continuo de las máquinas	Falta de capacitación técnica	Falta de limpieza general del área	Desgaste normal de las piezas de las máquinas	Poco mantenimiento o a las máquinas
4	Problemas en los componentes electrónicos	Incorrecta instalación de las máquinas	Ergonomía inadecuada	No existe mantenimiento o preventivo	Contaminación de la superficie de trabajo

5	Exceso de polvo en el área	Falta de mantenimiento o preventivo	Errores en la instalación eléctrica del taller	Utilizar materiales de trabajo de baja calidad	Sobrecarga de las máquinas
---	----------------------------	-------------------------------------	--	--	----------------------------

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Participantes y sus problemas:

a) Participante 1:

1. Problemas en las fajas, engranajes o motores: Los problemas mecánicos pueden resultar en paradas inesperadas de las máquinas, y afecta la eficiencia.

2. No hay capacitación técnica: La falta de conocimiento puede impedir que los operarios utilicen la máquina de manera eficiente.

3. Mal funcionamiento de los sensores: El mal funcionamiento puede provocar paradas abruptas e interrumpe la producción.

4. Fatiga de las partes de las máquinas: Las partes fatigadas pueden fallar sin previo aviso, interrumpiendo la producción y generando costos adicionales.

5. Fallos en los sistemas de control eléctricos: Los componentes como relés, contactores y fusibles pueden fallar debido al desgaste normal o daños físicos.

b) Participante 2:

1. Falta de mantenimiento preventivo: La falta de mantenimiento puede llevar a fallas imprevistas y costosas reparaciones.

2. Fallas eléctricas en general: Las reparaciones de sistemas eléctricos pueden ser costosas y llevar tiempo.

3. Vibraciones de las máquinas: Las vibraciones pueden contribuir a un desgaste acelerado de componentes y estructuras.

4. Suciedad en las guías de tornos y fresadoras: La acumulación de suciedad puede provocar un desgaste prematuro en las guías.

c) Participante 3:

1. Uso continuo de las máquinas: El uso continuo puede llevar a un desgaste más rápido de componentes, resultando en fallas imprevistas y la necesidad de reparaciones constantes.

2. Falta de capacitación técnica: La falta de limpieza puede contribuir a un desgaste prematuro de las máquinas debido a partículas que se acumulan en componentes sensibles.

3. Falta de limpieza general del área: La suciedad puede acumularse en componentes y causar un desgaste prematuro.

4. Desgaste normal de las piezas de las máquinas: A medida que las piezas se desgastan, se vuelven más propensas a fallar, lo que puede resultar en tiempos de inactividad.

5. Poco mantenimiento de las máquinas: La falta de mantenimiento reduce significativamente la vida útil de los equipos.

d) Participante 4:

1. Problemas en los componentes electrónicos: Se refiere a fallas o mal funcionamiento en los circuitos, sensores, actuadores y otros elementos electrónicos que son cruciales para la operación de las máquinas.

2. Instalación incorrecta de las máquinas: Se refiere a la colocación, configuración y conexión inadecuadas de las máquinas, lo que puede provocar fallos de funcionamiento e ineficiencia.

3. Ergonomía inadecuada: Un diseño deficiente puede causar tensión en el personal.

4. No existe mantenimiento preventivo: La falta de mantenimiento puede resultar en fallos imprevistos.

5. Contaminación en la superficie de trabajo: Esto puede llevar a interferencias en el funcionamiento de las máquinas.

e) Participante 5:

1. Exceso de polvo en el área: El exceso de polvo puede infiltrarse en las máquinas, provocando fallos en componentes eléctricos y mecánicos, lo que puede aumentar el riesgo de desajustes y averías.

2. Falta de mantenimiento preventivo del taller: La falta de mantenimiento puede resultar en fallos imprevistos.

3. Errores en la instalación eléctrica del taller: Se refiere a problemas en la instalación del sistema eléctrico que alimenta las máquinas, ya sea por malas prácticas o falta de capacitación.

4. Utilizar materiales de trabajo de baja calidad: Los productos fabricados con materiales de baja calidad tienden a tener defectos o a fallar rápidamente.

5. Sobrecarga de las máquinas: La sobrecarga provoca un desgaste más rápido de las piezas y componentes.

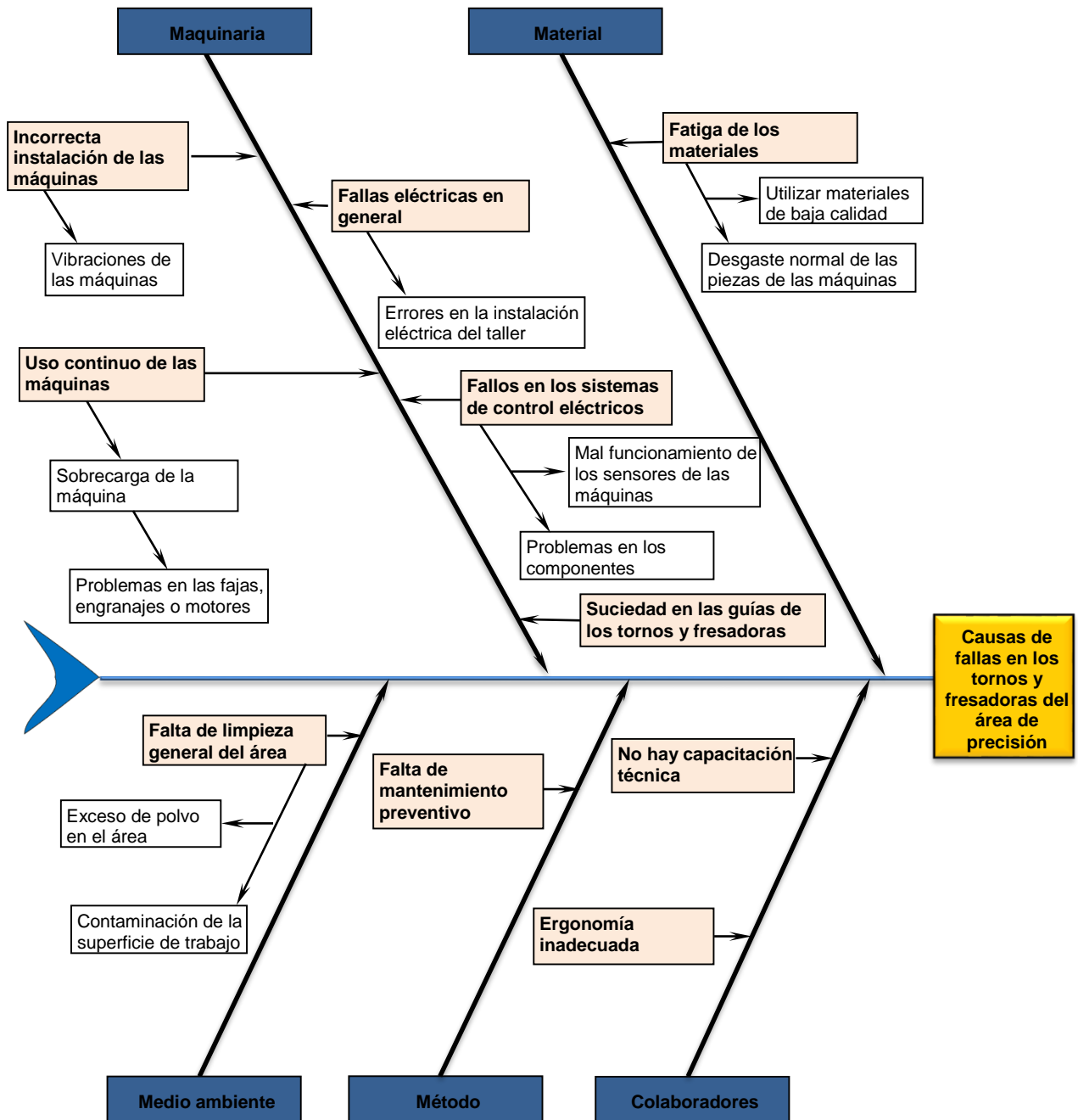
4.3.3 Análisis de causa y efecto (diagrama de Ishikawa)

Este análisis ayudará a desglosar las posibles causas del problema expuestas en la reunión mencionada de lluvia de ideas, permitiendo identificar las razones subyacentes detrás de las fallas de los tornos y las fresadoras del área de precisión, presentando las relaciones entre los problemas y las causas de una manera visual.

En la siguiente figura, se presenta el análisis de causa y efecto de las posibles causas mostradas en la tabla 4.5 de resultados de la lluvia de ideas:

Figura 4.16

Gráfico de análisis de causa y efecto



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Seguidamente, se muestra una corta explicación para cada una de las causas principales de fallas, con enfoque en el impacto e implicaciones de cada una:

Incorrecta instalación de las máquinas:

Una instalación inadecuada desde el principio puede generar vibraciones excesivas, desalineación de componentes, tensiones innecesarias en la estructura y un desgaste prematuro de las piezas. El impacto es que reduce la vida útil de la máquina, aumenta la probabilidad de fallas, afecta la precisión del trabajo realizado y puede generar riesgos de seguridad. Se requiere una revisión completa de la instalación, ajustes de nivelación, alineación, fijación y conexión eléctrica.

Uso continuo de las máquinas:

El uso constante sin pausas adecuadas para enfriamiento, lubricación y mantenimiento genera un sobrecalentamiento, fricción excesiva y fatiga de los componentes. El impacto es que acelera el desgaste de las piezas, aumenta el riesgo de fallas imprevistas, disminuye la eficiencia y la precisión de la máquina. Se requiere implementar un programa de uso programado con pausas para mantenimiento preventivo, optimizar los tiempos de ciclo y considerar la posibilidad de adquirir maquinaria adicional para distribuir la carga de trabajo.

Fallas eléctricas en general:

Las fluctuaciones de voltaje, sobrecargas, cortocircuitos, conexiones defectuosas y cableado en mal estado pueden dañar los componentes eléctricos de la máquina. El impacto es que provoca paradas inesperadas, pérdida de datos, daños a los motores y sistemas de control e incluso riesgos de incendio. Se requiere una revisión exhaustiva del sistema eléctrico, reparación o reemplazo de componentes dañados, instalación de protectores contra sobretensiones y mantenimiento regular de las conexiones y el cableado.

Fallos en los sistemas de control eléctricos:

Los problemas en los sensores, relés, contactores y otros componentes del sistema de control pueden generar un funcionamiento incorrecto de las máquinas. El impacto es que provoca errores en la programación, movimientos inesperados, paradas de emergencia, pérdida de control sobre la máquina y daños a la pieza de trabajo. Se

requiere una revisión y calibración de los sensores, el reemplazo de componentes defectuosos y la capacitación del personal en el diagnóstico y reparación de estos sistemas.

Suciedad en las guías de los tornos y fresadoras:

La acumulación de polvo, virutas, aceite y otros contaminantes en las guías genera fricción, desgaste y obstrucción del movimiento. El impacto es que afecta la precisión del mecanizado, aumenta el esfuerzo requerido para mover los componentes, reduce la vida útil de las guías y puede provocar vibraciones. Requiere una limpieza regular y exhaustiva de las guías, la lubricación adecuada con productos recomendados y la instalación de protectores para evitar la acumulación de suciedad.

Fatiga de los materiales:

La exposición continua a cargas cíclicas, vibraciones, tensiones y temperaturas variables puede debilitar los materiales con el tiempo, y generar grietas y fracturas. El impacto es que provoca fallas imprevistas e inesperadas de componentes críticos, interrupciones en la producción y riesgos de seguridad. Requiere la selección de materiales adecuados para cada aplicación, un diseño que minimice las concentraciones de tensión, la inspección regular de componentes críticos para detectar grietas y el reemplazo preventivo de piezas con vida útil limitada.

Falta de limpieza general del área:

La acumulación de polvo, suciedad, aceite y otros contaminantes en el área de trabajo puede afectar el funcionamiento de las máquinas y la salud de los trabajadores. El impacto es que provoca obstrucción de los sistemas de enfriamiento, contaminación de los lubricantes, riesgo de resbalones y caídas, problemas respiratorios y un ambiente de trabajo desagradable. Requiere implementar un programa de limpieza regular y exhaustiva del área de trabajo, la disposición adecuada de residuos y la ventilación adecuada para eliminar polvo y vapores.

Falta de mantenimiento preventivo:

La falta de inspecciones, lubricación, ajustes y reemplazo de piezas desgastadas según un programa planificado aumenta el riesgo de fallas imprevistas y costos. El impacto es que provoca paradas no programadas, pérdida de producción, daños a las máquinas, un aumento en los costos de reparación y tiempos de no disponibilidad para la producción. Requiere el desarrollo e implementación de un plan de mantenimiento preventivo detallado, la asignación de personal capacitado para realizar las tareas de mantenimiento y el seguimiento del cumplimiento del plan.

No hay capacitación técnica:

La falta de capacitación adecuada en la programación, el mantenimiento y la reparación de las máquinas puede generar errores, daños y un bajo rendimiento. El impacto es que provoca una operación ineficiente, un aumento en los tiempos de ciclo, mayor riesgo de accidentes, daños a las máquinas y una mala calidad del trabajo. Requiere la implementación de un plan de capacitación técnica que cubra todos los aspectos relevantes al mantenimiento de las máquinas, la certificación de los técnicos y la actualización continua de sus conocimientos.

Ergonomía inadecuada:

Un diseño deficiente del puesto de trabajo, herramientas inadecuadas y posturas incómodas pueden generar fatiga, lesiones y un bajo rendimiento de los colaboradores. El impacto es que provoca dolores musculares, problemas de espalda, síndrome del túnel carpiano, ausentismo laboral y una disminución en la productividad. Requiere la evaluación y mejora de la ergonomía del puesto de trabajo, la selección de herramientas adecuadas, la capacitación de los trabajadores en posturas correctas y la implementación de pausas activas para prevenir la fatiga.

4.3.4 Valor de las causas (multivoto)

Después de organizar las ideas por afinidad en el análisis de causa y efecto, se buscó simplificar las posibles causas de un problema. Para hacer esto, se hizo una votación entre los participantes de la reunión anterior, donde se llevó a cabo una lluvia de ideas. El objetivo de esta votación es identificar cuáles son las causas más probables.

A cada participante se les asignaron 10 puntos. Ellos podían distribuir estos puntos como quisieran entre las causas que consideraran más relevantes o probables. De esta manera, cada persona podía expresar sus opiniones de manera libre y discreta.

Las diez posibles causas principales que se ofrecieron para la votación fueron las siguientes:

En la sección de maquinaria están:

1. Incorrecta instalación de las máquinas.
2. Uso continuo de las máquinas.
3. Fallas eléctricas en general.
4. Fallos en los sistemas de control eléctricos.
5. Suciedad en las guías de los tornos y fresadoras.

En la sección de material está:

6. Fatiga de los materiales.

En la sección de medio ambiente está:

7. Falta de limpieza general del área.

En la sección de método está:

8. Falta de mantenimiento preventivo.

En la sección de colaboradores están:

9. No hay capacitación técnica.
10. Ergonomía inadecuada.

Seguidamente, se muestra el resultado de la multivotación.

Tabla 4.6

Resultados de multivoto

Causa	Participante					Total	%
	1	2	3	4	5		
Incorrecta instalación de las máquinas		1				1	2%

Uso continuo de las máquinas		1				1	2%
Fallas eléctricas en general	2	1	1			4	8%
Fallos en los sistemas de control eléctricos			1	1		2	4%
Suciedad en las guías de los tornos y fresadoras					1	1	2%
Fatiga de los materiales					1	1	2%
Falta de limpieza general del área				1		1	2%
Falta de mantenimiento preventivo	5	5	4	7	7	28	56%
No hay capacitación técnica	3	2	3	1	1	10	20%
Ergonomía inadecuada			1			1	2%

Total	10	10	10	10	10	50	100%
-------	----	----	----	----	----	----	------

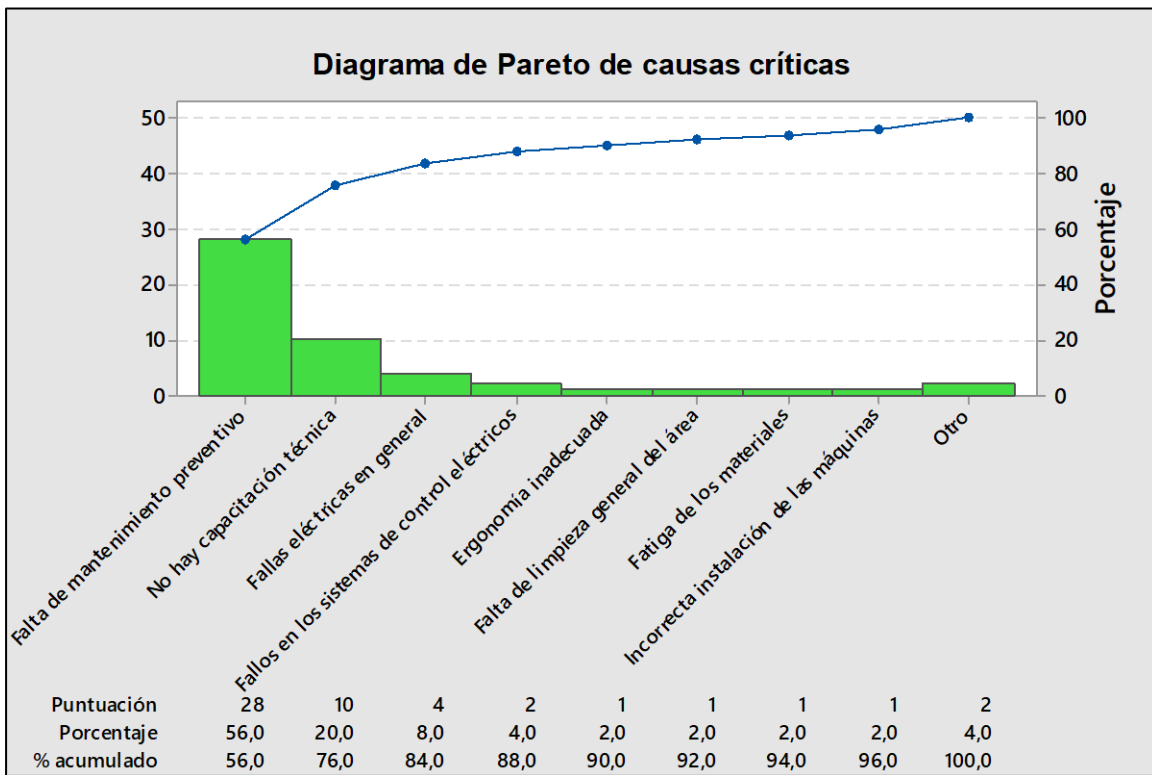
Fuente: Elaboración propia, 2025.

4.3.5 Causas críticas (diagrama de Pareto)

Con base en los datos obtenidos en el anterior multivoto, se presenta un diagrama de Pareto para determinar la o las principales posibles causas críticas.

Figura 4.17

Gráfico de diagrama de Pareto de causas críticas



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Según el anterior diagrama de Pareto, las principales posibles causas críticas que provocan que los tornos y fresadoras del área de precisión incurran en reparaciones de fallas imprevistas son las siguientes:

1. Falta de plan mantenimiento preventivo.
2. No hay capacitación técnica.

Después de mencionar que las causas críticas identificadas por el diagrama de Pareto son la falta de un plan de mantenimiento preventivo y la falta de capacitación técnica, se propone mitigarlas con las siguientes acciones.

Falta de plan de mantenimiento preventivo:

Creación de un plan de mantenimiento preventivo para los tornos y las fresadoras del área de precisión. Este plan incluirá una lista de actividades de mantenimiento por realizar en cada máquina, incluyendo inspecciones, lubricación, ajustes y limpiezas. Además de la creación de registros para documentar la realización de las actividades de mantenimiento y cualquier hallazgo relevante. Se establecerá un cronograma para la implementación de estas acciones.

Falta de capacitación técnica:

Se diseñará y propondrá un plan de capacitación técnica. Este plan puede incluir cursos teóricos y talleres prácticos sobre temas relevantes para el mantenimiento y reparación de los tornos y fresadoras del área de precisión. Se establecerá un cronograma para la implementación de estas acciones.

CAPÍTULO V. PROPUESTA

5.1 MEJORAR

5.1.1 Elección de técnicas del plan de mantenimiento preventivo

No existe una solución única para determinar la mejor técnica de mantenimiento preventivo. La elección debe ser personalizada, considerando las necesidades, la maquinaria y el entorno de trabajo específicos del taller. Por esta razón, se presentarán y evaluarán tres enfoques (TPM, RCM y AMEF) utilizando diversos criterios. La aprobación final recaerá en el Gerente General, cuya extensa experiencia con los tornos y fresadoras del área de precisión, combinada con su conocimiento de la salud financiera de la empresa, garantizará una decisión informada.

Alternativas de técnicas de plan de mantenimiento preventivo:

a) Mantenimiento productivo total (TPM):

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) es una metodología que busca maximizar la disponibilidad y confiabilidad de la maquinaria a través de la prevención de paros, la eliminación de mermas y la reducción de accidentes. Involucra a todos los niveles de la organización, desde la administración hasta los colaboradores, fomentando una cultura de mantenimiento en la que cada colaborador contribuye a la optimización y prevención de fallas. Si bien el TPM ofrece beneficios como mayor eficiencia, ganancias incrementadas, integración del personal, un entorno más seguro y capacitación, su implementación puede enfrentar resistencia al cambio y resultar compleja.

b) Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM):

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) es un enfoque exhaustivo para asegurar el óptimo funcionamiento de las máquinas. Se basa en el análisis detallado de todas las posibles fallas, ya sea por defectos de fábrica o errores humanos, para desarrollar estrategias preventivas a medida. El RCM evalúa las causas, el impacto y las consecuencias de cada falla, sirviendo como guía para un plan de mantenimiento adaptado a las necesidades del taller. Sus ventajas incluyen una mayor disponibilidad de máquinas, una mejor relación costo-confiabilidad, el desarrollo de conocimiento interno, la colaboración entre áreas y la identificación de mejoras. Sin embargo, requiere personal

especializado, demanda tiempo y dedicación, tiene una implementación prolongada y exige una inversión inicial considerable.

c) Análisis de modo y efecto de falla (AMEF):

El mantenimiento basado en el Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) se centra en la recopilación de información y datos para identificar posibles modos de falla en máquinas y procesos. A partir de este análisis, se desarrollan estrategias y acciones para abordar los problemas y extender la vida útil de los componentes. El AMEF se enfoca en las máquinas más críticas, priorizando su mantenimiento a través de tareas específicas. Su implementación es ventajosa para empresas con un departamento de mantenimiento, ya que optimiza el rendimiento de cada máquina y facilita el desarrollo de un plan de mantenimiento basado en el AMEF. Entre sus ventajas se encuentran la recopilación sistemática de información, la identificación de fallas con valores determinados, la comprensión profunda del funcionamiento de las máquinas, el aumento de la disponibilidad, la reducción de costos y una inversión inicial baja. Sin embargo, su efectividad depende de la experiencia del responsable del análisis.

Método de selección de alternativas de técnicas del plan de mantenimiento preventivo:

Para llevar a cabo una selección adecuada de la alternativa más conveniente para la técnica del plan de mantenimiento preventivo del taller, se empleará el método estadístico Scoring, que es un método estadístico utilizado para asignar puntuaciones o clasificaciones a observaciones, elementos o individuos en función de ciertas características o variables cuantitativas. Este enfoque se utiliza comúnmente en contextos como la evaluación de riesgos, la predicción de comportamientos y el análisis de datos, permitiendo clasificar a los sujetos en grupos como "aprobados" o "no aprobados", o para predecir la probabilidad de un evento determinado. En el ámbito del mantenimiento, el Scoring puede ayudar a priorizar acciones de mantenimiento preventivo al valorar la criticidad o el estado de los equipos (Ingeniería y Tecnología 3 Ciencias, 2021).

La implementación de este método tomará en consideración los requisitos que se detallan a continuación, que servirán como base para elaborar el plan de mantenimiento preventivo y para elegir la alternativa más efectiva.

- ✓ Requisitos de la implementación.
- ✓ Ventajas de la implementación.
- ✓ Manejo de la información.
- ✓ Seguridad.

El método Scoring consiste en asignar calificaciones a cada alternativa en función de los requerimientos planteados. De esta manera, se puede identificar la opción más favorable utilizando el modelo matemático que se presenta a continuación:

$$S = \sum WR$$

en donde:

R = Clasificación de la alternativa en función del criterio (rating).

W = Aprobación de cada criterio (ponderación).

S = Puntaje para alternativa (score).

El modelo matemático propuesto busca determinar cuál de las técnicas de mantenimiento (TPM, RCM o AMEF) se adapta mejor a las necesidades específicas de los tornos y las fresadoras del área de precisión, con el fin de establecer el plan de mantenimiento preventivo más adecuado.

Evaluación, puntuación y justificación de los criterios para la selección de la alternativa de técnicas del plan de mantenimiento preventivo:

Para seleccionar el plan de mantenimiento preventivo más adecuado, se ha definido una serie de criterios que se evaluarán en cada técnica de mantenimiento (TPM, RCM y AMEF). El objetivo es identificar la opción que mejor se ajuste a las necesidades operativas y de producción del taller. La evaluación de estos criterios fue realizada por el Gerente General del taller.

Los criterios de evaluación son los siguientes:

a) Requisitos de la implementación:

El taller cuenta con cinco máquinas (tres tornos y dos fresadoras) en el área de precisión y carece de un plan de mantenimiento preventivo. Por lo tanto, es crucial identificar una estrategia de mantenimiento que permita cubrir todas las máquinas de manera eficiente y rápida, con una inversión mínima y que sea viable para el taller. Además, se requiere asegurar la disponibilidad de colaboradores capacitados para ejecutar las tareas de mantenimiento.

b) Ventajas de la implementación:

El objetivo principal de este plan de mantenimiento preventivo es lograr una implementación eficiente y de bajo costo, garantizando resultados medibles. Se evaluarán las opciones de mantenimiento que requieran menos recursos, sin comprometer la eficiencia operativa y la reducción de reparaciones no programadas. Además, se establecerá una metodología para medir indicadores clave como la disponibilidad y la confiabilidad, buscando obtener resultados a corto plazo y maximizar los beneficios para el taller.

c) Manejo de la información:

Este plan de mantenimiento busca una implementación eficiente y económica, garantizando resultados medibles y satisfactorios. Se prioriza la mejora de las operaciones productivas y la reducción de reparaciones no programadas. Además, se implementará una metodología para medir la disponibilidad y la confiabilidad, que son criterios fundamentales para el éxito del taller.

d) Seguridad:

La seguridad y salud de los colaboradores es una prioridad para el taller. Estos profesionales son esenciales para operar los tornos y fresadoras, y para responder a cualquier falla. Por lo tanto, es crucial elegir un tipo de mantenimiento que priorice la seguridad en todas las actividades.

Valores de evaluación para aprobar cada criterio (W) de la selección de la alternativa de técnicas del plan de mantenimiento preventivo:

En la evaluación para aprobar cada criterio (W), se utilizará una escala que va del seis al diez. En esta escala, el seis representa un criterio de poca importancia, mientras que el diez se asigna a aquellos criterios que se consideran de gran relevancia.

Tabla 5.1

Valores de evaluación para la aprobación de cada criterio (W) para la selección de la alternativa de técnicas del plan de mantenimiento preventivo

Consideración	Ponderación
Muy poco importante	6
Poco importante	7
Importancia media	8
Algo importante	9
Muy importante	10

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Teniendo en cuenta los valores de evaluación de la tabla anterior, desarrollados por el Gerente General del taller, se obtuvo el siguiente resultado.

Tabla 5.2

Resultado de evaluación para aprobar cada criterio (W) de la selección de alternativa de técnicas del plan de mantenimiento preventivo

Criterio	Ponderación
Requisitos de la implementación	9
Ventajas de la implementación	10
Manejo de la información	9
Seguridad	10

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Justificación de puntuación para aprobar cada criterio (W) con el objetivo de seleccionar alternativas del plan de técnicas de mantenimiento preventivo:

Para los requisitos de la implementación se recibió una calificación de nueve debido a las expectativas sencillas de la empresa, que prioriza resultados rápidos con una inversión mínima. Las tres alternativas de mantenimiento ofrecen ventajas significativas de la implementación al mejorar la disponibilidad y fiabilidad de las máquinas, obteniendo una puntuación máxima de diez en este aspecto. El manejo de la información obtuvo nueve puntos gracias al enfoque del taller en procesos de seguimiento y asignación de tareas sencillos e intuitivos. Finalmente, la seguridad es un elemento fundamental y obtuvo una calificación de diez, ya que el taller prioriza la seguridad y la salud de los colaboradores en todas las actividades de mantenimiento.

Valores al evaluar la clasificación de la alternativa en virtud del criterio (R) para seleccionar la alternativa de técnicas del plan de mantenimiento preventivo:

Se empleará una escala de puntuación de cuatro a diez para seleccionar la mejor alternativa. Una puntuación de cuatro indica que la alternativa no cumple los requisitos, mientras que diez representa la opción más adecuada y acorde con los criterios establecidos.

La asignación de puntuaciones se realizará de la siguiente manera:

Tabla 5.3

Valores al evaluar la clasificación de la alternativa en virtud del criterio (R) de la selección de la alternativa de técnicas del plan de mantenimiento preventivo

Muy bajo	4
Bajo	5
Poco bajo	6
Medio	7
Poco alto	8
Alto	9
Muy alto	10

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Con base en los criterios de la tabla anterior y los requerimientos del plan de mantenimiento preventivo, se calculó el modelo matemático Scoring, desarrollado por el Gerente General del taller. La opción con el mejor resultado, identificada en color rojo en la siguiente tabla, fue la seleccionada.

Tabla 5.4

Resultado de la opción más favorable utilizando el modelo matemático Scoring para la selección de la alternativa de técnicas del plan de mantenimiento preventivo

Criterio	Ponderación (W)	TPM (R₁)	RCM (R₂)	AMEF (R₃)
Requisitos de la implementación	9	7	7	10
Ventajas de la implementación	10	10	10	9
Manejo de la información	9	9	9	9
Seguridad	10	10	10	10
Total	-	344	344	361

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Justificación cómo se evalúa la clasificación de la alternativa en virtud del criterio (R) para seleccionar alternativas del plan de técnicas de mantenimiento preventivo:

a) Requisitos de la implementación:

El TPM obtuvo una calificación de 7 debido a la significativa inversión de recursos que requiere. La necesidad de capacitar a todos los colaboradores, incluyendo a quienes no operan directamente las máquinas, puede retrasar el análisis necesario para planificar el

mantenimiento. Además, se requiere crear un departamento de mantenimiento, lo que implica asignar más recursos y considerar que los resultados no serán inmediatos. El RCM obtuvo una calificación de 7 debido a la significativa inversión en infraestructura y recursos que requiere, así como la necesidad de una auditoría para garantizar la eficacia del mantenimiento. Además, su análisis detallado implica un mayor compromiso de tiempo y dedicación, y está más enfocado en otro tipo de industria. AMEF, por otro lado, obtuvo una calificación de 10 gracias a su mínima inversión en recursos, tiempo y personal, su enfoque en la identificación de fallas y su alineación con una norma y un organismo regulador, lo que la hace más atractiva para el taller.

b) Ventajas de la implementación:

El TPM obtuvo una calificación de 10 por sus beneficios significativos: mayor involucramiento de la organización, incremento de la producción, mayor compromiso de los colaboradores, fomento del trabajo en equipo y mejora de la disponibilidad de las máquinas. Sin embargo, estos resultados son a largo plazo y requieren una inversión considerable. El RCM también obtuvo una calificación de 10, ya que, implementado adecuadamente, mejora la disponibilidad y confiabilidad de las máquinas, aumenta la seguridad y la protección del medio ambiente y fomenta un incremento en la producción. AMEF, con una calificación de 9, facilita la identificación de fallas potenciales, lo que aumenta la confiabilidad de las máquinas, disminuye los costos de reparación, reduce los paros inesperados, promueve una mejor organización y sistematización del mantenimiento, y asegura un funcionamiento óptimo de las máquinas, con lo cual aumenta su disponibilidad.

c) Manejo de la información:

El RCM y el TPM, calificados con un 9, favorecen la estructuración de la información y se basan en herramientas digitales para su gestión y recolección de datos, permitiendo nutrir el sistema con las intervenciones realizadas. AMEF, también con una calificación de 9, proporciona información clara y ordenada al identificar fallas, analizar su impacto, causas y modos de falla, e incluir las tareas necesarias para corregirlas, y facilita así la ejecución de las intervenciones en el taller.

d) Seguridad:

El RCM, el TPM y el AMEF, todos con una calificación de 10, demuestran un firme compromiso con la seguridad y la protección del medio ambiente al integrar criterios específicos en la planificación y ejecución del mantenimiento, asegurar la salud de los colaboradores, usar materiales respetuosos con el entorno y gestionar adecuadamente las mermas. Por estas razones, se les otorga una valoración equilibrada.

Análisis del método estadístico Scoring para la selección de alternativas del plan de técnicas de mantenimiento preventivo:

Se ha seleccionado AMEF como la alternativa más adecuada para el taller debido a su menor inversión en recursos económicos, logísticos y humanos, lo que facilita la elaboración del plan de mantenimiento preventivo. El AMEF es aplicable a los tornos y las fresadoras del área de precisión, permite programar actividades específicas, gestiona la información de fallas de forma ordenada y prioriza la seguridad. La implementación del plan de mantenimiento preventivo basado en AMEF resultará en una notable reducción de reparaciones no programadas, aumentando la confiabilidad y disponibilidad de las máquinas para la producción, prolongando su vida útil y generando beneficios significativos para el taller.

Selección de alternativa (AMEF):

Tras la selección del AMEF, se definirán criterios organizados por modos de falla para evaluar su impacto e implementar controles preventivos. Se desarrollará un sistema de ponderación para determinar la severidad, frecuencia y capacidad de detección de cada falla, estableciendo un nivel prioritario de riesgo para identificar las más críticas. Las acciones de mejora se basarán en estos hallazgos, asignando responsabilidades a los colaboradores que operan cada torno y fresadora. El orden sugerido por AMEF para la implementación servirá de base para el plan de mantenimiento preventivo:

- ✓ Descripción de la máquina.
- ✓ Identificar los posibles modos de falla y sus efectos en la operación
- ✓ Asignar valores de severidad, ocurrencia y detección con el fin de jerarquizar y asignar un valor a cada falla.

✓ Calcular el nivel prioritario de riesgo para determinar la criticidad de cada falla para priorizar las más críticas.

✓ Establecer acciones para las fallas identificadas, establecer inspecciones, controles y procesos que permitan evitar dichas fallas.

a) Codificación de los tornos y fresadoras:

La codificación, esencial para identificar y gestionar activos, se implementará en el taller con códigos únicos desarrollados internamente. Debido a la variedad de modelos de tornos y fresadoras, se asignará un dígito específico a cada tipo de máquina, con subcódigos basados en la cantidad disponible de cada modelo. Por ejemplo, los tornos se codificarán con el número 1 seguido de un código que comenzará en 01, 02, 03, etc., según los modelos existentes.

Tabla 5.5

Codificación de los tornos y fresadoras

Máquina	Marca	Modelo	Dígito específico	Subcódigo
Torno	TOS Trencin	SN 50 C	1	01
Torno	LA	560X2000	1	02
Torno	Jashone	M180E	1	03
Fresadora	Partner	VKM4	2	01
Fresadora	Frejoth	500-4200	2	02

Fuente: Elaboración propia, 2025

b) Fichas técnicas de los tornos y fresadoras:

En esta sección, se detallarán las especificaciones técnicas de cada torno y fresadora del área de precisión, permitiendo conocer y comparar las características de cada máquina. Con base en la siguiente lista de datos relevantes, se elaborarán las fichas técnicas de cada máquina:

✓ Datos generales.

- ✓ Marca.
- ✓ Modelo.
- ✓ Referencia.
- ✓ Código.
- ✓ Ubicación.
- ✓ Dimensiones de la máquina.
- ✓ Características específicas.
- ✓ Datos de instalación eléctrica.

Con base en lo anterior, se propone un formato que recoge toda esta información, el cual se encuentra en el apéndice 3 para los tornos y en el apéndice 4 para las fresadoras.

c) Orden de mantenimiento para los tornos y fresadoras:

Debido a la falta de un formato adecuado para registrar las intervenciones en tornos y fresadoras, el taller implementará un nuevo formato de órdenes de mantenimiento. Este registro detallará las acciones realizadas, el tiempo de reparación, el personal involucrado y los repuestos o materiales utilizados, permitiendo un control exhaustivo de cada incidente.

Con base en lo anterior, se propone un formato que recoge toda esta información para cada actividad de mantenimiento que se lleve a cabo en el taller, el cual se encuentra en el apéndice 5.

d) Hoja de vida de las tornos y fresadoras:

La hoja de vida recopila de forma ordenada la información sobre reparaciones de fallas imprevistas, facilitando el acceso oportuno a los datos necesarios. Esta hoja, con el formato establecido para el taller, incluirá las características principales del activo y su historial de intervenciones. El formato propuesto se encuentra en el apéndice 6.

5.1.2 Análisis de modo y efecto de falla (AMEF)

Se realizará un estudio de criticidad para identificar las partes más propensas a fallar en los tornos y las fresadoras, enfocando así las actividades del plan de mantenimiento preventivo. Debido a la similitud de componentes entre máquinas del mismo tipo, se realizará un único AMEF por tipo de máquina para identificar causas y efectos de las fallas. Posteriormente, se determinará el nivel prioritario de riesgo para

clasificar la criticidad de cada parte, lo que permitirá priorizar las actividades del plan de mantenimiento preventivo.

Para calcular el nivel prioritario de riesgo, es necesario evaluar la severidad, la ocurrencia y la detección de cada una de las fallas. Esto permitirá realizar el producto entre estos indicadores, que ayudará a priorizar a aquellas fallas que resulten en un alto valor:

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

en donde,

Nivel prioritario de riesgo = NPR

Severidad = S

Ocurrencia = O

Detección = D

Para evaluar la severidad, ocurrencia y detección, se utilizarán las siguientes tablas, lo que proporcionará claridad sobre el motivo detrás del resultado del número prioritario de riesgo de cada falla.

Recopiar datos en las instalaciones del taller, así como la indagación con los colaboradores del área de precisión, fue de gran utilidad para obtener resultados con la mayor veracidad posible. Sin embargo, fue el Gerente General del taller quien definió los efectos y criterios para los tiempos de severidad y de ocurrencia, así como la definición de cada criterio de detección de falla con base en su experiencia y porque es el responsable y administrador de la información relacionada con las fallas de los tornos y las fresadoras en el área de precisión del taller.

Tablas establecidas según los criterios a evaluar:

a) Severidad (S):

El criterio de severidad evalúa el impacto de una falla en el funcionamiento de los tornos y las fresadoras, con un rango del uno al cinco. Un valor de uno indica que la falla no afecta la operación ni representa un riesgo, mientras que un valor de cinco

corresponde a una falla crítica que puede afectar el proceso o poner en peligro al colaborador.

A continuación, se muestra la tabla de criterio de severidad que establece la ponderación que se tendrá en cuenta para determinar el impacto de la falla, definida por el Gerente General del taller:

Tabla 5.6
Criterio de severidad AMEF

Valor	Efecto	Criterio
5	Crítico	No es posible operar la máquina por un periodo mayor a 3 horas, requiere intervención de terceros, lo cual genera retrasos en los procesos
4	Alto	No es posible operar la máquina por un periodo mayor a 2 horas, requiere intervención inmediata en las tareas de mantenimiento
3	Moderado	Genera interrupciones durante la operación de la máquina que provoca atrasos en el proceso, requiere inspección y seguimiento
2	Bajo	Genera interrupciones durante la operación de la máquina y requiere inspección

1	Ninguno	Ningún efecto
---	---------	---------------

Fuente: Elaboración propia, 2025.

b) Ocurrencia (O):

El criterio de ocurrencia evalúa la probabilidad de que una falla se repita en una parte específica de la máquina, con un rango del seis al diez. Un valor de diez indica una alta probabilidad de recurrencia, mientras que un seis representa una falla poco común.

A continuación, se muestra la tabla de criterio de ocurrencia en donde se asigna un valor y una probabilidad dependiendo la ocurrencia de la falla, definida por el Gerente General del taller:

Tabla 5.7

Criterio de ocurrencia AMEF

Valor	Ocurrencia	Probabilidad
10	Muy alta	8 o más
9	Alta	7 a 10
8	Frecuente	5 a 10
7	Baja	3 a 10
6	Muy baja	1 a 10

Fuente: Elaboración propia, 2025.

c) Detección (D):

El criterio de detección evalúa la probabilidad de identificar una falla antes de que afecte el funcionamiento de la máquina, con un rango de uno a cinco. Un valor de uno indica una probabilidad muy baja de detección, mientras que un valor de cinco representa una probabilidad muy alta, lo cual permite prevenir averías graves.

Seguidamente, se muestra la tabla de ponderación de la detección de la falla de acuerdo con su complejidad, definida por el Gerente General del taller.

Tabla 5.8

Criterio de detección AMEF

Valor	Detección	Criterio
5	Muy baja	No es visible, únicamente se evidencia bajo un análisis de ensayos no destructivos
4	Baja	No es visible, únicamente cuando se desmontan los componentes
3	Frecuente	No es visible ni siquiera durante una inspección detallada
2	Alta	Se detecta de inmediato, pero requiere de una inspección detallada
1	Muy alta	Se detecta inmediatamente sin necesidad de inspección detallada

Fuente: Elaboración propia, 2025.

d) Nivel prioritario de riesgo (NPR):

Como se mencionó, el nivel prioritario de riesgo ayudará a conocer la criticidad de cada una de las partes de las máquinas para su operación, lo que permite clasificar el orden para la elaboración de las actividades de mantenimiento dándole prioridad a las más críticas. Y está dada por la ecuación $NPR = \text{severidad} \times \text{ocurrencia} \times \text{detección}$.

Seguidamente, se muestra la tabla de clasificación del resultado de NPR:

Tabla 5.9

Clasificación del resultado de NPR del AMEF

125 a 250	Riesgo de falla alta
-----------	----------------------

30 a 124	Riesgo de falla medio
1 a 29	Riesgo de falla baja
0	No existe riesgo de falla

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Tras realizar un análisis de los modos y efectos de falla de los tornos y las fresadoras del área de precisión del taller, se logró identificar y clasificar las partes que son más propensas a presentar fallas. Esta información permite definir las actividades necesarias para prevenir las posibles fallas previamente detectadas.

A continuación, se presentan los resultados de este análisis, para establecer las acciones adecuadas a seguir.

AMEF de tornos 101, 102 y 103:

Los tornos son máquinas diseñadas para operar de manera continua, y funcionan de manera activa durante turnos completos. Cabe destacar que, con un mantenimiento preventivo adecuado, estos pueden mantenerse en condiciones óptimas durante muchos años. Sin embargo, si son manipulados de forma inadecuada, con turnos prolongados y sin el mantenimiento necesario, sus componentes pueden deteriorarse rápidamente, lo que afecta su rendimiento.

En el análisis de modo y efecto de fallas, se identificaron las partes esenciales para el funcionamiento de la máquina. Se elaboró una descripción de cada componente, se analizaron los posibles modos de falla y sus efectos, y se determinaron los controles de ocurrencia disponibles. Además, se asignó una evaluación a los indicadores de severidad, ocurrencia y detección para cada una de estas fallas. Todo esto con el propósito de calcular el nivel prioritario de riesgo.

A partir de estos resultados, se establecen actividades programadas de mantenimiento preventivo para garantizar el funcionamiento óptimo de los tornos.

El desarrollo total del AMEF para los tornos fue realizado por el Gerente General del taller, el cual se encuentra en los apéndices 7 y 8.

Sobre los resultados del análisis de modo y efecto de falla de los tornos 101,102,103 y ya que poseen las mismas partes se hizo un análisis general para este tipo de máquina. Se priorizaron las partes susceptibles a fallar con el fin de establecer las actividades de mantenimiento, las cuales se muestran a continuación:

Tabla 5.10

NPR para los tornos 101, 102 y 103

Parte	NPR	Riesgo de falla
Motor principal	84	Medio
Carro principal	60	Medio
Carro transversal	60	Medio
Husillo	48	Medio
Bomba y tanque de refrigerante	48	Medio
Punto	48	Medio
Caja de velocidades husillo	36	Medio
Caja de velocidades de avance	36	Medio
Bancada	24	Bajo
Cremalleras, barras de desplazamiento	24	Bajo
Manivelas	18	Bajo

Fuente: Elaboración propia, 2025.

AMEF fresadoras 201 y 202:

El análisis de modo y efecto de falla de las fresadoras permitió comprender cada una de sus partes y cómo, en conjunto, facilitan el mantenimiento. Durante el desarrollo del análisis, se identificaron las partes esenciales para su operación. Se realizó una descripción de cada componente, así como de los posibles modos de falla y sus efectos. También se evaluaron los controles existentes para mitigar estas fallas y se asignaron evaluaciones a los indicadores de severidad, ocurrencia y detección para cada una de las posibles fallas. Todo esto con el objetivo de determinar el nivel prioritario de riesgo, que permita priorizar la atención a aquellas partes más propensas a fallar.

Los resultados del análisis de modo y efecto de falla para las fresadoras 201 y 202, ya que poseen las mismas partes y características, se plantearon de forma general para este tipo de máquina y se priorizaron las partes susceptibles a fallar con el fin de establecer las actividades de mantenimiento preventivo.

El análisis completo lo realizó el Gerente General del taller y se encuentra disponible en los apéndices 9 y 10. Los resultados del número prioritario de riesgo se presentan a continuación:

Tabla 5.11

NPR para las fresadoras 201 y 202

Parte	NPR	Riesgo de falla
Husillo vertical	140	Alto
Husillo transversal	140	Alto
Caja de velocidades de husillo horizontal	128	Alto
Caja de velocidades de avance	128	Alto
Caja de velocidades de husillo vertical	104	Medio

Bomba de lubricación	84	Medio
Caja de velocidades de husillo transversal	64	Medio
Motor de avances rápidos	64	Medio
Guías verticales	64	Medio
Guías transversales	64	Medio
Bomba de refrigeración	56	Medio
Tanque de refrigeración	56	Medio
Motor husillo vertical	56	Medio
Manifold de lubricación	56	Medio
Guías horizontales	48	Medio
Manivela X, Y, Z	28	Bajo

Fuente: Elaboración propia, 2025.

5.1.3 Actividades de mantenimiento preventivo

A partir de los diagnósticos realizados previamente, se evaluaron las alternativas de mantenimiento más adecuadas para el taller. Como resultado, se desarrolló un Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF) específico para los tornos y las fresadoras, centrándose en aquellas partes más vulnerables a fallos, dado que su mal funcionamiento podría comprometer la operación de las máquinas. De este modo, se estableció un orden de prioridad para estas partes, lo que permitió definir las actividades de mantenimiento necesarias.

Con el fin de asegurar la conservación de las partes más propensas a fallar, se fijaron actividades programadas. La frecuencia de estas actividades se determinó a partir de visitas al campo y la recopilación de información, complementándose con el conocimiento de los colaboradores del área de precisión y del Gerente General del taller, lo que facilitó el establecimiento de los tiempos de intervención correspondientes.

El seguimiento de estas actividades se llevará a cabo mediante la orden de mantenimiento designada para el taller, la cual se encuentra en el apéndice 5 al final de este documento. Esta orden permitirá controlar las actividades de mantenimiento y conocer los insumos necesarios para cada intervención.

De esta manera, se establecen actividades específicas para cada tipo de máquina, las cuales se detallan a continuación.

Actividades de mantenimiento preventivo para los tornos 101, 102 y 103:

Se muestran las tablas de las actividades de mantenimiento preventivo diarias, mensuales, trimestrales y anuales para los tornos 101, 102 y 103.

Tabla 5.12

Actividades diarias de mantenimiento preventivo para los tornos 101, 102 y 103

Actividades	Información adicional	Recursos	Duración
<p>Se debe realizar la limpieza de la bancada y la copa utilizando aire comprimido y una brocha, asegurando evacuar todos los residuos generados por el proceso de mecanizado, sin dejar rastro de virutas. Además, con el uso de una aceitera, aplicar una capa de aceite sobre la bancada y las guías del carro transversal.</p>	<p>Esta acción previene la corrosión y garantiza que, al comenzar el turno al día siguiente, tanto la bancada como las guías estén debidamente lubricadas para facilitar el desplazamiento del carro donde están montadas las herramientas de corte.</p>	<p>Brocha Aceitera Aceite ISO 32 Aire comprimido Llaves mixtas Equipo de protección personal</p>	<p>10 minutos</p>

<p>Revisar el nivel del aceite en la mirilla que se encuentra al lado de la caja de velocidades</p>	<p>Es importante mantener el nivel de aceite en la mitad de esta ya que cuando se prende el torno hay una bomba que ayuda a la circulación del aceite a todas las partes móviles del torno y la ausencia de este aumentará la fricción de los piñones de la caja de velocidades.</p>	<p>Equipo de protección personal</p>	<p>3 minutos</p>
<p>Limpiar las bandejas inferiores del torno de los restos del mecanizado</p>	<p>Sacar todas las virutas que se encuentran alojadas ahí puede impedir el retorno del refrigerante al tanque además de contaminarlo. Por otro lado, la acumulación de viruta en estas bandejas puede sobrecargarlas, ya que el peso de una cantidad de viruta es considerable y es importante tener el área de trabajo limpia</p>	<p>Escoba Aire comprimido Trapos de limpieza Equipo de protección personal</p>	<p>5 minutos</p>

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Tabla 5.13

Actividades mensuales de mantenimiento preventivo para los tornos 101, 102 y 103

Actividades	Información adicional	Recursos	Duración
Limpiar la cremallera, el eje roscado y las dos barras hexagonales. Luego de esta limpieza se procede a agregar lubricante ISO 32 para un movimiento limpio del carro transversal como del carro longitudinal	Es importante para un óptimo funcionamiento del torno al momento de roscar y mover el carro longitudinal, eliminar las impurezas que se adhieren y crean una mezcla de lubricante con los restos del mecanizado y el refrigerante, creando así una especie de residuo creando desgaste entre estas partes	1/3 galón de ISO 32 Trapos para limpiar Equipo de protección personal	15 minutos
Desmontar el punto de modo que se pueda limpiar la camisa donde está alojado, verificar las palancas de bloqueo que estén haciendo su función, proceder con la debida lubricación, inspección de	Permite centrar las piezas en conjunto con la copa de modo que se garantice la concentricidad de las piezas y que no haya bote en el proceso de mecanizado por defecto del punto	Brocha Aceitera Aceite ISO 32 Trapos para limpiar Aire comprimido Comparador Llaves Allen Llaves mixtas Equipo de protección personal	30 minutos

rodamiento con un chequeo de alineación con ayuda del comparador y se debe centrar de ser necesario. Fabricar el inserto cónico si presenta golpes por mala operación			
Limpieza a fondo de toda la máquina, con ayuda de aire comprimido y unos trapos se procederá a limpiar y eliminar de residuos de viruta, polvo, grasa y refrigerante de todo el exterior del torno	Es importante cuidar el exterior del torno, ya que esto puede desgastar la pintura que lo protege de la corrosión	Trapos para limpiar Aire comprimido Equipo de protección personal	30 minutos

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Tabla 5.14

Actividades trimestrales de mantenimiento preventivo para los tornos 101, 102 y 103

Actividades	Información adicional	Recursos	Duración
Proceder con extraer todo el refrigerante, limpiar el tanque de manera que no queden residuos de ningún tipo. Por otro lado, en el tanque se debe depositar 10	Para el buen trabajo de la bomba de refrigeración es necesario contar con un tanque limpio, libre de mugre y restos de viruta. De este modo se	Agua para diluir el refrigerante Refrigerante (preferiblemente sintético) Trapos para limpiar Llaves Allen Llaves mixtas	45 minutos

galones para el torno 101 y 7.5 galones de refrigerante para el caso del torno 102 y 103	garantiza que la bomba no se vaya bloquear por impurezas o se pueda tapar y forzar	Equipo de protección personal	
Inspeccionar las correas o fajas. Si presenta desgaste o fisura es necesario realizar el cambio además se debe verificar la tensión para un óptimo trabajo	Se aconseja tener un paquete de repuesto compuesto por cuatro correas o fajas (torno 101 B97, torno 102 B85 y torno 103 B87). De ser necesario se debe proceder con el cambio al detectar algún error	Llaves Allen Llaves mixtas Equipo de protección personal	30 minutos
Inspeccionar el panel de control eléctrico. Resocar los tornillos de los componentes, observar si existen sobrecalentamientos en cableado o componentes en mal estado. Medir consumos de corriente y de voltaje.	Si se requiere realizar algún cambio de componente se debe de reemplazar por uno que cumpla con las mismas características	Voltímetro Desatornilladores Llaves Allen Llaves mixtas Equipo de protección personal	30 minutos

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Tabla 5.15

Actividades anuales de mantenimiento preventivo para los tornos 101, 102 y 103

Actividades	Información adicional	Recursos	Duración
Realizar el cambio de aceite de la caja de velocidades y los avances. Se debe drenar en su totalidad de manera que se deben usar los recipientes para almacenar el aceite usado y luego desecharlo sin afectar el medio ambiente	Después de 2000 horas de uso el aceite ISO 68 empieza a perder propiedades que afectan el desempeño del torno. Para el torno 101 es necesario 5 galones de aceite ISO 68 (recomendado por el fabricante, ya que posee grandes cualidades anti desgaste y anticorrosivas) y para los tornos 102 y 103 se requieren 4 galones	Aceite ISO 68 (preferiblemente marca Shell) Embudo Bandeja para drenar el aceite Trapos para limpiar Llaves Allen Llaves mixtas Equipo de protección personal	90 minutos
Se recomienda realizar un análisis de vibraciones en la parte de la caja de velocidades del husillo y el motor	Para conocer el estado real de estos componentes y determinar si requieren de intervención por alineación, desgaste de rodamientos, piñones fracturados o algún fallo	Vibrómetro Estetoscopio Equipo de protección personal	60 minutos

	detectable, ya que tarda menos de 1/5 de tiempo con respecto al desmonte de las piezas para una posible inspección visual.		
Se recomienda realizar una calibración de precisión además de realizar una prueba de nivel del torno	Las vibraciones pueden generar un desnivel en el torno y requiere de la verificación de cada apoyo que posee graduación para dejar el torno a nivel	Llaves Allen Nivelador Galgas de calibración Llaves mixtas Equipo de protección personal	30 minutos

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Actividades de mantenimiento preventivo para las fresadoras 201 y 202:

A continuación, se muestran las tablas de las actividades de mantenimiento preventivo diarias, mensuales, trimestrales y anuales para las fresadoras 201 y 202.

Tabla 5.16

Actividades diarias de mantenimiento preventivo para las fresadoras 201 y 202

Actividades	Información adicional	Recursos	Duración
Revisar el nivel de aceite tanto de la caja de velocidades del husillo vertical y el nivel de las cajas de velocidades de los avances rápidos de la mesa de trabajo	No dejar bajar el nivel y de ser así buscar de inmediato la fuga, ya que con un nivel bajo de aceite se presentará un aumento de fricción y desgaste de las	Aceite 85W90 Llaves Allen Equipo de protección personal	3 minutos

	partes móviles como los son los rodamiento y piñones		
<p>Limpieza de la mesa de trabajo con ayuda de aire comprimido y una brocha para evacuar los residuos del proceso de mecanizado de la mesa de trabajo. Además, verificar que en la parte donde se encuentra el retorno del líquido refrigerante no se filtren virutas</p>	<p>No deben quedar rastros ya que se contamina el tanque, lo cual afecta el funcionamiento de la bomba con una acumulación grande</p>	<p>Brocha Aire comprimido Equipo de protección personal</p>	<p>10 minutos</p>
<p>Verificar el nivel del tanque de la bomba mecánica y accionar la bomba mecánica por lo menos 8 veces durante el turno. Así mismo, revisar que el aceite llegue a todas las guías y partes y al finalizar el turno volver a accionarla un par de veces.</p>	<p>Es necesario tener siempre por encima de $\frac{3}{4}$ de aceite ISO 32</p>	<p>Aceite ISO 32 Equipo de protección personal</p>	<p>15 minutos</p>

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Tabla 5.17

Actividades mensuales de mantenimiento preventivo para las fresadoras 201 y 202

Actividades	Información adicional	Recursos	Duración
<p>Con una pistola de limpieza y usando Varsol, eliminar todas las impurezas y residuos de viruta de los componentes de la guía de desplazamiento del eje Z</p>	<p>Para evitar el desgaste prematuro de la guía, ya que se compone de la tuerca en bronce y el tornillo trapecial que permite el movimiento soportado sobre una estructura que es guía de la mesa de trabajo. Así se logra reducir la fricción y que no se presente la obstrucción en el paso del tornillo</p>	<p>Pistola de limpieza Aire comprimido 1/3 de galón de Varsol Trapos de limpieza Equipo de protección personal</p>	<p>30 minutos</p>
<p>Limpieza a fondo de toda la máquina. Con ayuda de la pistola de limpieza con Varsol y unos trapos se procederá a limpiar y eliminar de residuos de viruta, polvo, grasa y refrigerante de todo el exterior de la fresadora</p>	<p>Es importante cuidar el exterior de la máquina ya que esta puede desgastar la pintura, la cual la protege de la corrosión.</p>	<p>Pistola de limpieza Aire comprimido 1/3 de galón de Varsol Trapos de limpieza Equipo de protección personal</p>	<p>60 minutos</p>

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Tabla 5.18

Actividades trimestrales de mantenimiento preventivo para las fresadoras 201 y 202

Actividades	Información adicional	Recursos	Duración
Limpieza de tanque de refrigeración, extraer todo el líquido del tanque, lavarlo con ayuda de una pistola de limpiar con Varsol para poder eliminar todos los residuos de viruta y mugre	Esto ayudará a conservar la calidad del refrigerante depositado en el tanque y sin impurezas la bomba trabajará de una manera óptima	Pistola de limpieza Aire comprimido 1/3 de galón de Varsol Trapos de limpieza Llaves mixtas Equipo de protección personal	60 minutos
Limpieza del Manifold de lubricación. Se debe purgar con ayuda de la pistola de limpiar neumática con Varsol, ejerciendo presión sobre la entrada de este para se elimine cualquier impureza de las vías para garantizar que el aceite ISO 32 llegue a todos los puntos que requieren lubricación.	Con el fin de mantener libres las vías de salida del Manifold	Pistola de limpieza Aire comprimido 1/3 de galón de Varsol Trapos de limpieza Equipo de protección personal	30 minutos
Inspeccionar el panel de control eléctrico. Resocar los tornillos	Si se requiere realizar algún cambio de componente se	Voltímetro Desatornilladores Llaves Allen	30 minutos

de los componentes, observar si existen sobrecalentamientos en cableado o componentes en mal estado. Medir consumos de corriente y de voltaje.	debe de reemplazar por uno que cumpla con las mismas características	Llaves mixtas Equipo de protección personal	
---	--	--	--

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Tabla 5.19

Actividades anuales de mantenimiento preventivo para las fresadoras 201 y 202

Actividades	Información adicional	Recursos	Duración
Realizar un análisis de vibraciones de las cajas de velocidades (principal y su motor) para la revisión de los piñones, rodamientos y demás componentes móviles. En caso de encontrar anomalías, se debe de desensamblar las cajas de velocidades, principal y su motor, para reemplazar los componentes dañados	Es importante saber si existe un riesgo inminente como la fractura de algún diente de unos de los piñones o si se presenta alguna desalineación o desgaste de rodamientos	Se recomienda intervención de análisis de vibraciones externa	De 60 minutos a 180 minutos (dependiendo si se debe desensamblar las cajas)
Cambio de aceite tanto de la caja	Al estar activo por más de 2000 horas	5 litros de aceite ISO 68	120 minutos

principal como la de los avances rápidos	de uso, el aceite empieza a perder propiedades y es necesario usar el aceite recomendado por el fabricante que es el ISO 68.	Embudo Bandeja para drenar el aceite Trapos para limpiar Llaves Allen Llaves mixtas Equipo de protección personal	
Ajuste de tuercas, tornillos de la estructura. Se debe recorrer toda la máquina en busca de todas las partes susceptibles a desajustarse por vibraciones.	Para garantizar el óptimo proceso de mecanizado del cabezal, la mesa de trabajo y las guías	Llaves mixtas Llaves Allen Trapos de limpieza Equipo de protección personal	60 minutos

Fuente: Elaboración propia, 2025.

5.1.4 Plan de capacitación técnica

En la actualidad, el taller contrata a la empresa Almacén Capris para las reparaciones de fallas imprevistas de los tornos y las fresadoras del área de precisión. Por ello, el Gerente General del taller busca que la capacitación técnica para los colaboradores del área de precisión sea impartida por dicha empresa. Se toman en cuenta los siguientes factores: el taller es uno de sus clientes frecuentes; cuentan con un cierto nivel de historial de visitas para reparaciones de los tornos y las fresadoras del taller; poseen un stock de repuestos para los tornos y las fresadoras; y, finalmente, es la empresa seleccionada por el taller para la realización de una de las actividades de mantenimiento anual, a saber, realizar un análisis de vibraciones de las cajas de velocidades (principal y de su motor).

El Centro de Servicio del Almacén Capris está conformado por un equipo de más de 26 profesionales altamente capacitados en áreas, como electromecánica, electrónica,

herramientas eléctricas y calibración certificada. Este equipo de trabajo está compuesto por técnicos certificados que han recibido una formación rigurosa.

Además, Almacén Capris dispone de las herramientas humanas, tecnológicas, de infraestructura y de conocimientos para garantizar a sus clientes un nivel óptimo de satisfacción y calidad en el servicio. Ofrecen soluciones personalizadas a través de contratos de mantenimiento preventivo y correctivo, así como de capacitaciones técnicas adaptadas a las necesidades específicas de cada cliente. En dichos contratos abarca y maximiza los recursos con los que cuenta el cliente, para generar la mayor satisfacción en las capacitaciones acerca de las reparaciones, revisiones y limpieza, cambio de aceites, filtros y todo lo que conlleva el mantenimiento preventivo de las máquinas. (Almacén Capris, 2025).

Objetivo del plan de capacitación técnica:

Desarrollar las competencias técnicas y habilidades prácticas de los colaboradores que operan los tornos y las fresadoras, mediante un programa de capacitación estructurado que les permita identificar, planificar y ejecutar un plan de mantenimiento preventivo efectivo, asegurando el correcto funcionamiento de los tornos y las fresadoras, minimizando tiempos de inactividad y prolongando su vida útil.

Análisis de necesidades del plan de capacitación técnica:

Que los colaboradores no solo adquieran las habilidades necesarias para llevar a cabo el mantenimiento preventivo de manera efectiva, sino que también comprendan su importancia y contribuyan a un ambiente de trabajo más seguro y eficiente. Este enfoque permitirá que los tornos y las fresadoras estén en óptimas condiciones, aumentando así su disponibilidad para la producción.

Estructura del programa del plan de capacitación técnica:

Este plan de módulos no solo dotará a los colaboradores que operan los tornos y las fresadoras de las competencias necesarias para realizar un mantenimiento preventivo efectivo, sino que también fomentará una cultura de seguridad y eficacia en el entorno de trabajo.

En la siguiente tabla se muestra la estructura de los módulos del programa:

Tabla 5.20

Estructura de los módulos del programa del plan de capacitación técnica

Módulo	Tema	Actividades
1	Introducción al mantenimiento preventivo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Conceptos fundamentales de mantenimiento. 2. Importancia del mantenimiento preventivo en la producción. 3. Diferencias entre mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo.
2	Conocimiento de las máquinas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Principales componentes y funcionamiento de tornos y fresadoras. 2. Tipos de operaciones que se pueden realizar con cada máquina. 3. Especificaciones técnicas y capacidades de las máquinas.
3	Identificación de fallas y problemas comunes	<ol style="list-style-type: none"> 1. Diagnóstico de síntomas y señales de desgaste. 2. Métodos para identificar fallas potenciales. 3. Resolución de problemas frecuentes en tornos y fresadoras.
4	Procedimientos de mantenimiento preventivo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tareas estándar de mantenimiento (lubricación, limpieza, ajustes). 2. Frecuencia y programación de actividades de mantenimiento.
5	Uso de herramientas y máquinas de mantenimiento	<ol style="list-style-type: none"> 1. Herramientas manuales y eléctricas necesarias para el mantenimiento. 2. Máquinas de diagnóstico: cómo utilizarlas correctamente.

		3. Prácticas sobre el mantenimiento de herramientas.
6	Registro y documentación del mantenimiento	<ol style="list-style-type: none"> 1. Importancia de la documentación en mantenimiento. 2. Cómo llevar un registro de actividades de mantenimiento. 3. Ejemplo de formato para informes y registros de mantenimiento.
7	Normas de seguridad en el trabajo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identificación de riesgos asociados al mantenimiento. 2. Uso adecuado del equipo de protección personal (EPP). 3. Procedimientos de seguridad y prevención de accidentes durante las actividades de mantenimiento.
8	Análisis de casos prácticos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Estudio de casos reales de mantenimiento en el taller. 2. Talleres prácticos donde se analicen fallas y se propongan soluciones. 3. Simulaciones de diagnóstico y resolución de problemas.
9	Evaluación del desempeño y retroalimentación	<ol style="list-style-type: none"> 1. Evaluaciones teóricas y prácticas al final de cada módulo. 2. Desarrollo de un proyecto de mantenimiento real donde los participantes apliquen lo aprendido. 3. Sesiones de retroalimentación para mejorar el aprendizaje.

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Metodología del plan de capacitación técnica:

a) Aprendizaje activo:

Discusiones grupales: Fomenta que los participantes compartan sus experiencias y conocimientos previos.

Preguntas y respuestas: Aclara dudas y refuerza el aprendizaje.

b) Clases teóricas dinámicas:

Utiliza presentaciones interactivas y material audiovisual para introducir los conceptos teóricos de manera atractiva.

c) Prácticas en taller:

Demostraciones de máquinas: Muestra el uso correcto de maquinaria y herramientas.

Ejercicios prácticos: Los participantes realizan tareas específicas (mantenimiento, uso de herramientas, etc.) bajo supervisión.

d) Aprendizaje basado en proyectos:

Asigna proyectos grupales en los que los participantes deban planificar y ejecutar un pequeño proyecto de metalmecánica, que implique todas las etapas desde el diseño hasta el mantenimiento.

e) Simulaciones y resolución de problemas:

Crea escenarios simulados que representen situaciones reales de trabajo donde los participantes deben diagnosticar problemas y proponer soluciones efectivas.

f) Evaluación continua:

Cuestionarios: Para evaluar el conocimiento teórico.

Evaluaciones prácticas: Observación directa de las habilidades prácticas durante las sesiones de taller.

Retroalimentación instantánea: Proporciona comentarios constructivos después de cada actividad.

g) Cierre y reflexión:

Al final de cada módulo o taller, organiza sesiones de cierre donde los participantes puedan reflexionar sobre lo aprendido y cómo aplicarán esos conocimientos en su trabajo diario.

h) Documentación y recursos adicionales:

Proporciona manuales, guías y enlaces a recursos adicionales que los participantes puedan consultar después de las sesiones.

Cronograma del plan de capacitación técnica:

Este cronograma proporciona un marco flexible y puede adaptarse según las circunstancias específicas del taller, la disponibilidad de los instructores y el nivel de experiencia de los participantes.

Algunos de los detalles adicionales del cronograma son los siguientes:

- a) Duración total del curso: 9 semanas (una por módulo) de 6 horas cada módulo.
- b) Formato: Las sesiones son presenciales.
- c) Materiales: Se deben preparar materiales didácticos, como presentaciones, manuales y formatos de registro antes de cada sesión.
- d) Evaluación continua: Se recomienda realizar evaluaciones rápidas al final de cada módulo para medir el entendimiento y la retención del contenido.

En la siguiente tabla se presenta la propuesta para el cronograma del plan de capacitación técnica:

Tabla 5.21

Cronograma del plan de capacitación técnica

Semana	Módulo	Actividades	Duración
1	Introducción al mantenimiento preventivo	<ol style="list-style-type: none">1. Conceptos fundamentales de mantenimiento.2. Importancia del mantenimiento preventivo en la producción.3. Diferencias entre mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo.	6 horas
2	Conocimiento de las máquinas	<ol style="list-style-type: none">1. Principales componentes y funcionamiento de tornos y fresadoras.2. Tipos de operaciones que se pueden realizar con cada máquina.	6 horas

		3. Especificaciones técnicas y capacidades de las máquinas.	
3	Identificación de fallas y problemas comunes	<ol style="list-style-type: none"> 1. Diagnóstico de síntomas y señales de desgaste. 2. Métodos para identificar fallas potenciales. 3. Resolución de problemas frecuentes en tornos y fresadoras. 	6 horas
4	Procedimientos de mantenimiento preventivo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tareas estándar de mantenimiento (lubricación, limpieza, ajustes). 2. Frecuencia y programación de actividades de mantenimiento. 	6 horas
5	Uso de herramientas y máquinas de mantenimiento	<ol style="list-style-type: none"> 1. Herramientas manuales y eléctricas necesarias para el mantenimiento. 2. Máquinas de diagnóstico: cómo utilizarlos correctamente. 3. Prácticas sobre el mantenimiento de herramientas. 	6 horas
6	Registro y documentación del mantenimiento	<ol style="list-style-type: none"> 1. Importancia de la documentación en mantenimiento. 2. Cómo llevar un registro de actividades de mantenimiento. 3. Ejemplo de formato para informes y registros de mantenimiento. 	6 horas
7	Normas de seguridad en el trabajo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identificación de riesgos asociados al mantenimiento. 2. Uso adecuado del equipo de protección personal (EPP). 3. Procedimientos de seguridad y prevención de 	6 horas

		accidentes durante las actividades de mantenimiento.	
8	Análisis de casos prácticos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Estudio de casos reales de mantenimiento en el taller. 2. Talleres prácticos donde se analicen fallas y se propongan soluciones. 3. Simulaciones de diagnóstico y resolución de problemas. 	6 horas
9	Evaluación del desempeño y retroalimentación	<ol style="list-style-type: none"> 1. Evaluaciones teóricas y prácticas al final de cada módulo. 2. Desarrollo de un proyecto de mantenimiento real donde los participantes apliquen lo aprendido. 3. Sesiones de retroalimentación para mejorar el aprendizaje. 	6 horas

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Plan de evaluación del plan de capacitación técnica:

La implementación de un plan de evaluación completo y estructurado es esencial para maximizar el aprendizaje y la aplicación práctica de los colaboradores que operan los tornos y las fresadoras en el curso de capacitación técnica. Estas evaluaciones no solo medirán la efectividad del programa, sino que también proporcionarán información valiosa para futuras ediciones del curso.

En la siguiente tabla se presenta el plan de evaluación del plan de capacitación técnica:

Tabla 5.22

Plan de evaluación del plan de capacitación técnica

Ítem	Descripción	Método
Evaluación diagnóstica (pre-capacitación)	Antes de iniciar el programa, se puede realizar una evaluación diagnóstica para establecer el nivel de conocimiento previo de los colaboradores. Esto ayudará a personalizar la capacitación según sus necesidades.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cuestionarios iniciales: Preguntas sobre mantenimiento preventivo, uso de herramientas y comprensión de máquinas. 2. Entrevistas o encuestas: Para captar experiencias previas y áreas de interés.
Evaluación formativa (durante la capacitación)	Durante cada módulo, se pueden implementar evaluaciones continuas para medir la comprensión de los temas y ajustar el contenido y los métodos según sea necesario.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Preguntas y respuestas: Al final de cada sesión para aclarar dudas. 2. Tareas prácticas: Ejercicios que los participantes deben completar durante los talleres. 3. Observaciones: Evaluar la participación y el rendimiento durante las actividades prácticas.
Evaluación sumativa (post-capacitación)	Al final de cada módulo, se llevarán a cabo evaluaciones sumativas para medir lo aprendido y el impacto general del programa.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Exámenes teóricos: Evaluaciones escritas con preguntas de opción múltiple, verdadero/falso y preguntas cortas sobre los conocimientos adquiridos.

		<p>2. Evaluaciones prácticas: Los participantes realizarán tareas que demuestren su habilidad en el mantenimiento preventivo y el uso de herramientas.</p> <p>3. Proyecto final: Un proyecto donde los participantes aplican lo aprendido. Este podría incluir el desarrollo de un plan de mantenimiento específico para una máquina.</p>
Evaluación de proyectos de mantenimiento	Los participantes trabajarán en un proyecto práctico que ponga en práctica lo aprendido en todos los módulos	<p>1. Presentación oral: Los grupos presentan su proyecto a sus compañeros y evaluadores.</p> <p>2. Informes escritos: Entrega de un informe que describa el proceso de diagnóstico y mantenimiento, incluyendo documentación y planificación.</p>
Feedback y retroalimentación	Es importante proporcionar retroalimentación constructiva tanto al final de cada módulo como al finalizar el curso. Esto ayudará a los participantes a mejorar y a los instructores a ajustar el curso en el futuro.	<p>1. Sesiones de retroalimentación: Encuentros donde se analizan los resultados de las evaluaciones y se ofrece consejo individual.</p> <p>2. Encuestas de satisfacción: Para que los participantes evalúen la</p>

		calidad del curso, la presentación de los instructores y el cumplimiento de las expectativas.
Evaluación del impacto a largo plazo	Después del curso, se pueden realizar evaluaciones a largo plazo para medir el impacto de la capacitación en el entorno laboral.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Seguimiento a 3-6 meses: Encuestas o entrevistas para evaluar cómo se ha implementado lo aprendido en el trabajo diario. 2. Métricas de desempeño: Evaluar cambios en la eficiencia de mantenimiento, reducción de fallas, o mejora en la seguridad laboral.

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Recursos necesarios del plan de capacitación técnica:

Contar con estos recursos garantizará que el plan de capacitación técnica se ejecute de manera efectiva, proporcionando a los colaboradores un entorno de aprendizaje enriquecedor, práctico y aplicable a su trabajo diario.

Tabla 5.23

Recursos necesarios del plan de capacitación técnica

Recursos necesarios	Descripción
Recursos humanos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Instructores calificados: Expertos en mantenimiento preventivo, operación de tornos y fresadoras, y seguridad industrial. Idealmente, deberían tener experiencia práctica en la industria.

	<p>2. Facilitadores: Personas encargadas de organizar y coordinar la logística del curso.</p>
Recursos materiales	<p>1. Espacio de capacitación: Un aula o sala de talleres equipada con suficiente espacio para clases teóricas y sesiones prácticas.</p> <p>2. Máquinas de formación: Tornos y fresadoras.</p> <p>3. Máquinas de diagnóstico: Herramientas para detectar fallas y medir el rendimiento de las máquinas.</p> <p>4. Herramientas y materiales de mantenimiento: Herramientas manuales (llaves, destornilladores, etc.) y herramientas eléctricas (taladros, sierras, etc.).</p> <p>5. Materiales y lubricantes necesarios para las prácticas de mantenimiento.</p>
Recursos didácticos	<p>1. Presentaciones y materiales teóricos: Folletos, guías de estudio, manuales técnicos y presentaciones en PowerPoint que aborden los temas de cada módulo.</p> <p>2. Ejercicios y casos prácticos: Material para ejercicios de diagnóstico y resolución de problemas que se utilizarán en talleres.</p> <p>3. Formatos de registro y documentación: Plantillas para informes de mantenimiento y control de actividades.</p>
Recursos técnicos	<p>1. Máquinas audiovisuales: Proyector, pantallas, y altavoces para presentaciones teóricas y estudios de caso.</p>

	<p>2. Material digital: Videos de mantenimiento y procedimientos, así como simulaciones interactivas que pueden enriquecer el aprendizaje.</p>
Recursos logísticos	<p>1. Material de papelería: Hojas, bolígrafos, carpetas, y todo lo necesario para que los participantes tomen notas y completen ejercicios.</p> <p>2. Comida y bebidas: Provisión de <i>snacks</i> y bebidas si la capacitación dura más de un día, para promover el bienestar de los participantes.</p> <p>3. Evaluaciones y certificación: Formularios para evaluaciones, y certificados de finalización para los participantes que completen el curso exitosamente.</p>
Presupuesto	<p>1. Costos de instructores: Honorarios por la capacitación.</p> <p>2. Material didáctico: Costos de impresión y adquisición de recursos educativos.</p>

Fuente: Elaboración propia, 2025.

5.1.5 Propuestas Kaizen

Las propuestas de actividades de Kaizen ofrecidas están enfocadas en la participación activa de los empleados para identificar áreas de mejora y optimizar procesos. Al implementar estas actividades, no solo se busca la mejora continua en la operación, sino también incrementar la satisfacción y el compromiso de los colaboradores. Esto generará un entorno de trabajo más eficiente y productivo.

A continuación, se describen varias actividades que se pueden implementar:

1. Análisis de tiempos:

Objetivo: Reducir el tiempo de ciclo en una operación específica.

Realización del análisis: Llevar a cabo un estudio detallado de los tiempos y movimientos durante una tarea específica, como la operación de una fresadora.

Identificación de etapas: Observar y documentar cada paso de la operación para identificar etapas innecesarias o ineficientes que se pueden mejorar o eliminar.

Implementación de mejoras: Aplicar las mejoras sugeridas, monitorear su efectividad y ajustarlas según sea necesario. Esto puede incluir la reorganización de los pasos del proceso o la inversión en herramientas que aumenten la velocidad y precisión.

2. Eventos de capacitación:

Objetivo: Mejorar las habilidades y conocimientos del personal.

Organización de capacitación: Facilitar sesiones de capacitación en las que colaboradores con más experiencia o expertos compartan conocimientos sobre nuevas técnicas, tecnologías o procedimientos de seguridad.

Fomento del aprendizaje continuo: Establecer un ambiente de aprendizaje constante que permita a los empleados actualizar sus habilidades. Esto no solo mejora la eficacia operativa, sino que también aumenta la moral y la satisfacción laboral.

3. Mejoras en la documentación:

Objetivo: Estandarizar y mejorar los procedimientos de trabajo.

Revisión de manuales: Realizar un evento donde se revisen y actualicen los manuales de operación y mantenimiento existentes.

Contribución de colaboradores: Fomentar la participación de todos los colaboradores para la elaboración de procedimientos más claros y efectivos. Esto no solo ayuda a estandarizar procesos, sino que también empodera a los colaboradores, haciéndolos sentir parte del proceso de mejora.

4. Implementar reuniones diarias breves:

Objetivo: Promover la comunicación y el trabajo en equipo.

Reuniones *Stand-Up*: Establecer reuniones cortas (stand-up) al inicio del turno donde los equipos revisen los objetivos del día, identifiquen problemas potenciales y compartan mensajes importantes.

Fomentar la transparencia: Estas reuniones permiten a cada miembro del equipo expresar preocupaciones y sugerencias sobre el proceso, fomentando un ambiente colaborativo y mejorando la reacción ante problemas.

5. Mejora del espacio de trabajo (Ergonomía):

Objetivo: Asegurar que los colaboradores tengan una postura adecuada y que las herramientas estén al alcance.

Análisis ergonómico: Realizar un análisis ergonómico de las estaciones de trabajo para identificar áreas que necesiten mejoras, como la disposición de herramientas y equipos.

Implementación de cambios: Aplicar cambios según los hallazgos, como ajustar la altura de las mesas de trabajo, reorganizar las herramientas o instalar máquinas que reduzcan el esfuerzo físico.

6. Eventos de celebración de éxitos:

Objetivo: Fomentar un ambiente positivo y motivar a los colaboradores.

Reuniones mensuales: Organizar reuniones mensuales donde se celebren las mejoras implementadas. Esto no solo refuerza la cultura de mejora continua, sino que también ayuda a reconocer públicamente a los colaboradores por sus aportes.

Fomentar la motivación: Celebrar pequeños y grandes logros puede mejorar la moral del equipo, lo que a su vez incrementa la implicación y el compromiso de los colaboradores.

5.2 CONTROLAR

5.2.1 Indicadores de mantenimiento (KPI)

Para la realización de los indicadores de disponibilidad, confiabilidad y de costos del mantenimiento preventivo, los cálculos se harán con base en las ecuaciones establecidas por el ingeniero electricista Lourival Augusto Tavares, publicadas en su libro "Administración Moderna de Mantenimiento", en donde menciona que para facilitar la evaluación de las actividades del mantenimiento, se debe permitir tomar decisiones y establecer metas, y en donde se deben ser creados informes concisos y específicos formados por tablas de índices, algunos de los cuales deben ir acompañados de sus

respectivos gráficos, proyectados para un fácil análisis y adecuado a cada nivel de gestión (Tavares, 2000).

Implementar los KPI de disponibilidad, confiabilidad y costo por mantenimiento es fundamental para el éxito de un plan de mantenimiento preventivo en el taller. Estos indicadores permiten tomar decisiones informadas, mejorar la eficiencia operativa, reducir costos y tiempos de inactividad y aumentar la productividad y la calidad de los productos. En definitiva, al monitorear estas métricas, el taller puede asegurar un enfoque proactivo hacia el mantenimiento y, en última instancia, lograr una operación más efectiva y rentable.

KPI de disponibilidad:

Mide el porcentaje del tiempo que un equipo está disponible para operar en comparación con el tiempo total programado.

La importancia es que optimiza el tiempo de operación al evaluar la disponibilidad, donde se pueden identificar períodos de inactividad y sus causas, permitiendo tomar acciones para reducir el tiempo perdido. También mejora la planificación, pues el hecho de conocer la disponibilidad de cada máquina ayuda a planificar la producción y el uso eficiente de recursos. Finalmente, ayuda al incremento en la productividad con una mayor disponibilidad de equipos que se traduce en una mayor producción y en la reducción de costos operativos.

El KPI de disponibilidad es una métrica que mide el porcentaje de tiempo que una máquina está disponible y operativa para realizar su función prevista. En otras palabras, indica cuánto tiempo la máquina está realmente funcionando en comparación con el tiempo total que debería estar funcionando.

La fórmula para calcular la disponibilidad es la siguiente:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo total} - \text{Tiempo de inactividad}}{\text{Tiempo total}} \times 100$$

en donde,

Disponibilidad = Es la cantidad total de tiempo durante el cual la máquina debería estar disponible para operar.

Tiempo total = Es el tiempo total en que la máquina debería estar disponible (por ejemplo, horas al día, días al mes, etc.).

Tiempo de inactividad = Es el tiempo que la máquina está inactiva debido a fallas, mantenimiento o reparaciones.

El taller puede obtener los datos necesarios para calcular el KPI de disponibilidad a través de los siguientes documentos:

a) Órdenes de mantenimiento: ya que deben registrar la fecha y hora de inicio y finalización de cada intervención (mantenimiento, reparación, etc.), así como el motivo de la intervención (falla, mantenimiento preventivo programado, etc.). T

b) Hojas de vida: que registran todas las intervenciones realizadas en una máquina específica a lo largo del tiempo.

KPI de confiabilidad:

Mide la probabilidad de que un equipo funcione sin fallos durante un período específico. Su importancia está en la reducción de fallas, ya que por su confiabilidad permite identificar patrones de falla y prever problemas antes de que ocurran, lo que resulta en menos fallas inesperadas. También aumenta la confianza de los colaboradores, mejorando la moral y la eficiencia en el trabajo. Y, finalmente, mejora la calidad del producto, debido a que la alta confiabilidad de las máquinas asegura un proceso de producción más fluido, lo cual impacta positivamente en la calidad de los productos finales.

El KPI de confiabilidad mide la probabilidad de que una máquina funcione sin fallas durante un período de tiempo específico y bajo condiciones de operación determinadas. La confiabilidad dice qué tan consistente es una máquina en su funcionamiento. Una alta confiabilidad significa que es menos probable que la máquina falle inesperadamente, lo que reduce el tiempo de inactividad y los costos asociados.

La fórmula para calcular la disponibilidad es la siguiente:

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de funcionamiento}}{\text{Número de fallas}}$$

en donde,

MTBF (*Mean time between failures* o tiempo medio entre fallas) = Es el resultado del cálculo y representa el tiempo promedio que una máquina funciona de manera normal entre una falla y la siguiente.

Tiempo total de funcionamiento = Es la suma de todo el tiempo que la máquina estuvo en operación, realizando su función prevista, durante un período de tiempo específico que se está analizando.

Número de fallas = Es la cantidad total de fallas que ocurrieron en la máquina durante el mismo período de tiempo que se está analizando.

El taller puede obtener los datos necesarios para calcular el KPI de confiabilidad a través de los siguientes documentos:

a) Órdenes de mantenimiento: Se debe extraer datos de fecha y hora de inicio de la falla y fecha y hora de finalización de la reparación (puesta en marcha nuevamente). Y una descripción detallada de la falla (tipo de falla, componente afectado). La diferencia entre la fecha/hora de finalización y la fecha/hora de inicio te da el tiempo de inactividad debido a la falla. La descripción ayuda a clasificar las fallas y a identificar patrones.

b) Hojas de vida: Se debe extraer datos de registro de todas las intervenciones (mantenimiento preventivo, correctivo, etc.) para cada máquina. También las fechas de inicio y fin de cada intervención.

KPI de costo de mantenimiento preventivo en la facturación (CMF):

Mide el costo total asociado con las actividades de mantenimiento dividido por el número de unidades producidas o por el tiempo de operación de las máquinas. Su importancia está en el control de costos, porque ayuda a identificar cuánto se está invirtiendo en mantenimiento y permite tomar decisiones sobre la viabilidad de las actividades de mantenimiento preventivo. También ayuda a la justificación de inversiones en nuevas tecnologías, máquinas o procesos de mejora que reduzcan costos a largo

plazo. Y, finalmente, en la optimización de recursos hacia las áreas que necesiten más atención o donde el costo sea más elevado, maximizando la efectividad del mantenimiento preventivo.

El KPI de costo de mantenimiento preventivo en la facturación (CMF) busca medir la eficiencia del gasto en mantenimiento preventivo en relación con los ingresos generados por el taller. En esencia, responde a la pregunta: ¿Qué porcentaje de los ingresos se destina al mantenimiento preventivo? Un valor muy alto podría indicar que se está gastando demasiado en mantenimiento preventivo, mientras que un valor muy bajo podría sugerir que se está invirtiendo muy poco, lo que podría aumentar el riesgo de fallas y costos correctivos más adelante.

Su cálculo se expresa como se muestra a continuación:

$$CFM = \frac{\text{Costo total del mantenimiento preventivo}}{\text{Ingresos totales}} \times 100$$

en donde,

Costo total de mantenimiento preventivo = Es la suma de todos los costos asociados con las actividades de mantenimiento preventivo realizadas durante un período específico (mensual, trimestral, anual).

Ingresos totales = Es la cantidad total de ingresos generados por el taller durante el mismo período que se utiliza para calcular el costo total de mantenimiento preventivo.

Los componentes del costo total de mantenimiento preventivo son:

Costo de mano de obra: Salarios y beneficios del personal de mantenimiento que realiza las tareas preventivas.

Costo de materiales y repuestos: Costo de los repuestos, lubricantes, filtros y otros materiales utilizados en las tareas preventivas.

Costo de servicios externos: Costo de los servicios de contratistas externos que realizan tareas de mantenimiento preventivo especializadas (calibración de máquinas, inspecciones certificadas).

Costo de herramientas y máquinas: Depreciación o alquiler de herramientas y máquinas utilizados específicamente para el mantenimiento preventivo.

Costo de capacitación: Costo de la capacitación del personal de mantenimiento en tareas de mantenimiento preventivo.

Los componentes de los ingresos totales incluyen todos los ingresos por ventas de productos, servicios, etc.

El taller puede obtener los datos necesarios para calcular el KPI de CFM a través de los siguientes documentos:

a) Costo total del mantenimiento preventivo:

Sistema de contabilidad: Para obtener datos de costos de mano de obra, costos de materiales y repuestos, costos de servicios externos, costos de herramientas y máquinas y costos de capacitación.

Órdenes de mantenimiento: Para obtener datos que proporcionan el tiempo dedicado por los técnicos a la tarea, lista de materiales y repuestos utilizados y el costo de los servicios externos.

b) Ingresos totales:

Sistema de contabilidad: El sistema de contabilidad es la fuente principal de información sobre los ingresos totales del taller.

Estado de resultados: El estado de resultados es un informe financiero que resume los ingresos, costos y gastos del taller durante un período de tiempo específico.

5.2.3 Análisis de costos

Este análisis estará dividido en secciones que serán el costo de la elaboración del plan de mantenimiento y el costo de su implementación anual. Además, se analizarán los costos anuales de la producción de los tornos y fresadoras del área de precisión.

Costos estimados de la elaboración del plan de mantenimiento preventivo:

A continuación, se establecen los criterios más importantes para la determinación del costo por concepto de elaboración del plan de mantenimiento preventivo.

Tabla 5.24

Costo estimado de elaboración del plan de mantenimiento preventivo

Ítem	Unidad	Precio	Cantidad	Total	Financiera
Mano de obra					
Gestor	Hora	€3 000	240	€720 000	Taller FAMIR
Total				€720 000	
Maquinaria y equipos					
Computadora	-	€1 500 000	1	€1 500 000	Taller FAMIR
Impresora	-	€150 000	1	€150 000	Taller FAMIR
Total				€1 650 000	
Consumibles					
Internet	Mensual	€50 000	3	€150 000	Taller FAMIR
Papelería	-	€10 000		€10 000	Taller FAMIR
Total				€160 000	
Otros gastos					
Electricidad	Mensual	€3 000	3	€18 000	Taller FAMIR
Transporte	Mensual	€80 000	3	€240 000	Gestionador
Total				€258 000	
Subtotal				€2 788 000	
Imprevistos (5%)				€139 400	

Costo final	C\$2 927 400
-------------	--------------

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Costos estimados de mano de obra del gestor:

Los costos mencionados se establecen según el tiempo que dedica el gestor, cuyo salario se estima en C\$120,000 al mes, lo que equivale a C\$3,000 por hora. Se prevé que la dedicación horaria para el proyecto sea de aproximadamente veinte horas semanales, tiempo que será utilizado para la recopilación de información sobre los activos y el avance del plan de mantenimiento preventivo. En total, se contemplan 240 horas (tres meses) para el desarrollo completo del plan de mantenimiento preventivo.

a) Costos estimados de maquinaria y equipo:

Está integrado por una computadora destinada al investigador, donde se almacenará toda la información recopilada de la empresa. Además, se requiere una impresora para poder obtener en formato físico los avances y datos recolectados.

b) Costos estimados de consumibles:

El gestor necesita acceder al servicio de internet para reunir información que apoye la elaboración del plan de mantenimiento preventivo. En cuanto a la papelería, estos gastos se reflejarían en la compra de blocs de notas, resmas de papel y otros materiales necesarios para la recopilación de datos e impresión.

c) Otros costos:

Estos costos incluyen el consumo energético del computador, que estará en uso de manera continua, así como los costos de transporte necesarios para que el investigador pueda visitar las instalaciones del taller. Estas visitas son fundamentales para la recopilación de información y para compartir los avances del plan de mantenimiento preventivo.

Costos estimados anuales de implementación del plan de mantenimiento preventivo:

Este análisis se lleva a cabo con el propósito de determinar el costo del plan de mantenimiento preventivo. Para ello, se implementará el presente plan, el cual relacionará los costos de insumos, mano de obra, herramientas y procesos externos.

a) Costos estimados anuales de insumos para el plan de mantenimiento preventivo:

En la siguiente tabla se presenta información relevante sobre los insumos necesarios para las actividades programadas de los tornos y las fresadoras, con el objetivo de prolongar la vida útil de sus componentes y aumentar su disponibilidad. En esta, podemos ver la cantidad de aceite requerida para el cambio anual establecido tanto para la caja de velocidades del torno como para la fresadora. Asimismo, se detalla el aceite necesario para la lubricación programada de las guías.

Adicionalmente, se incluye la cantidad de Varsol que se necesita para la limpieza de diversos componentes, con el fin de eliminar residuos de grasa, refrigerante y viruta. Es fundamental mantener el líquido refrigerante en óptimas condiciones y contar con lo necesario para realizar cuatro cambios anuales. El costo del galón de aceite ISO68 y el ISO32 se obtuvo a través de la empresa Central de Mangueras, en su sitio de internet <https://www.centraledemangueras.com> (ver anexo 2).

El precio del galón de Varsol se cotiza a través de la empresa Lanco, en su sitio de internet <https://www.lancostore.com> (ver anexo 3).

El costo del refrigerante se cotiza a través de la empresa Tecno Fijaciones en su sitio de internet <https://tecnofijacionescr.com> (ver anexo 4).

El costo de los trapos de limpieza se cotiza en la empresa Ferretería y Depósito MERCASA a través de su sitio de internet <https://www.grupomercasa.com> (ver anexo 5).

Tabla 5.25:

Estimación de costos anuales de insumos para el plan de mantenimiento preventivo

Máquina	Varsol		Aceite ISO68		Aceite guías ISO32	Refrigerante		Trapos de limpieza	
	Cant. galón	Costo	Cant. galón	Costo	Costo x 10 gal	Cant. galón	Costo	Cant.	Costo
3 Tornos	24	¢181 200	13,5	¢159 084	¢89 374	15	¢338 040	25 kg	¢69 250

2 Fresadoras	16	€120 800	2,6	€30 639		60	€180 288		
Costo total de insumos					€1 168 675				

Fuente: Elaboración propia, 2025.

b) Elementos varios requeridos para la limpieza y lubricación:

Estos costos están asociados al proceso de limpieza y lubricación de las máquinas. Incluyen los elementos necesarios para la recolección de las virutas y la dosificación del aceite ISO 32, que se utiliza en las guías y bancadas. La cantidad especificada se ha determinado para que cada colaborador disponga de los recursos requeridos para cada torno y fresadora en los procesos antes mencionados.

El costo de la escoba y la brocha se cotiza en la empresa Ferretería y Depósito MERCASA a través de su sitio de internet <https://www.grupomercasa.com> (ver anexo 6).

El costo de la aceitera se cotiza en la empresa Pacifiko a través de su sitio de internet <https://www.pacifiko.cr> (ver anexo 7).

La bandeja de drenado se cotiza en la empresa Ferretería NOVEX a través de su sitio de internet <https://novex.cr> (ver anexo 8).

Tabla 5.26

Costos estimados de elementos varios requeridos para la limpieza y lubricación

Elementos	Cantidad	Costo
Escoba	5	€12 847
Brocha de 4"	5	€14 531
Aceitera 500 ml	5	€39 500
Bandeja de drenado	5	€17 500
Total		€84 378

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Estimación del costo anual de mano de obra interna de actividades del plan de mantenimiento preventivo:

Los tiempos y los costos estimados para realizar las actividades del plan de mantenimiento preventivo se establecen en función de la frecuencia, que puede ser mensual, trimestral o anual, dependiendo del tipo de máquina. El costo por hora de cada colaborador del área de precisión es de ₡2100.

Tabla 5.27

Costos anuales estimados de mano de obra interna de actividades del plan de mantenimiento preventivo

Máquina	Colaborador	Horas	Costo
Torno 101, 102 y 103	Tornero (x3)	281	₡590 100
Fresadora 201 y 202	Fresador (x2)	284	₡596 400
Total		565	₡1 186 500

Fuente: Elaboración propia, 2025.

c) Costos estimados de mano de obra externa de actividades del plan de mantenimiento preventivo:

A continuación, se presentan los costos estimados de mano de obra externa que son necesarios para llevar a cabo las actividades del plan de mantenimiento preventivo, dado que no se dispone de máquinas específicas para realizar el mantenimiento. Por esta razón, se busca personal calificado para llevar a cabo estas tareas. Los costos fueron obtenidos a través de la empresa Almacén Capris, que se especializa en ofrecer servicios de mantenimiento, reparación y venta de máquinas, además de realizar el análisis de vibraciones a los tornos y a las fresadoras. El costo por hora, por cada técnico especialista del centro de servicio Capris, es de ₡16500. El total de horas para realizar un análisis de vibraciones de las cajas de velocidades de los tornos y las fresadoras y sus respectivos motores es de 180 minutos (2 horas) aproximadamente por cada una de las máquinas y es realizado una vez al año. Se requiere de dos técnicos para cada análisis; por lo tanto, el costo estimado en mano de obra externa se refleja en la siguiente tabla:

Tabla 5.28

Costos estimados de mano de obra externa

Tipo	Descripción	Costo
Análisis de vibraciones	Una de las recomendaciones consiste en llevar a cabo un análisis de vibraciones para evaluar el estado de los componentes de las cajas de velocidades de los tornos y las fresadoras y sus respectivos motores	€330 000
Total		€330 000

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Los costos totales de implementación del plan de mantenimiento preventivo para un año luego del previo análisis realizado incluyen los costos de los insumos, elementos de limpieza, mano de obra interna y mano de obra externa.

Tabla 5.29

Costo total anual estimado de implementación del plan de mantenimiento preventivo

Descripción	Costo
Costo de insumos del plan de mantenimiento preventivo	€1 168 675
Costo de elementos de limpieza	€84 378
Costo de mano de obra interna	€1 186 500
Costo de mano de obra externa	€330 000
Total	€2 769 553

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Estimación del costo total anual de implementación del plan de mantenimiento preventivo proyectado a un año:

En esta sección, se muestra el costo total estimado de la implementación del plan de mantenimiento preventivo proyectado a un año. Cabe considerar que ya no se tomará en cuenta el costo de elaboración del plan de mantenimiento preventivo. También se toma en cuenta el costo de la inflación para el año 2026 que se estima sea de un 3% de acuerdo con el Banco Central de Costa Rica (BCCR).

Tabla 5.30

Costo total anual estimado del plan de mantenimiento preventivo proyectado a un año

Descripción	Costo
Costo de insumos del plan de mantenimiento preventivo	₡1 203 735
Costo de elementos de limpieza	₡86 909
Costo de mano de obra interna	₡1 222 095
Costo de mano de obra externa	₡339 900
Total	₡2 852 639

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Costos estimados del plan de capacitación técnica:

Este presupuesto estimado proporciona una visión clara de los costos asociados con el plan de capacitación. Es importante tener en cuenta que, dependiendo de la situación financiera del taller y el alcance de la capacitación, se pueden realizar ajustes en diferentes áreas, como la duración del curso, el número de participantes o la búsqueda de materiales más económicos.

A continuación, se muestra un desglose de todos los costos involucrados:

- ✓ Número de colaboradores: 4.
- ✓ Salario por hora de cada colaborador: ₡2,100.
- ✓ Honorario por hora del instructor: ₡16,500.
- ✓ Duración de la capacitación: 9 días.
- ✓ Costo de material didáctico: ₡5,000 por persona.
- ✓ Costo de alimentos y bebidas por día: ₡6,000 por persona
- ✓ Horas diarias de capacitación: 6 horas

Cálculo del presupuesto:

a) Costos de los colaboradores:

Costo total por hora por los 4 colaboradores:

$$4 \times ₡2100 = ₡8400 \text{ por hora}$$

Costo total por día por los 4 colaboradores:

$$6 \text{ horas} \times ₡8400 = ₡50400 \text{ por día}$$

Costo total por 9 días por los 4 colaboradores:

$$₡50400 \times 9 = ₡453600 \text{ por 9 días}$$

b) Costo del instructor:

Costo total del instructor por día:

$$6 \text{ horas} \times ₡16500 = ₡99000 \text{ por día}$$

Costo total del instructor por 9 días:

$$₡99000 \times 9 = ₡891000 \text{ por 9 días}$$

c) Costo del material didáctico:

Costo total del material didáctico para 4 personas:

$$4 \times \text{C}\$5000 = \text{C}\$20000$$

d) Costo de alimentos y bebidas:

Costo total por día por los 4 colaboradores e instructor:

$$10 \times \text{C}\$6000 = \text{C}\$60000 \text{ por día}$$

Costo total por 9 días por los 4 colaboradores e instructor:

$$\text{C}\$60000 \times 10 = \text{C}\$600000 \text{ por 9 días}$$

Resumen del presupuesto del plan de capacitación técnica:

A continuación, se presenta un resumen del presupuesto del plan de capacitación técnica.

Tabla 5.31

Resumen del presupuesto del plan de capacitación técnica

Concepto	Costo
Costo total de los colaboradores	C\$463 600
Costo total del instructor	C\$891 000
Costo total del material didáctico	C\$20 000
Costo total de alimentos y bebidas	C\$600 000
Total	C\$1 974 600

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Costos anuales de la producción de los tornos y fresadoras del área de precisión:

Este análisis ofrece un acercamiento a la producción basada en cada torno y fresadora del área de precisión, considerando un periodo evaluativo de un año.

Para ello, se calcula el valor hora estimado por el taller para el cliente por cada torno y fresadora del área de precisión. A partir de este valor, se descuenta el porcentaje correspondiente al salario de cada colaborador, que equivale al valor por una jornada diaria de 9,5 horas, es decir, 47,5 horas a la semana y 2280 horas al año.

La máquina opera en promedio 7,5 horas diarias, descontando una hora de almuerzo y dos descansos, uno en la mañana y otro en la tarde de treinta minutos cada uno. Además, se incorpora un costo asociado al consumo de energía.

Así, el costo total presentado refleja un cálculo aproximado de la producción anual generada por los tornos y las fresadoras que conforman el área de precisión del taller.

Tabla 5.32

Costos de producción anual por cada torno y fresadora del área de precisión

Máquina	Valor hora	Valor hora colaborador	Valor neto	Horas diarias	Horas anuales	Cantidad máquinas	Costo total
Tornos	€6 500	€2 100	€4 400	7,5	1800	3	€23 760 000
Fresadoras	€9 000	€2 100	€6 900	7,5	1800	2	€24 840 000
Electricidad (promedio anual de recibos)							- €14 000000
Costo anual tornero	€2100			9,5	2280		- €4 788 000
Costo anual fresador	€2100			9,5	2280		- €4 788 000
Total							€26 104 000

Fuente: Elaboración propia, 2025.

5.2.6 Retorno sobre la inversión (ROI)

Con el análisis previamente realizado, se evalúa el proyecto utilizando un indicador económico que nos permita determinar el retorno de la inversión efectuada al implementar el plan de mantenimiento preventivo, así como el valor aproximado de producción de los tornos y fresadoras del área de precisión.

Este cálculo se fundamentará en el indicador ROI, definido como el retorno sobre la inversión, cuya ecuación se expresa de la siguiente manera:

$$ROI = \frac{\text{Producción} - \text{Costo del plan de mantenimiento preventivo}}{\text{Costo total del plan de mantenimiento preventivo}} \times 100$$

En donde, la producción hace referencia al valor obtenido en la tabla 5.32 y el costo del plan de mantenimiento preventivo hace referencia a la sumatoria de los cálculos obtenidos en las tablas 5.24, 5.29 y 5.31. Para hacer una proyección a un año se utilizarán los datos de la tabla 5.30.

De esta manera, entonces el cálculo del ROI para el primer año de implementación sería el siguiente:

$$ROI = \frac{\$26\,104\,000 - (\$2\,927\,400 + \$2\,769\,553 + \$1\,974\,600)}{(\$2\,927\,400 + \$2\,769\,553 + \$1\,974\,600)} \times 100$$

$$ROI = \frac{\$26\,104\,000 - \$7\,671\,553}{\$7\,671\,553} \times 100$$

$$ROI = 240\%$$

Y para el segundo año, contemplando un costo de inflación del 3% y los datos del total anual estimado del plan de mantenimiento preventivo mostrado en la tabla 5.30, el ROI sería el siguiente (no se incluye el costo de la gestión del plan de mantenimiento preventivo y el costo de la capacitación técnica debido a que ya fueron implementadas en el primer año y no se requieren para el siguiente año):

$$ROI = \frac{\text{C}\$26\,887\,120 - \text{C}\$2\,852\,639}{\text{C}\$2\,852\,639} \times 100$$

$$ROI = 842\%$$

Primer año:

Inversión y beneficios: Por cada colón que se invierte en el plan de mantenimiento preventivo, se generan beneficios de C\$2,4. Esto significa que el retorno de la inversión (ROI) es del 240%.

Segundo año:

Inversión y beneficios: Para el segundo año, por cada colón invertido, los beneficios suben a C\$8,42. Esto representa un ROI del 842%.

5.2.7 Método de ruta crítica (CPM)

Actividades generales y duraciones:

- a) Gestión del plan de mantenimiento preventivo: 3 meses (12 semanas)
- b) Implementación del plan de mantenimiento preventivo: 3 meses (12 semanas)
- c) Capacitación técnica: 3 meses (12 semanas)

Actividades específicas:

- a) Gestión del plan de mantenimiento preventivo:
 - 1. Asignación de códigos para los tornos y fresadoras: 3 semanas
 - 2. Creación de fichas técnicas de tornos y fresadoras: 3 semanas
 - 3. Creación de formato para órdenes de mantenimiento preventivo de los tornos y fresadoras: 3 semanas
 - 4. Creación de documentos de hoja de vida de los tornos y fresadoras: 3 semanas
- b) Implementación del plan de mantenimiento preventivo:
 - 1. Gestión de compra de insumos (aceites, refrigerantes, trapos): 6 semanas
 - 2. Gestión de compra de utensilios de limpieza: 6 semanas
- c) Capacitación técnica:
 - 1. Coordinación con instructor respectivo: 4 semanas
 - 2. Gestión de compra de material didáctico: 4 semanas

3. Gestión de compra de alimentos y bebidas: 4 semanas

Dependencias de las actividades:

La gestión del plan de mantenimiento preventivo debe completarse antes de comenzar su implementación. La capacitación técnica debe comenzar después de que la implementación del plan de mantenimiento preventivo esté completa.

Diagrama de red:

Seguidamente, se muestra una tabla con la duración de las actividades principales y específicas para tener una mejor visualización y su letra asignada a cada actividad principal para crear posteriormente el diagrama de red.

Tabla 5.33

Duración de las actividades principales y específicas del CPM

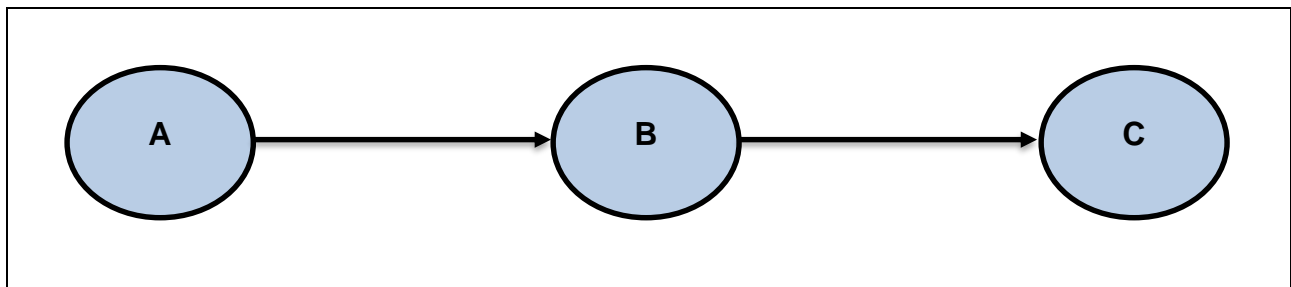
Asignación	Actividad principal	Actividades específicas	Duración
A	Gestión del plan de mantenimiento preventivo	Asignación de códigos	3 semanas
		Creación de fichas técnicas	3 semanas
		Creación de formato para órdenes de mantenimiento	3 semanas
		Creación de hoja de vida	3 semanas
B	Implementación del plan de mantenimiento preventivo	Gestión de compra de insumos	6 semanas
		Gestión de compra de utensilios de limpieza	6 semanas
C	Plan de capacitación técnica	Coordinación con instructor respectivo	4 semanas
		Gestión de compra de material didáctico	4 semanas

		Gestión de compra de alimentos y bebidas	4 semanas
Total			36 semanas

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Figura: 5.1

Diagrama de red del CPM



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Por lo tanto, la ruta crítica de este proyecto es A – B – C

Fechas de inicio y fin de actividades:

a) Gestión del plan de mantenimiento preventivo (A):

Inicio: semana 0

Fin: semana 12 (0 + 12)

b) Implementación del plan de mantenimiento preventivo (B):

Inicio: semana 12

Fin: semana 24 (12 + 12)

c) Capacitación técnica (C):

Inicio: semana 24

Fin: semana 36 (24 + 12)

Tiempo total de la ruta crítica:

La duración total del proyecto es de 36 semanas, en este caso:

Inicio: semana 0

Fin: semana 36

Consideraciones finales:

En el escenario descrito, las tres actividades (gestión del plan de mantenimiento preventivo, la implementación del plan de mantenimiento preventivo y la capacitación técnica) tienen la misma duración de 3 meses, y todas son críticas para el proyecto, ya que completarlas es necesario para entregar todos los aspectos de dicho plan.

5.2.7 Diagrama de Gantt

A continuación, se presenta la lista de actividades con los tiempos de duración de las actividades específicas para la posterior elaboración del diagrama de Gantt. Cada actividad principal y específica tiene asignado un color para una mayor comprensión en la lectura del diagrama de Gantt próximo.

Tabla 5.34

Duración de actividades específicas para diagrama Gantt

Actividad principal	Actividades específicas	Asignación	Duración	Fecha de inicio	Fecha de fin
Gestión del plan de mantenimiento preventivo	Asignación de códigos	T1	3 semanas	Semana 1	Semana 3
	Creación de fichas técnicas	T2	3 semanas	Semana 4	Semana 6
	Creación de formato para órdenes de mantenimiento	T3	3 semanas	Semana 7	Semana 9

	Creación de hoja de vida	T4	3 semanas	Semana 10	Semana 12
Implementación del plan de mantenimiento preventivo	Gestión de compra de insumos	T5	6 semanas	Semana 13	Semana 18
	Gestión de compra de utensilios de limpieza	T6	6 semanas	Semana 18	Semana 24
Plan de capacitación técnica	Coordinación con instructor respectivo	T7	4 semanas	Semana 25	Semana 28
	Gestión de compra de material didáctico	T8	4 semanas	Semana 29	Semana 32
	Gestión de compra de alimentos y bebidas	T9	4 semanas	Semana 33	Semana 36

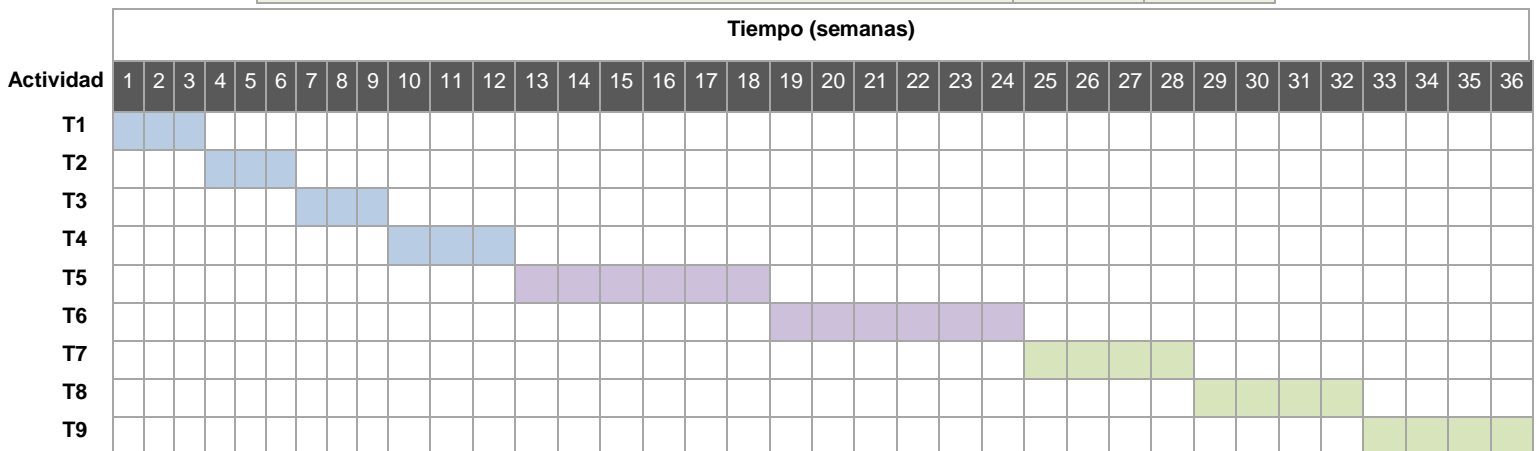
Fuente: Elaboración propia, 2025.

Con base al anterior método de ruta crítica y a la tabla anterior, a continuación, se muestra el diagrama de Gantt para las actividades de este proyecto.

Figura 5.2

Diagrama de Gantt del proyecto

Actividades	Semana inicio	Semana fin
Gestión del plan de mantenimiento preventivo		
Asignación de códigos	1	3
Creación de fichas técnicas	4	6
Creación de formato para órdenes de mantenimiento	7	9
Creación de documentos de hoja de vida	10	12
Implementación del plan de mantenimiento preventivo		
Gestión de compra de insumos	13	18
Gestión de compra de utensilios de limpieza	19	24
Capacitación técnica		
Coordinación con instructor	25	28
Gestión de compra de material didáctico	29	32
Gestión de compra de alimentos y bebidas	33	36



Fuente: Elaboración propia, 2025.

5.2.8 Análisis ambiental del plan de mantenimiento

A través de este análisis ambiental personalizado, se identificarán las posibles fuentes de riesgo durante la ejecución del plan de mantenimiento. El análisis ambiental es fundamental, ya que permite identificar las implicaciones que conlleva una actividad de mantenimiento. En particular, para este proyecto el análisis ambiental del plan de mantenimiento es personalizado y

proporcionará las herramientas necesarias para evaluar el impacto ambiental de las intervenciones realizadas.

Las visitas a las instalaciones del Taller Industrial FAMIR de Alajuela han revelado que la empresa se sitúa en una zona industrial, donde la contaminación auditiva es moderada y no existen áreas expuestas directamente al sol y la lluvia.

Es igualmente relevante señalar que, al llevar a cabo actividades de reparación, ajuste, limpieza e inspección, no se generan contaminantes nocivos que puedan poner en grave riesgo la salud de los colaboradores. Sin embargo, se generan residuos líquidos, como los refrigerantes y diferentes tipos de aceites, así como sólidos, como viruta resultante del proceso de mecanizado. Por ello, es fundamental gestionar adecuadamente estos desechos para evitar daños al ecosistema.

La mayor parte de los aceites usados se depositan en los recipientes originales de fábrica, mientras que la viruta se almacena en tres barriles metálicos que se vacían semanalmente, ya que se vende a un intermediario.

Existen también ciertos materiales empleados en las actividades de mantenimiento que no son reutilizables y que deben ser desechados. Estos se dividen en reciclables, no reciclables y orgánicos, permitiendo así una adecuada clasificación de los residuos no reutilizables para optimizar su tratamiento y aprovechamiento.

Se definirán las consecuencias asociadas a dichos riesgos y se evaluará la probabilidad de que ocurran durante la ejecución de tareas específicas. Además, se establecerán los controles existentes para cada fuente de riesgo, con el objetivo de implementar medidas eficaces que mitiguen estos peligros.

Fuentes de riesgo:

En la tabla siguiente, se presentan las fuentes de riesgo que pueden surgir durante las actividades de mantenimiento. Se detalla para cada fuente de riesgo las posibles consecuencias, así como los controles existentes para gestionarlas.

Tabla 5.35

Fuentes de riesgo ambiental

Fuente de riesgo	Consecuencia	Controles existentes
Cambio de fajas	Correas dañadas Trapos sucios	Se almacena en bolsas de basura no reciclable
Lubricación de guías	Derrame de aceite nuevo sobre la máquina y el suelo	Se hace a través de la aceitera
Limpiar polvo	Trapos sucios	Se almacena en bolsas de basura no reciclable
Cambio de aceite	Derrame sobre la máquina y el suelo al momento de dosificar	Utilizar embudo
Cambio de filtros	Filtros dañados Trapos sucios	Se almacena en bolsas de basura no reciclable
Drenaje de aceite	Derrame de aceite usado	Utilizar una bandeja para este drenado
Limpieza con Varsol	Salpicar el suelo y crear una nube de Varsol en el aire	Ninguno
Limpieza diaria	Salpicar residuos de aceite, refrigerante y virutas al suelo	Tener precaución en el proceso

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Indicadores para determinar el impacto ambiental:

Luego del análisis realizado con el objetivo de identificar las posibles fuentes de riesgos durante el desarrollo de las actividades de mantenimiento, el paso a seguir es

establecer unos indicadores para determinar el impacto ambiental de cada una de estas fuentes potenciales de riesgo en la implementación de este plan de mantenimiento.

a) Probabilidad:

La probabilidad es la posibilidad de que alguna de las fuentes de riesgo previamente identificadas tenga una consecuencia en alguna de las actividades establecidas. La siguiente tabla permitirá clasificar la posibilidad de que sean potenciales las fuentes de riesgo antes mencionadas.

Tabla 5.36

Indicador de posibilidad de fuentes de riesgo

5	Muy alta	Más del 90%
4	Alta	60 - 90%
3	Moderada	30 – 60%
2	Baja	10 – 30%
1	Muy baja	Menos del 10%

Fuente: Elaboración propia, 2025.

b) Impacto:

Este indicador se refiere al daño ocasionado en el medio ambiente, distinguiendo entre aquellos daños que pueden ser revertidos a través de acciones correctivas y aquellos que, en cambio, son irreversibles y afectan de manera profunda al ecosistema, dependiendo del tipo de contaminante involucrado.

La siguiente tabla determinará el impacto ambiental para ponderar cada uno de los riesgos identificados.

Tabla 5.37

Indicador de impacto de fuentes de riesgo

5	Muy alto	Impacto muy grave, compromete el medio ambiente
---	----------	---

4	Alto	Impacto serio, afecta recursos o salud
3	Moderado	Impacto notable, requiere medidas de mitigación
2	Bajo	Impacto menor y fácil de mitigar
1	Muy bajo	Sin efecto significativo

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Análisis de riesgos ambientales:

Con los riesgos identificados y evaluados, se construye la matriz en forma de tabla. El riesgo total se obtiene a través de la multiplicación de la probabilidad por el impacto, para así priorizar las acciones. Los riesgos con un puntaje más alto deben ser abordados primero.

Tabla 5.38

Análisis de riesgos ambientales

Fuente de riesgo	Probabilidad	Impacto	Riesgo total
Cambio de fajas	5	3	15
Lubricación de guías	2	3	10
Limpiar polvo	5	4	20

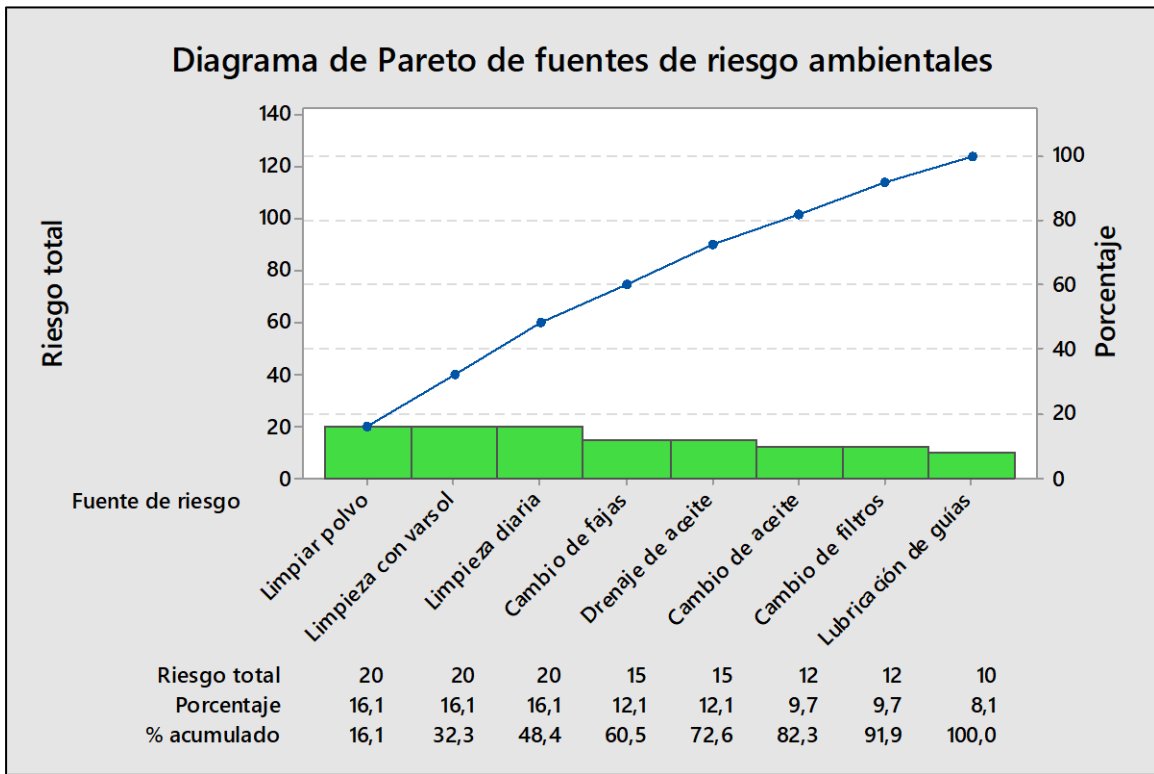
Cambio de aceite	4	3	12
Cambio de filtros	4	3	12
Drenaje de aceite	5	3	15
Limpieza con Varsol	5	4	20
Limpieza diaria	5	4	20

Fuente: Elaboración propia, 2025.

De acuerdo con el puntaje obtenido en la evaluación de análisis de riesgos ambientales de la tabla anterior, se muestra el siguiente diagrama de Pareto para así dar prioridad a los más críticos.

Figura 5.3

Gráfico de diagrama de Pareto de análisis de riesgos ambientales



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Según el anterior diagrama de Pareto, los posibles cinco riesgos ambientales más críticos son los siguientes:

- ✓ Limpiar polvo.
- ✓ Limpieza con Varsol*. (se dan detalles específicos más adelante).
- ✓ Limpiezas diarias.
- ✓ Cambio de fajas.
- ✓ Drenaje de aceite.



Medidas de control ambiental:

Una vez que se ha determinado el nivel de impacto ambiental para cada riesgo, se establecen medidas de control que se detallan en la siguiente tabla. Estas medidas están diseñadas para mitigar la fuente de riesgo a través de un manejo adecuado de los residuos y elementos asociados a cada situación de riesgo.

La tabla siguiente representa el manejo de los residuos teniendo en cuenta los que produce el taller.

Tabla 5.39

Medidas de control ambiental

Tipo de residuo	Clasificación		Depósito	Manejo y control
No peligrosos	Reciclable	Papel y cartón		Reciclaje y reutilización
		Papel archivo		
		Periódico		
		Cartón liso limpio y seco		
		Cartón corrugado limpio y seco		
		Textiles		
		Trapos		
		Ropa		
	Reciclable	Plásticos		Reciclaje y reutilización
		Bolsas plásticas		
		Vasos plásticos		
		PET		
		Contenedores plásticos		
	Reciclable	Residuo de materiales		Reciclaje y reutilización
		Viruta		
Roles				
Metal				
Chatarra				
Tornillos				
No reciclables	Papel contaminado		Disposición final	

	Cartón contaminado		
	Trapos con residuos de aceite o grasa		
Peligrosos	Residuos ordinarios		
	Filtros		
	Empaques		
	Fajas		
	Aceite usado		
	Refrigerantes		
	Lubricantes		

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Opciones de tratamiento y gestión del Varsol:

El Varsol, al ser un solvente derivado del petróleo, presenta desafíos importantes debido a su toxicidad y potencial de contaminación del suelo, agua y aire. El tratamiento adecuado del Varsol usado en la limpieza de tornos y fresadoras es crucial para minimizar estos impactos.

Antes de cualquier tratamiento, es fundamental conocer la composición exacta del Varsol usado, incluyendo posibles contaminantes (aceites, metales). También se debe de determinar la cantidad de Varsol usado y generado como residuo en un período determinado.

A continuación, se presentan varias opciones, ordenadas según su nivel de sostenibilidad y complejidad:

- a) Prevención y minimización (la opción más sostenible):

Sustitución por alternativas menos peligrosas: La mejor opción es eliminar o reducir el uso de Varsol. Se podría considerar alternativas de limpieza menos tóxicas, como los solventes biodegradables (existen solventes a base de cítricos o alcoholes que son menos dañinos para el medio ambiente).

Limpieza acuosa con detergentes: En muchos casos, una solución de agua y detergente industrial puede ser efectiva, especialmente si se combina con equipos de limpieza a presión o ultrasonido.

b) Optimización del proceso de limpieza:

Limpieza localizada: Aplicar el Varsol solo en las áreas que lo necesiten, utilizando pulverizadores o brochas en lugar de inmersión.

Recuperación del Varsol: Implementar sistemas para recoger el Varsol que escurre o se evapora durante la limpieza.

Mantenimiento preventivo: Mantener los tornos y fresadoras limpios y bien lubricados reduce la necesidad de limpieza intensiva con solventes.

c) Recuperación y reutilización:

Destilación: Un destilador de solventes separa el Varsol de los contaminantes por medio de calor y condensación. El Varsol destilado puede ser reutilizado en el proceso de limpieza, reduciendo la cantidad de residuo generado. Es una opción viable si se genera una cantidad significativa de Varsol usado.

Filtración: El Varsol usado puede ser filtrado para remover partículas sólidas y algunos contaminantes. Esto prolonga la vida útil del solvente y reduce la necesidad de destilación.

Absorción: Utilizar materiales absorbentes (como carbón activado) para remover contaminantes del Varsol. Después de la absorción, el carbón contaminado debe ser gestionado como residuo peligroso.

Consideraciones adicionales para el tratamiento y gestión del Varsol:

a) Legislación:

Cumplir con las regulaciones ambientales locales, nacionales e internacionales sobre el manejo de residuos peligrosos. Esto incluye el almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final del Varsol usado.

b) Seguridad:

Implementar medidas de seguridad para proteger a los colaboradores de la exposición al Varsol, incluyendo el uso de equipo de protección personal (EPP) y la ventilación adecuada de las áreas de trabajo.

c) Almacenamiento:

Almacenar el Varsol usado en contenedores adecuados, etiquetados correctamente y ubicados en áreas seguras y ventiladas.

d) Capacitación:

Capacitar a los colaboradores sobre los riesgos del Varsol y las prácticas adecuadas de manejo y tratamiento.

e) Documentación:

Mantener registros detallados de la cantidad de Varsol usado, generado como residuo, tratado y dispuesto.

Recomendaciones específicas para el tratamiento y gestión del Varsol:

a) Priorizar la sustitución del Varsol:

Investigar y probar alternativas menos peligrosas que puedan realizar la misma función de limpieza.

b) Implementar un sistema de gestión de solventes:

Esto incluye la compra controlada de Varsol, el seguimiento del uso, la recolección del Varsol usado y el tratamiento o disposición adecuados.

c) Contratar a una empresa especializada en la gestión de residuos peligrosos:

Si no se puede tratar el Varsol usado "in situ", contratar a una empresa con experiencia en el manejo de solventes es la mejor opción para garantizar su tratamiento y disposición adecuados.

Usar aire comprimido para aplicar Varsol en la limpieza de tornos y fresadoras presenta desafíos adicionales desde el punto de vista ambiental y de seguridad, principalmente por la dispersión de vapores y la generación de aerosoles. Por ello, se dan las siguientes recomendaciones:

a) Volumen de Varsol:

Estimar la cantidad de Varsol utilizada por mes o por año en el proceso de limpieza con aire comprimido.

b) Área de dispersión:

Evaluar qué tan lejos se dispersan las gotas de Varsol y los vapores durante la limpieza. Esto ayudará a determinar el área que requiere ventilación y control de emisiones.

c) Exposición de los colaboradores:

Monitorear la exposición de los colaboradores a los vapores de Varsol durante la limpieza. Esto es esencial para garantizar la seguridad y el cumplimiento de las normas de salud ocupacional.

d) Boquillas de baja presión:

Reemplazar las boquillas actuales por boquillas diseñadas para generar un flujo de aire más concentrado y menos nebulización. Esto reduce la cantidad de Varsol que se convierte en aerosol.

e) Ajuste de la presión del aire:

Reducir la presión del aire comprimido al mínimo necesario para lograr la limpieza efectiva. A menor presión, menor nebulización.

f) Aplicación directa:

En lugar de rociar el Varsol con aire comprimido, considerar la aplicación directa con brochas, trapos o pulverizadores manuales. Esto reduce drásticamente la dispersión.

g) Ventilación localizada:

Instalar sistemas de extracción localizada (campanas de extracción) cerca de los tornos y fresadoras para capturar los vapores y aerosoles de Varsol antes de que se dispersen en el ambiente.

h) Ventilación general:

Asegurar una buena ventilación general en el taller para diluir los vapores de Varsol que puedan escapar de la ventilación localizada.

i) Equipo de protección personal (EPP):

Respiradores (con filtros para vapores orgánicos para protegerlos de la inhalación de Varsol), guantes (resistentes a solventes para proteger la piel del contacto con el Varsol), gafas de seguridad (para proteger los ojos de las salpicaduras de Varsol).

Recuperación y tratamiento del Varsol usado:

Recolección:

Implementar un sistema para recolectar el Varsol que escurre durante la limpieza. Esto puede incluir bandejas de goteo, paños absorbentes o sistemas de aspiración.

a) Filtración:

Si el Varsol recolectado está contaminado con partículas sólidas o aceite, se puede filtrar para remover los contaminantes.

b) Destilación (si es viable):

Si la cantidad de Varsol usado es significativa, considerar la instalación de un destilador para recuperar el solvente y reutilizarlo.

c) Gestión de residuos:

El Varsol usado que no se puede recuperar debe ser gestionado como residuo peligroso, de acuerdo con las regulaciones locales. Esto implica su almacenamiento adecuado, transporte por una empresa autorizada y tratamiento o disposición final en una instalación aprobada.

Tratamiento de emisiones (aire) del Varsol:

a) Filtros de carbón activado:

Los sistemas de extracción localizada deben estar equipados con filtros de carbón activado para remover los vapores de Varsol del aire extraído. Los filtros deben ser reemplazados periódicamente y gestionados como residuos peligrosos.

b) Condensación:

En algunos casos, se puede utilizar la condensación para remover los vapores de Varsol del aire. El Varsol condensado puede ser recuperado y reutilizado.

En resumen, el tratamiento del Varsol usado en el taller requiere un enfoque integral que combine la prevención, la recuperación, el tratamiento y la disposición adecuada. La mejor opción dependerá de la cantidad de Varsol generado, los recursos disponibles y las regulaciones ambientales aplicables. Es fundamental priorizar la reducción del uso de Varsol y la búsqueda de alternativas más sostenibles. La limpieza de tornos y fresadoras con Varsol y aire comprimido requiere un enfoque integral que combine la minimización del uso, el control de las emisiones, la protección de los trabajadores y la gestión adecuada de los residuos. La sustitución del Varsol por alternativas más seguras es la opción más deseable desde el punto de vista ambiental y de seguridad.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación, se detallan las principales conclusiones y recomendaciones obtenidas en el desarrollo del presente estudio.

Conclusiones

- La investigación permitió identificar las principales causas que provocaron los tiempos de indisponibilidad en la producción de los tornos y fresadoras del área de precisión. Problemas como fallas mecánicas recurrentes, falta de mantenimiento programado y deficiencias en la capacitación del personal se destacaron como factores críticos que impactaron negativamente en la disponibilidad de las máquinas.

- A través del diseño del plan de mantenimiento preventivo utilizando la metodología DMAIC, se desarrollaron herramientas efectivas que permitieron la estandarización de procesos. Este enfoque asegura que todas las actividades de mantenimiento se realicen de manera consistente y sistemática, contribuyendo a la optimización del rendimiento y la prolongación de la vida útil de las máquinas.

- Al establecerse controles claros y específicos, se facilitó el seguimiento del plan de mantenimiento preventivo. Herramientas de monitoreo y seguimiento permiten a la gerencia evaluar el cumplimiento de las actividades programadas, identificar desviaciones y ajustar el plan según fuera necesario, garantizando así un enfoque proactivo en el mantenimiento de las máquinas.

- La implementación del plan de mantenimiento preventivo y las acciones complementarias propuestas demostraron ser esenciales para optimizar la disponibilidad de las máquinas de producción. Con la disminución de los tiempos de indisponibilidad y la mejora en las condiciones de operación, se espera un aumento significativo en la eficiencia de la manufactura en el Taller Industrial FAMIR de Alajuela.

Recomendaciones

- Establecer un sistema de monitoreo y evaluación regular del plan de mantenimiento preventivo implementado para recoger datos sobre la disponibilidad de las máquinas, el tiempo de inactividad y los costos asociados. Este monitoreo permitirá realizar ajustes y mejoras en el plan a lo largo del tiempo.

- Desarrollar un programa de capacitación continua para los colaboradores para asegurar que estén al tanto de las últimas técnicas, herramientas y procedimientos de mantenimiento, lo que puede contribuir a una mayor eficiencia en el uso y cuidado de las máquinas.
- Incorporar tecnología de mantenimiento predictivo para evaluar la posibilidad de integrar tecnologías de mantenimiento predictivo, como sensores y *software* de monitoreo en tiempo real. Estas herramientas pueden proporcionar información valiosa sobre el rendimiento de las máquinas y prever fallas antes de que ocurran, mejorando aún más la disponibilidad de los tornos y fresadoras.
- Promover una cultura organizacional que valore el mantenimiento adecuado y proactivo de las máquinas. Esto puede incluir incentivos para los colaboradores que reporten problemas o mantengan prácticas de mantenimiento efectivas, así como la inclusión del mantenimiento preventivo en las reuniones de equipo y en la agenda diaria de trabajo.

REFERENCIAS

Libros

Barrantes, R. (2014). *Investigación: Un camino al conocimiento un enfoque cualitativo, cuantitativo y mixto*. San José, Costa Rica: EUNED.

Proyectos de investigación

Acuña, P.M. (2018). *Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo mediante el Análisis de Modos y Efectos de Fallas y criticidad para los componentes del equipo cuádruple, pertenecientes a la línea de producción de aserradero de la empresa Masisa Chile S.A.* (Proyecto de tesis de bachillerato en Ingeniería Industrial). <https://repositorio.usm.cl/entities/tesis/8280d419-d4f7-4e9f-9fe4-81bd5fd57e4e>

Aguilar, J.R., Torres, R. y Magaña, D. (2010). Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad. (Proyecto de investigación para la revista *Tecnología, Ciencia, Educación*). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48215094003A1>

Albernas, Y., Corsano, G., González, M. y González, E. (2012). Procedimiento para la síntesis y diseño óptimo de plantas discontinuas (Parte I). (Proyecto de investigación para la revista *Tecnología Química*). Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543777005A1>

Armijos, J.C. (2017). La responsabilidad social empresarial. una óptica desde los Stakeholders. (Proyecto de investigación para la *Revista Economía y Política*). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=571176616004>

Atehortua, Y.A. y Restrepo, J.H. (2010). Kaizen: un caso de estudio. (Proyecto de investigación para la revista *Scientia et technica*). Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84917249011A1>

Barahona, G. (2016). *Diseño de un programa de mantenimiento preventivo para el taller de la empresa Metal Gypsum CR S.A.* (Proyecto de tesis para Licenciatura en Mantenimiento Industrial). <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/6562?show=full>

- Bermúdez, L.A. (2015). Capacitación: una herramienta de fortalecimiento de las pymes. (Proyecto de investigación para la revista *InterSedes: Revista de las Sedes Regionales*). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=66638602001A1>
- Calderón, D. (2022). *Actualización e implementación de manual de mantenimiento preventivo para módulo probador de máquina de prueba de microprocesadores*. (Proyecto de tesis para bachillerato en Ingeniería Electromecánica). <http://repositorio.uia.ac.cr:8080/server/api/core/bitstreams/595b7d3a-5bc9-4ab5-a834-3260f3c83dcb/content>.
- Canales, C. (2014). *Desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM para el departamento de patio de caña*. (Proyecto de tesis para Licenciatura en Mantenimiento Industrial). <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/5823>
- Carrión, N., Quevedo, O. y Navarro, Y. (2022). Evaluación de impactos ambientales en un laboratorio de análisis físico químico de combustibles. (Proyecto de investigación para la revista *CENIC*). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181676182003>
- Castillo, J.N. y Carreño, D.A. (2020). Diseño metodológico para la caracterización de procesos, caso empresas metalmecánicas del departamento de Boyacá. (Proyecto de investigación para la revista *INGE CUC*). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=497779336012>
- Castro, M. (2003). *Sistema automatizado de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo para el equipo y maquinaria del Ingenio El General*. (Proyecto de tesis de bachillerato en Ingeniería Industrial). <https://repositorio.una.ac.cr/items/226481b7-b286-448d-b2e8-53d14daa2a71>
- Chaverri, J. y Madrigal, D. (2011). Modelos de optimización lineal para realizar planes de inversiones de largo plazo en una red de pavimentos. (Proyecto de investigación para la revista *Infraestructura Vial*). <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/vial/article/view/1980>
- Darío, R. (2013). *Mantenimiento basado en la Ingeniería-Argentina*. (Proyecto de tesis de maestría en Administración).

- <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/handle/123456789/3736/TesisEche-gno%201.pdf;jsessionid=B310562EF447E94044CCB05C5F546B65?sequence=1>
- Díaz, L., Torruco, U., Martínez, M. y Varela, M. (2013). La entrevista, recurso flexible y dinámico. (Proyecto de investigación para la revista *Investigación en Educación Médica*). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=349733228009A1>
- Díaz, M.I.; Rodríguez, I.L., Rodríguez, Z. y Cuellar de la Cruz, M. E. (2012). *Gestión energética en la producción del ingrediente farmacéutico activo 2-bromo-5-(2-bromo-2-nitrovinil)-furano y vitrofural*. (Proyecto de investigación para la revista *ICIDCA* sobre los Derivados de la Caña de Azúcar). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223124990006A1>
- Diez, H.M., Pérez, M. A., Pérez, F.N.G. y Montes, M.I. (2012). Medición del desempeño y éxito en la dirección de proyectos. Perspectiva del Manager público. (Proyecto de investigación para Revista *Escuela de Administración de Negocios*). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=20625032005A1>
- Dorrbercker, S. A., Fernández, S. J., Álvarez, L. M., Arce, J. C., Zurita, Y. y Palmero, J. M. (2007). *Matriz de falla de los motores de inducción*. (Proyecto de investigación para la revista *Ingeniería Energética*). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=329127753008A1>
- Estrella, S. (2014). El formato tabular: una revisión de literatura. (Proyecto de investigación para la revista electrónica *Actualidades Investigativas en Educación*). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44731371016>
- Ligero, D. (2018). *Elaboración de una propuesta para la gestión del mantenimiento de un edificio de oficinas y su implementación en un sistema de gestión del mantenimiento asistido por ordenador (GMAO)*. (Proyecto de tesis para bachillerato en Ingeniería Industrial). <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/5851/fichero/5851-LIGERO.pdf>
- Palmet, J.C. (2008). *Plan de mantenimiento preventivo para los equipos del taller de máquinas y herramientas de la empresa Servitec LTDA*. (Proyecto de tesis de Ingeniería Mecánica). https://repositorio.utb.edu.co/bitstream/handle/20.500.12585/1455/0050093_merged%20%282%29.pdf?sequence=6&isAllowed=y

- Pérez, E. y García, M. (2014). Implementación de la metodología DMAIC Seis Sigma en el envasado de licores en Fanal. (Proyecto de investigación para la revista *Tecnología en Marcha*). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=699878391010>
- Pierdant, I. y Rodríguez, J. (2009). Control estadístico de la calidad de un servicio mediante Gráficas X y R. (Proyecto de investigación para la revista *Política y Cultura*). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=26711870008A1>
- Reyes, A. y Ramíte, M. (2024). Eficacia del análisis estratégico FODA en el Instituto Superior Japón. (Proyecto de investigación para la revista *Bastcorp International Journal*).
https://www.researchgate.net/publication/382732411_Eficacia_del_analisis_estrategico_FODA_en_el_Instituto_Superior_Japon
- Riveroll, J. (2018). Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para el taller de metal –mecánica de la Universidad de Sotavento A.C. Campus Coatzacoalcos, Veracruz. (Proyecto de tesis de Ingeniería Industrial).
https://repositorio.unam.mx/contenidos/propuesta-de-un-plan-de-mantenimiento-preventivo-para-el-taller-de-metal-mecanica-de-la-universidad-de-sotavento-ac-cam-3556119?c=YY4Z3a&d=false&q=derecho&i=29&v=1&t=search_0&as=0
- Rodríguez, J.D.y Loría, L.G. (2016). *El mantenimiento preventivo, clave para la protección del patrimonio vial*. (Proyecto de investigación para el Programa de Infraestructura del Transporte).
<https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/766/LM-PI-166-2016%20Mant%20Preventivo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rodríguez, M.R. y Ordóñez, R. (2012). *Modelo de gestión para la calidad en las prácticas de pedagogía*. Profesorado. (Proyecto de investigación para la Revista *Currículum y Formación de Profesorado*).
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56725002018A1>
- Ruiz, J., Trejo, R., Pedroza, A. y Vargas, A.(2006). Análisis del beneficio-costo en la captación agua de lluvia en el CASI-URUZA-UACH, México. (Proyecto de investigación para la revista *Chapingo Serie Zonas Áridas*).
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=455545070009A1>

- Sáyago, S. (2018). *Aplicación del método de la ruta crítica en el proceso de programación y control de obra privada en México*. (Proyecto de tesina para el grado de Ingeniero Arquitecto del Instituto Politécnico Nacional de México. [/https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/26099/1/Aplicaci%C3%B3n%20de%20m%C3%A9todo%20de%20la%20ruta%20cr%C3%ADtica%2010260.pdf](https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/26099/1/Aplicaci%C3%B3n%20de%20m%C3%A9todo%20de%20la%20ruta%20cr%C3%ADtica%2010260.pdf)
- Torres, P.A. (2016). *Acerca de los enfoques cuantitativo y cualitativo en la investigación educativa cubana actual*. (Proyecto de investigación para la Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos). www.redalyc.org/journal/4780/478054643001/

Fuentes de internet

- Almacén Capris. (2025). *Centro de servicio*. <https://www.capris.cr/es/centro-servicios/>
- Central de Mangueras. (2025). *Lubricantes*. <https://www.centrodemangueras.com/product-category/lubricantes/>
- Centro de Investigación en Cultura y Desarrollo. (2021). *Guía tarea operacionalización de variables y categorías analíticas*. https://cicde.uned.ac.cr/images/cursos/Gu%C3%ADa-pr%C3%A1ctica-para-la-operacionalizacion_sesi%C3%B3n-4.pdf
- Google Earth. (2024). *Ubicación Taller Industrial FAMIR de Alajuela*. https://earth.google.com/web/search/Taller+Industrial+Famir+de+Alajuela+S.A,+Alajuela+Province,+Alajuela/@9.9960746,-84.23343605,862.16454705a,830.90243991d,35y,0h,0t,0r/data=CrQBGoUBEn8KJTB4OGZhMGY4NTFmY2ViZDczZjoweDU5OTM3N2UyZTQyMDQwMzIzvr9Be_X9I0AhbXdqifAOVcAqRFRhbGxIciBJbmR1c3RyaWFsIEZhbWlyIGRIIEFsYWp1ZWxhIFMuQSwgQWxhanVlbGEgUHJvdmluY2UsIEFsYWp1ZWxhGAIgASImCiQJGTgtOEsAJEARIZ8kk2D7I0AZ5gbYNS4OVcAhu4RDu5UPVcBCAggBOgMKATBCAggASg0I_____ARAA
- Grandes Pymes. (2024). *Análisis de los Stakeholders*. <https://www.grandespymes.com.ar/2021/04/10/analisis-de-los-stakeholders/>

- Instituto Tecnológico de Costa Rica. (2019). *Elaboración de propuestas de solución para aumentar el porcentaje de cumplimiento de pedidos de los motores HSTA Y Spoiler en al menos un 5% en la línea North Main*.
https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/12220/TFSC_1569_BIB298_006_TFG_PI_Zamora-Vargas%2CBryan_2020.pdf?sequence=6&isAllowed=y
- Rodríguez, C., Breña, J.L. y Esenarro, D. (2021). Las variables en la metodología de la investigación científica. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://3ciencias.com/wp-content/uploads/2021/10/Las-Variables.pdf](https://3ciencias.com/wp-content/uploads/2021/10/Las-Variables.pdf)
- Tavares, L.A. (2000). *Administración moderna de mantenimiento*.
<https://infolibros.org/pdfview/4976administracionmodernademantenimientolourivaltavares/>
- Universidad de Valencia. (2022). *Competencias Informacionales Nivel Medio*.
https://www.uv.es/cibisoc/tutoriales/trabajo_social/22_las_fuentes_de_informacin.html
- Universidad Veracruzana. (2007). *Diagrama de flujo*.
<https://www.uv.mx/personal/aherrera/files/2020/05/DIAGRAMAS-DE-FLUJO.pdf>
- VENCO. (2024). *La importancia de la documentación en Ingeniería Electrónica*.
<https://www.vencoel.com/la-importancia-de-la-documentacion-en-ingenieria-electronica/>

APÉNDICES Y ANEXOS

APÉNDICE 1: GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **Actividades específicas programadas:** Conjunto de tareas y procedimientos planificados que deben realizarse en las máquinas para asegurar su correcto funcionamiento. Estas actividades son parte del plan de mantenimiento preventivo.

- **Área de precisión:** Sección específica de un taller o planta dedicada al mecanizado de piezas con tolerancias y acabados muy exactos, utilizando máquinas como tornos y fresadoras que son capaces de lograr estas especificaciones.

- **Capacitación técnica:** Proceso educativo que busca proporcionar a los colaboradores los conocimientos y habilidades necesarias para operar maquinaria y realizar tareas específicas de forma eficiente y segura.

- **Controles de seguimiento:** Herramientas y procedimientos implementados para monitorear y evaluar el desempeño de un plan o proceso, asegurando que se cumplan los objetivos establecidos y facilitando la toma de decisiones para mejoras.

- **Costos de mantenimiento:** Gastos asociados con las actividades necesarias para mantener y reparar las máquinas, que pueden incluir tanto mantenimientos programados como reparaciones imprevistas.

- **Costos de repuestos:** Gastos asociados con la adquisición de piezas de recambio necesarias para reparar y mantener las máquinas. Estos costos son importantes para evaluar el impacto financiero del mantenimiento en la empresa.

- **Disponibilidad y confiabilidad de la máquina** Medidas de qué tan frecuente y efectivamente una máquina está operativa. Mayor disponibilidad y confiabilidad se traducen en un mejor cumplimiento de los plazos de producción y un servicio mejorado al cliente.

- **Máquinas industriales:** Maquinaria y herramientas utilizadas en la manufactura que desempeñan un papel fundamental en los procesos de producción, en este caso, los tornos y fresadoras en el taller.

- **Estandarización:** Proceso de establecer normas y procedimientos comunes para asegurar la consistencia y calidad en la ejecución de actividades dentro de un entorno laboral, facilitando la comparación y control de procesos.

- **Evaluación de riesgos:** Proceso de identificar y analizar escenarios que podrían tener un impacto negativo en una instalación, ayudando a diseñar acciones para prevenir o mitigar estos riesgos.

- **Fallas no programadas:** Situaciones inesperadas en las que las máquinas experimentan fallos sin previo aviso, lo que requiere reparaciones urgentes y provoca retrasos en la producción.

- **Frecuencia de mantenimiento:** Registro de cuán a menudo se realizan las actividades de mantenimiento a las máquinas, que se pueden analizar para mejorar la planificación y la asignación de recursos.

- **Fresadoras:** Máquinas que utilizan una herramienta rotativa para remover material de una pieza de trabajo, permitiendo realizar cortes, moldes y acabados de diversas formas y dimensiones.

- **Gestión de recursos:** Proceso de planificación y control de los recursos disponibles en una empresa, incluyendo maquinaria, personal y materiales, para asegurar su uso eficiente y efectivo, evitando paradas en la producción.

- **Indisponibilidad de máquinas:** Situación en la que las máquinas, como tornos y fresadoras, no están disponibles para la producción debido a fallas, reparaciones o mantenimiento, lo que afecta la eficiencia y la continuidad del proceso productivo.

- **Inspección:** Actividad que consiste en examinar, evaluar y verificar la condición y el funcionamiento de las máquinas o procesos para asegurar que cumplan con los estándares de calidad y operatividad esperados.

- **Mano de obra externa:** Servicios proporcionados por individuos o empresas externas a la organización, que se contratan para realizar tareas especializadas, como mantenimiento o reparación, que no pueden ser llevadas a cabo por el personal interno del taller.

- **Mantenimiento preventivo:** Conjunto de acciones programadas para mantener el funcionamiento óptimo de las máquinas, mediante la realización de inspecciones, ajustes y reemplazos de piezas, con el fin de evitar fallas imprevistas y prolongar la vida útil de la maquinaria.

- **Mejora continua:** Filosofía de gestión que busca constantemente mejorar la calidad, la eficiencia y el valor en todos los aspectos de la operación empresarial.

- **Optimización de la disponibilidad:** Proceso de mejorar la cantidad de tiempo que las máquinas están operativos y disponibles para la producción, minimizando el tiempo de inactividad y maximizando la eficiencia operativa.
- **Prevención de fallas:** Estrategias y acciones implementadas para evitar que ocurran problemas recurrentes en el mantenimiento, basadas en el análisis de causa y efecto.
- **Proceso de manufactura:** Conjunto de operaciones y procedimientos que se llevan a cabo para transformar materias primas en productos terminados a través del uso de maquinaria, herramientas y fuerza laboral.
- **Sistema de lubricación:** Conjunto de componentes y procesos diseñados para aplicar y mantener lubricante en las partes móviles de las máquinas, reduciendo la fricción y el desgaste, y asegurando un funcionamiento adecuado.
- **Sistema de refrigeración:** Mecanismo utilizado para controlar la temperatura de las máquinas durante su operación, prevenir el sobrecalentamiento y garantizar un rendimiento óptimo.
- **Tornos:** Máquinas herramientas que se utilizan para el mecanizado de piezas mediante la rotación de un material, que se corta mediante herramientas de corte, lo cual permite la fabricación de componentes con formas cilíndricas o complejas.
- **Valor compartido:** Beneficios que se generan no solo para la empresa, sino también para las partes interesadas al colaborar y trabajar juntos hacia objetivos comunes, más allá del simple beneficio económico.

APÉNDICE 2: ENTREVISTA APLICADA

ENTREVISTA 1		
FECHA:		
NOMBRE DEL ENTREVISTADOR:		
NOMBRE DE ENTREVISTADOS:		
MOTIVO DE LA ENTREVISTA:		
NÚM. DE PREGUNTA	PREGUNTA	RESPUESTAS
1	¿Cuánto tiempo ha trabajado con tornos y fresadoras?	a) de 0 a 2 años
		b) de 2 a 5 años
		c) 5 años o más
2	¿Qué tan familiarizado está con las especificaciones y manuales de operación de los tornos y fresadoras del área de precisión que usas?	a) Poco o nada
		b) Moderado
		c) Suficiente
3	¿Cómo describiría el nivel grado de las condiciones de trabajo en general durante las operaciones de los tornos y fresadoras del área de precisión? (Ej. ¿hay mucha vibración, sobrecarga de trabajo, etc.?)	a) Bajo
		b) Medio
		c) Alto
4	¿Cuál considera usted que es el grado de nivel de afectación de las condiciones ambientales (temperatura, polvo, humedad) al desempeño de los tornos y fresadoras del área de precisión?	a) Bajo
		b) Medio
		c) Alto
5	Según su percepción, ¿qué tan frecuentemente se lleva a cabo el mantenimiento preventivo de los tornos y fresadoras del área de precisión?	a) Poco o nada
		b) Moderado
		c) Suficiente
6	¿Qué nivel de capacitación técnica ha recibido acerca del uso y mantenimiento de los tornos y fresadoras del área de precisión?	a) Poco o nada
		b) Medio
		c) Suficiente
7	¿Siente que hay información adicional que sería útil para manejar mejor los problemas de fallas de los tornos y fresadoras del área de precisión?	a) Sí
		b) No
8	¿Cree usted que actualmente existen procedimientos claros para informar sobre las fallas de los tornos y fresadoras del área de precisión?	a) Sí
		b) No

**APÉNDICE 3: PROPUESTA DE FORMATO PARA REGISTRO DE FICHAS TÉCNICAS
DE LOS TORNOS 101, 102 Y 103**

TALLER INDUSTRIAL FAMIR DE ALAJUELA		FICHA TÉCNICA DE MÁQUINAS		
DATOS GENERALES				
Nombre de la máquina:				
Marca	Modelo	Referencia	Código	Ubicación
DIMENSIONES				MATERIAL
Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Peso (kg)	
CARACTERÍSTICAS				
Diámetro máximo sobre bancada:		IMAGEN		
Diámetro máximo sin bancada:				
Longitud entre puntos:				
Movimiento total del carro:				
Ancho de bancada:				
Velocidades del husillo:				
Avances para cilindrar:				
Avances para refrentar:				
Rango pasos roscas en milímetros:				

Rango pasos roscas en pulgadas:				
Capacidad del tanque de refrigeración:				
DATOS DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA				
Frecuencia	Corriente	Tensión	Potencia motor	Potencia bomba
Observaciones:				

APÉNDICE 4: PROPUESTA DE FORMATO PARA REGISTRO DE FICHAS TÉCNICAS DE LAS FRESADORAS 201 Y 202

LOGO DEL TALLER INDUSTRIAL FAMIR DE ALAJUELA		FICHA TÉCNICA DE MÁQUINAS		
DATOS GENERALES				
Nombre de la máquina:				
Marca	Modelo	Referencia	Código	Ubicación
DIMENSIONES				MATERIAL
Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Peso (kg)	
CARACTERÍSTICAS				
Largo de mesa:		IMAGEN		
Ancho de mesa:				
Giro de la mesa:				
Desplazamiento en X:				

Desplazamiento en Y:	
Desplazamiento en Z:	
Velocidades del husillo vertical:	
Velocidades del husillo horizontal:	
Avances de mesa:	
Ancho mínimo de línea:	
Precisión de la repetición:	
Materiales aplicables:	

DATOS DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA

Frecuencia	Corriente	Tensión	Potencia motor huesillo	Potencia bomba
Potencia motor X, Y	Potencia motor Z			

Observaciones:

APÉNDICE 5: PROPUESTA DE FORMATO PARA ORDEN DE MANTENIMIENTO

LOGO DEL TALLER INDUSTRIAL FAMIR DE ALAJUELA	ORDEN DE MANTENIMIENTO			
Número de orden:				
Fecha y hora de solicitud:				
Nombre de la máquina:				
Nombre del encargado:				
DESCRIPCIÓN DE LA FALLA				
DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO REALIZADO				
RECURSOS UTILIZADOS				
MANO DE OBRA		MATERIALES Y REPUESTOS		
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	COSTO
Observaciones:				
Fecha y hora de inicio del mantenimiento:				
Fecha y hora de fin del mantenimiento:				
Tiempo total de la intervención:				
Firma del responsable:				

APÉNDICE 6: PROPUESTA DE FORMATO PARA HOJAS DE VIDA DE TORNOS 101, 102 Y 103 Y FRESADORAS 201 Y 202

TALLER INDUSTRIAL FAMIR DE ALAJUELA		HOJAS DE VIDA DE MÁQUINAS		
DATOS GENERALES				
Nombre de la máquina:				
Marca	Modelo	Referencia	Código	Ubicación
DIMENSIONES				MATERIAL
Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Peso (kg)	
CARACTERÍSTICAS				
Diámetro máximo sobre bancada:		IMAGEN		
Diámetro máximo sin bancada:				
Longitud entre puntos:				
Movimiento total del carro:				
Ancho de bancada:				
Velocidades del husillo:				
Avances para cilindrar:				
Avances para refrentar:				
Rango pasos roscas en milímetros:				

Rango pasos roscas en pulgadas:				
Capacidad del tanque de refrigeración:				
DATOS DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA				
Frecuencia	Corriente	Tensión	Potencia motor	Potencia bomba
PROGRAMA DE MANTENIMIENTO ACTUAL				
Actividad		Frecuencia	Insumos	Encargado
HISTORIAL DE MANTENIMIENTO				
Descripción		Fecha	Encargado	Tipo de mantenimiento

APÉNDICE 7: AMEF DE LOS TORNOS 101, 102 Y 103 (PARTE 1)

AMEF TORNOS									
Nombre de la máquina:	Tornos		Código de la máquina:	101, 1012 y 103		TALLER INDUSTRIAL FAMIR DE ALAJUELA			
Encargado:	José Antonio Ramírez Delgado								
Parte de la máquina	Descripción	Modos de falla potenciales	Efectos de falla potenciales	Severidad	Causas potenciales	Ocurrencia	Controles de ocurrencia	Detección	NPR

Husillo	Sostiene el material por mecanizar y lo hace girar a elevadas revoluciones, mientras la herramienta de corte se aproxima a esta y arranca material para darle la forma deseada	Ruido excesivo	Reducción de eficiencia del torno	4	Rodamientos desgastados	6	Ninguno	2	48
		Desalineación	Afecta el proceso de mecanizado	4	Mala alineación	6		2	48
Motor principal	Es el que se encuentra en el cabezal, y es el que impulsa la rotación de la pieza de trabajo.	Recalentamiento	Reduce eficiencia del motor	3	Rodamientos desgastados	7	Ninguno	4	84
		Sobrecargas	Puede quemar la bobina de inducido	3	Picos altos de corriente	7		4	84
Caja de velocidades husillo	Mecanismo que regula la velocidad de giro del husillo	No permite el cambio de velocidad	Fractura de piñón en una velocidad específica	3	Cambio de velocidades inadecuado, forzando el engrane	7	Ninguno	4	84

		No hay transmisión de potencia	El husillo no varía su velocidad o no se mueve	3	Falla en el piñón conductor	6		2	36
		Recalentamiento	Rendimiento del torno, aumentando la fricción	4	Falta de lubricación	6	Revisión de nivel de aceite periódicamente	2	48
Caja de velocidades avances	Es el mecanismo que permite seleccionar la velocidad de avance de la herramienta de corte	Fractura de un diente, desgaste de rodamientos, nivel de aceite bajo	No permite realizar el proceso automático como roscar o cilindrar	3	Forzar al cambiar de velocidad, falta de lubricación	6	Revisión de nivel de aceite periódicamente	2	36
Bancada	Es la estructura base de un torno, sobre la que se apoyan los demás componentes de la máquina	Fractura o fisura	No permite el movimiento longitudinal del carro principal	4	Golpe, impacto	6	Ninguno	1	24
Bomba de refrigerante	Máquina que circula el líquido refrigerante para mantener la temperatura adecuada de la máquina.	Conexiones obstruidas	No permite refrigerar	4	Falta de limpieza del tanque o fisura en conexiones	6	No sale refrigerante	2	48

Punto	Es una herramienta que se utiliza para soportar y dar forma a las piezas que se mecanizan	Descentrado, rodamientos gastados	No permite centrar las piezas o impide el movimiento rotacional	4	Golpes, acercamientos bruscos o falta de lubricación	6	Ninguno	2	48
Cremallera, barras de desplazamiento	Cremallera de avance principal, tornillo patrón de roscado, sentido de giro y activación de la barra longitudinal	Desgaste, corrosión	El carro no se puede desplazar, no hay avance rápido y no se puede roscar	4	Falta de limpieza o lubricación	6	Inspección visual	1	24
Manivelas	Son barras que se conectan a un eje para hacer que gire. La manivela es el punto de conexión entre el elemento que hace el movimiento circular y el torno	Rotura, tornillo desajustado	No permite manipular los carros	3	Mala operación, choque, golpe	6	Inspección visual	1	18
Carro principal	Es la parte de la máquina que se encarga de mover la pieza que se va a torneear	Daño del lector de control, falla de mecanismo	No funciona el movimiento longitudinal del carro y no se puede mecanizar	5	No funciona el lector de control por golpe, suciedad o vida útil	6	Ninguno	2	60
Carro transversal	Es una pieza que se desliza sobre el carro principal y permite mover la herramienta en dirección radial	Daño del lector de control, falla de mecanismo	No funciona el movimiento transversal del carro	5	No funciona el lector de control por golpe, suciedad o vida útil	6	Ninguno	2	60

APÉNDICE 8: AMEF DE LOS TORNOS 101, 102 Y 103 (PARTE 2)

101, 102 Y 103						
Preparado por:	Diego Arias		Página	1	de	1
Fecha:	09-dic-24		Rev.:			
Acciones recomendadas	Responsable	Acciones implementadas	Severidad	Ocurrencia	Detección	NPR
Alineación periódica, limpieza y ajuste	Colaborador	Acción recomendada	4	6	2	48
	Colaborador	Acción recomendada	4	6	2	48

Análisis de vibraciones anuales	Colaborador	Acción recomendada	4	6	2	48
Revisión de conexiones y medición de voltajes de salida	Colaborador	Inspección de conexiones y verificación de voltaje	3	6	3	54
Establecer procedimiento de cambio de velocidades	Colaborador	Acción recomendada	3	6	3	54
Análisis de vibraciones anuales para programar intervenciones de ser necesario	Colaborador	Acción recomendada	3	6	1	18
	Colaborador	Acción recomendada	3	6	2	36

<p>Considera realizar cambio de aceite si es necesario. Realiza revisión detallada de los rodamientos. Si la fractura es significativa se debe reemplazar el engranaje dañado</p>	Colaborador	Acciones implementadas	2	6	2	24
<p>Cuidado de la máquina cuando se realiza un montaje de una pieza</p>	Colaborador	Acción recomendada	2	6	1	12
<p>Limpieza de tanque trimestral</p>	Colaborador	Acción recomendada	2	8	2	32
<p>Mantenimiento general mensual. Limpieza, lubricación y calibración</p>	Colaborador	Acción recomendada	3	6	1	18
<p>Limpieza y lubricación mensual</p>	Colaborador	Acción recomendada	3	6	1	18

Ajuste de tornillos para evitar juego	Colaborador	Acción recomendada	3	6	1	18
Limpieza del lector de control, teniendo cuidado con un golpe	Colaborador	Acción recomendada	4	6	1	24
	Colaborador	Acción recomendada	4	6	2	48

APÉNDICE 9: AMEF DE LAS FRESADORAS 201 Y 202 (PARTE 1)

AMEF FRESADORAS									
Nombre de la máquina:	Fresadoras	Código de la máquina:	201 y 202	TALLER INDUSTRIAL FAMIR DE ALAJUELA					
Encargado:	José Antonio Ramírez Delgado								
Parte de la máquina	Descripción	Modos de falla potenciales	Efectos de falla potenciales	Severidad	Causas potenciales	Ocurrencia	Controles de ocurrencia	Detección	NPR
Husillo vertical	Es un componente de la fresadora vertical que sostiene y hace girar la herramienta de corte	Fractura o fisura del husillo	Inhabilitación para su operación con el husillo vertical	4	Choque contra la mesa de trabajo o la pieza a mecanizar por mala operación	7	Concientizar a los colaboradores en estar atentos a la manipulación de la máquina	5	140
Husillo transversal	Es un eje giratorio que sujeta y hace girar la herramienta de corte en una fresadora	Fractura o fisura del husillo	Inhabilitación para su operación con el husillo transversal	4	Choque contra la mesa de trabajo o la pieza a mecanizar por mala operación	7	Ninguno	5	140

Caja de velocidades husillo	Mecanismo que regula la velocidad de giro del husillo	No permite el cambio de velocidad	Fractura de piñón en una velocidad específica	4	Cambio de velocidades inadecuado, forzando el engrane	8	Ninguno	2	64
		No hay transmisión de potencia	El husillo no varía su velocidad o no se mueve	4	Falla en el piñón conductor	7		3	84
		Recalentamiento	Rendimiento del torno, aumentando la fricción	4	Falta de lubricación	7	Revisión de nivel de aceite periódicamente	3	84
Caja de velocidades husillo vertical	Es un conjunto de engranajes que permiten modificar la velocidad de corte de la herramienta de fresado	Sonido excesivo al accionar el husillo	Recalentamiento de la caja de velocidades afectando el rendimiento	4	Rodamientos desgastados o falta de lubricación	8		3	96
		No es posible el cambio de velocidades	Posible fractura en alguno de los engranajes	4	Fractura por mala operación, aumento de la fricción por falta de lubricación	7	Revisión de nivel de aceite periódicamente	4	112

Caja de velocidades husillo horizontal	Es un conjunto de engranajes que permite regular la velocidad del husillo principal.	Sonido excesivo al accionar el husillo, no cambia de velocidades, recalentamiento	Queda inhabilitado el husillo para cambiar velocidades	4	Falta de lubricación, rodamientos desgastados, fractura de un piñón	8	Verificar nivel de aceite	4	128
Caja de velocidades de los avances	Es un mecanismo que permite establecer diferentes velocidades de avance	Sonido excesivo al accionar el husillo, no cambia de velocidades, recalentamiento	Queda inhabilitado la manipulación de la mesa de manera automática	4	Falta de lubricación, rodamientos desgastados, fractura de un piñón	8	No sale refrigerante	4	128
Motor husillo vertical	Es la parte de la fresadora que hace girar la fresa para que arranque la viruta	Ruido excesivo, recalentamiento, fallas en las conexiones	Queda inhabilitado el husillo vertical	4	Cables dañados, error humano, rodamientos desgastados, eje desalineado o torcido	7	Ninguno	2	56
Motor avances rápidos	Es un accesorio que permite ajustar la velocidad de avance de la máquina	Ruido excesivo, recalentamiento, fallas en las conexiones	Queda inhabilitada la manipulación de la mesa de manera automática	4	Cables dañados, error humano, rodamientos desgastados, eje desalineado o torcido	8	Inspección visual	2	64
Guías verticales	Permiten el movimiento vertical del eje y de la mesa	Se puede fracturar el mecanismo de tornillo sin fin y la turca en juego	Queda inhabilitado el movimiento de la mesa sobre alguno de los ejes X, Y o Z	4	Falta de limpieza y lubricación periódica. Materiales de baja calidad para el tornillo sin fin y tuerca. Golpe o impacto s contra las guías	8	Ninguno	2	64

Guías horizontales	Permiten el movimiento horizontal de la mesa			3		8	Ninguno	2	48
Guías transversales	Permiten el movimiento vertical de la mesa			4		8	Ninguno	2	64
Bomba de refrigeración	Es un componente que ayuda a mantener el refrigerante en la concentración y limpieza óptimas. También ayuda a lubricar las herramientas de corte y a eliminar las virutas.	Se obstruye la entrada, problemas de abastecimiento de refrigerante	El proceso de mecanizado es afectado en la calidad	4	Falta de limpieza del tanque de manera que hay impurezas o virutas afectando el funcionamiento de la bomba	7	Ninguno	2	56
Tanque de refrigeración	Permite el almacenamiento del líquido refrigerante	Corrosión, posibles fugas, falta de limpieza, calidad degradada del refrigerante	Se ve comprometido a calidad del refrigerante	4		7	Ninguno	2	56
Bomba de lubricación	Permite almacenar el aceite ISO 32 y lo envía al manifold	Daño en el sistema mecánico para impulsar el aceite, ausencia de aceite o taponamientos	Se verán afectados varios puntos que requieren lubricación y que son de difícil acceso	4	Error humano, accionamiento brusco, falta de limpieza, taponamientos	7	Ninguno	3	84

Manifold de lubricación	Se encarga de dosificar el aceite de la bomba para las guías de desplazamiento y otros puntos	Distribución de las vías de lubricación	Aumento de la fricción entre las partes al estar en movimiento la mesa de trabajo	4	Contaminación de la bomba mecánica con virutas	7	Ninguno	2	56
Manivela X, Y y Z	Facilita el movimiento de la mesa de trabajo, convirtiendo un movimiento circular en lineal	Rotura, desajuste	Impide el movimiento de alguno de los ejes	4	Error humano y falta de ajuste	7	Ninguno	1	28

APÉNDICE 10: AMEF DE LAS FRESADORAS 201 Y 202 (PARTE 2)

201 Y 202						
Preparado por:	Diego Arias		Página	1	de	1
Fecha:	16-dic-24		Rev.:			
Acciones recomendadas	Responsable	Acciones implementadas	Severidad	Ocurrencia	Detección	NPR
Brindar capacitaciones de la importancia de la concentración en la operación de las máquinas	Colaborador	Acción recomendada	4	6	2	48
	Colaborador	Acción recomendada	3	7	2	42

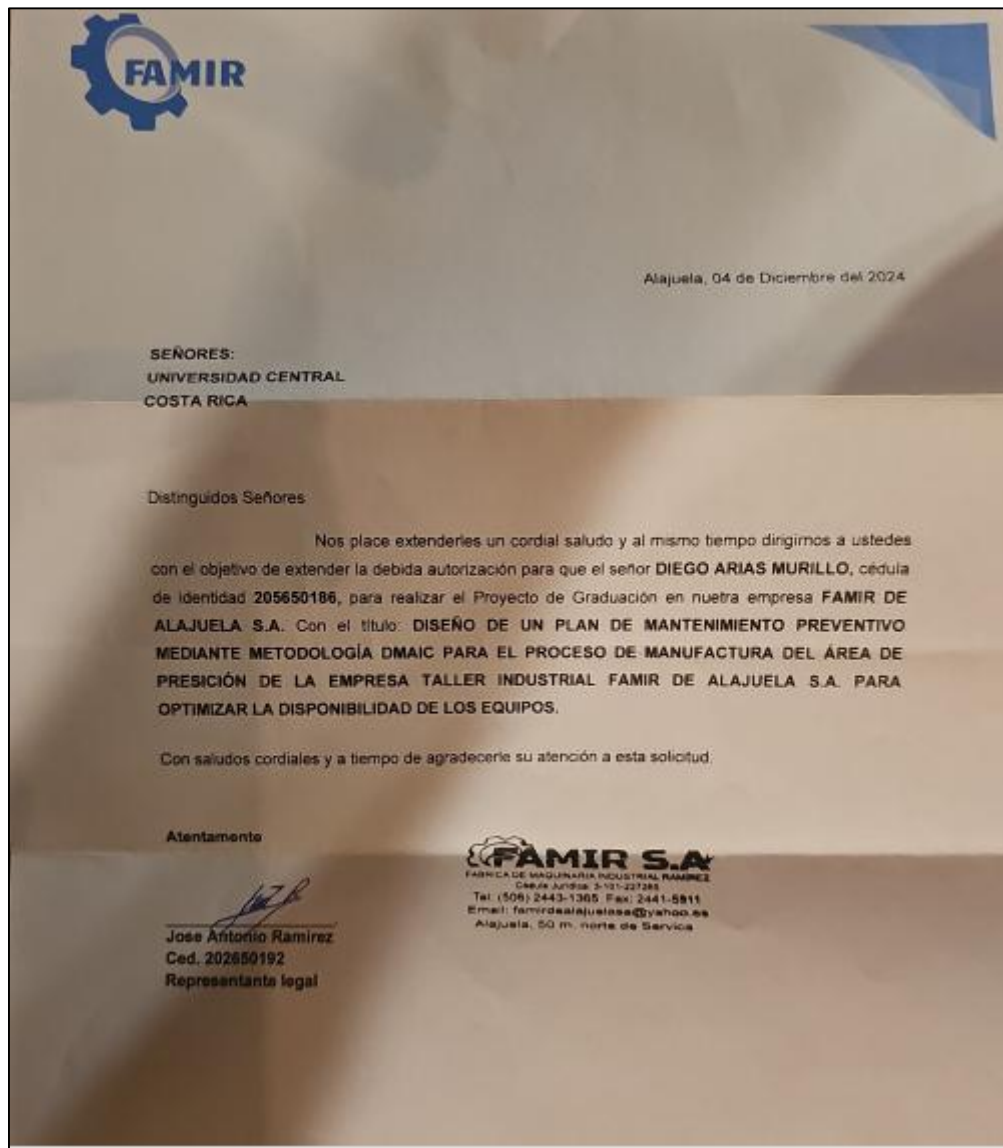
Verificar el nivel de aceite análisis de vibraciones	Colaborador	Acción recomendada	3	6	2	36
	Colaborador	Acción recomendada	5	6	2	60
	Colaborador	Acción recomendada	5	6	2	60
	Colaborador		4	8	2	64
	Colaborador	Acciones implementadas	3	6	2	36

	Colaborador	Acción recomendada	4	7	2	56
Limpieza periódica y lubricación	Colaborador	Acción recomendada	4	7	2	56
	Colaborador	Acción recomendada	3	7	2	42
	Colaborador	Acción recomendada	3	7	2	42
Verificación de los contenedores, limpieza programada y mantener el nivel de aceite adecuado para el funcionamiento de la bomba	Colaborador	Acción recomendada	4	6	2	48

	Colaborador	Acción recomendada	3	6	2	36
	Colaborador	Acción recomendada	4	6	2	48
Verificación de contenedores de aceite, limpieza programada, mantener el nivel adecuado de aceite	Colaborador	Acción recomendada	5	3	2	30
	Colaborador	Acción recomendada	5	3	2	30
	Colaborador	Acción recomendada	5	4	2	40

Limpieza y lubricación de las vías para que el aceite llegue a todos los puntos	Colaborador	Acción recomendada	4	3	2	24
Ajustar periódicamente	Colaborador	Acción recomendada	3	5	1	15

ANEXO 1: CARTA DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL TALLER INDUSTRIAL FAMIR DE ALAJUELA



ANEXO 2: COTIZACIÓN ACEITE ISO 68 Y ISO32

Central de mangueras

Whatsapp +506 6060 2700 Llámamos +506 2256 1111 Costa Rica 12 Sucursales


INICIO TIENDA PRODUCTOS UBIACIONES NOSOTROS COTIZAR

SOMOS MÁS QUE MANGUERAS ₡112.941 (impuesto incluido)

Carrito

		Producto	Precio	Cantidad	Subtotal
x		LUBRICANTES HELIOS HIDRAULICO AW ISO 68, GALON	₡11.784	<input type="text" value="2"/>	₡23.567 (impuesto incluido)
x		LUBRICANTES HELIOS HIDRAULICO AW ISO 32, CUB	₡44.687	<input type="text" value="2"/>	₡89.374 (impuesto incluido)

ANEXO 3: COTIZACIÓN VARSOL

Productos Guía de Compra Buscar Tiendas Inspiración Combinaciones🔍 📍 👤 🛒¹

Billing & Shipping

Returning customer? [Click here to login](#)

Enter your address to view shipping options.

Nombre *

Apellidos *


Nombre de la empresa (opcional)

Teléfono *

Dirección de correo electrónico *

Create an account?

Resumen de Compra

	Varsol	1	₡7,550.00
---	---------------	----------	------------------

Coupon code **Aplicar**

Subtotal **₡7,550.00**
Costo de envío: Gratuito

Total **₡7,550.00**

ANEXO 4: COTIZACIÓN REFRIGERANTE

Tecnofijaciones de Costa Rica S.A.
 100 mts oeste de la Plaza de Deportes, San José, Costa Rica
 22568115
<http://www.tecnofijacionescr.com>
contacto@tecnofijacionescr.com
 CIF/NIF: 3101625644

Dirección de Facturación y Envío

Public user
 --Public user--

Presupuesto S123485

Fecha de presupuesto: 27/02/2025 23:57:37

Válidohasta: 14/03/2025

Vendedor(a): Maria Calderon


Item	Imagen	Descripción	Cabys	Cantidad	Precio unitario	Impuestos	Precio total
1		[03-160-00] ACEITE DE CORTE OSCURO (GALON) 03-160-00 THREADFIT Garantía: 001	1201000009900	1.00 Unidad(es)	€ 19,943.40	13%	€ 22,536.04
Subtotal							€ 19,943.40
Impuestos							€ 2,592.64
Total							€ 22,536.04



Plazo de pago: Pago inmediato

Monto en letras: VEINTIDÓS MIL QUINIENTOS TREINTA Y SEIS PUNTO CERO CUATRO

Garantías:
 001 PRODUCTO CONSUMIBLE, GARANTÍA 30 DÍAS. SOLAMENTE CONTRA DEFECTOS DE FABRICACION.

ANEXO 5: COTIZACIÓN TRAJOS DE LIMPIEZA

INICIO BANCOS




		PRODUCTO	PRECIO	CANTIDAD	SUBTOTAL
		TRAPO DE LIMPIEZA INDUSTRIAL GRANDE	€2,008.85	1	€2,008.85 (sin impuestos)

[ACTUALIZAR CARRITO](#)

Total del carrito

SUBTOTAL	€2,008.85 (sin impuestos)
I.V.A	€261.15
TOTAL	€2,270.00


ANEXO 6: COTIZACIÓN ESCOBA

 FERRERÍA & DEPOSITO					
		PRODUCTO	PRECIO	CANTIDAD	SUBTOTAL
x		ESCOBA ETERNA JUMBO C/PALO // 60785	€2,569.31	1	€2,569.31 (sin impuestos)
x		BROCHA ATLAS 395 NATURAL 4"	€2,906.19	1	€2,906.19 (sin impuestos)
					ACTUALIZAR CARRITO
Total del carrito					
		SUBTOTAL	€5,475.50 (sin impuestos)		
		I.V.A CB	€25.69		
		I.V.A	€377.81		
		TOTAL	€5,879.00		


ANEXO 7: COTIZACIÓN ACEITERA

The screenshot shows the Pacifiko website's shopping cart page. The header includes the Pacifiko logo, a 'Todos' filter button, and a search bar with the text 'Buscar'. Below the header is a navigation menu with 'Productos' highlighted, and other categories like 'Amazon', 'Ofertas', 'Outlet', 'Celulares', 'Audífonos', 'Smart Home', and 'Mis órds'. The main content area shows the cart path 'Carrito' and the location 'Uruca, San José, San José'. The cart contains one item: 'Aceitera Pressol 500 MI' priced at 'C\$7,900'. The item is shown with a red manual sprayer. A delivery status box indicates '1 unidad llega entre viernes 28 de febrero y martes 04 de marzo.' Below the item, it says 'Disponible.', has an unchecked checkbox for 'Es un regalo', and a quantity dropdown set to '1' with an 'Eliminar' button.

ANEXO 8: COTIZACIÓN DEPOSITO PARA ACEITE



Carrito de compras

Detalle	Cantidad	Precio U	Total
 <p>Deposito para cambio de aceite triangular 7 qto SKU#: 105494</p>	- 1 +	₡3,500	₡5,000 ₡3,500 X

Resumen

CART ID# 25025802111172

Subtotal: ₡3,500

Gastos de envío: ₡0

A calcularse antes del pago (si aplica)

Subtotal con descuento: ₡3,500