DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EL TALLER DE FABRICACIÓN DE MOLDES EN LA EMPRESA CASALD INGENIERIA SAS

DAVID ESTEBAN RUIZ PARROQUIANO

PROYECTO INTEGRAL DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

ORIENTADO:
LEYDI JULIETA CÁRDENAS FLECHAS
INGENIERA ELECTROMECÁNICA

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ, D.C.
2024

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del Director

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C. Agosto de 2024

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica

Dra. María Fernanda Vega De Mendoza

Vicerrectora de Investigaciones y Extensión

Dra. Susan Margarita Benavides Trujillo

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ramiro Augusto Forero Corzo

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decana Facultad de Ingenierías

Ing. Naliny Patricia Guerra Prieto

Director del Departamento de Ingeniería Mecánica

Dra. María Angélica Acosta Pérez

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo de docentes no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente al autor.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitirme llegar a esta etapa de mi vida y poder desarrollar a cabalidad mi trabajo de grado.

Agradezco a mis padres que son los que me apoyaron en este camino tan largo, agradezco por el amor el cariño y el apoyo brindado hasta el día de hoy. Con su amor me han ayudado a cumplir estos objetivos personales y académicos.

A mi abuela por darme las fuerzas cada día para seguir adelante, por el cuidado e impulsarme a ser mejor.

Exalto la paciencia, el amor y la comprensión de mi novia por brindarme diferentes herramientas tecnológicas que me ayudaron a elaborar este documento.

Especial agradecimiento a la Ingeniera Leydi Julieta Cárdenas quien fue mi tutora, por su confianza, apoyo, tiempo, y conocimiento que me permitió llevar a cabo este proyecto y por ser un ejemplo a seguir.

Por último, a la comunidad Uniamericana por ser un espacio de aprendizaje donde adquirí nuevos conocimientos, habilidades, destrezas y pude conocer personas valiosas para mi vida, a todos ellos gracias.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	**10**
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	**12**
2. ANTECEDENTES	**14**
3. JUSTIFICACIÓN	**17**
4. OBJETIVOS	**20**
5. MARCO TEÓRICO	**21**
5.1 Procesos de producción	**21**
5.2 Mantenimiento Correctivo	**21**
5.3 Mantenimiento Predictivo	**21**
5.4 Mantenimiento Preventivo	**22**
5.5 Indicadores de mantenimiento	**23**
5.5.1 Disponibilidad	**24**
***5.5.2* Confiabilidad**	**24**
5.5.3 Mantenibilidad	**25**
5.6 Matriz de criticidad de las máquinas	**25**
5.7 Cálculo de criticidad	**26**
5.7.1 Frecuencia de fallas (Fc)	**27**
5.7.2 Factor Operacional (Fop)	**27**
5.7.3 Flexibilidad operacional	**28**
5.7.4 Costo de mantenimiento	**28**
5.7.5 Impacto en seguridad, medio ambiente e higiene	**28**
5.8 AMEF en el taller del proceso de fabricación de moldes	**29**
5.8.1 Beneficios del AMEF	**30**
5.8.2 Número de Prioridad de Riesgo o NPR	**30**
5.9 Indicadores claves de rendimiento de mantenimiento (KPI)	**31**
5.9.1 Tiempo promedio para fallar (TPPF)	**32**
5.9.2 Tiempo promedio para reparar (TPPR)	**32**
5.10 Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)	**32**
5.10.1 Índice de frecuencia	**33**
5.10.2 Índice de gravedad	**33**

5.10.3 Índice de detección 34
6. GENERALIDADES DE LA EMPRESA 36
6.1 Misión 36
6.2 Visión 36
6.3 Logo 37
6.4 Descripción proceso de fabricación de los moldes 34
6.5 Caracterización de la maquinaria usada en proceso de fabricación de moldes 40
6.6 Historial del mantenimiento de la empresa 42
7. FASE DE DIAGNÓSTICO 44
8. ANÁLISIS DE DATOS DE MANTENIMIENTO 47
8.1 Indicadores de mantenimiento por máquina basados en RCM 47
8.1.1 Disponibilidad por máquina 47
8.2 Confiabilidad. 49
8.3 Mantenibilidad. 51
8.4 Matriz de Criticidad. 54
8.5 Aplicación del AMEF 55
9. PLANEACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO 62
9.1 Principales actividades del plan de mantenimiento preventivo. 64
9.1.1 Inspección 64
9.1.2 Lubricación 64
9.1.3 Limpieza 64
9.2 Gráfico de número de paradas y del componente critico 65
10. CONCLUSIONES 77
REFERENCIAS 80

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Parametrización de frecuencias de falla 27

Tabla 2. Parametrización de factor operacional. 27

Tabla 3. Parametrización de la flexibilidad operacional 28

Tabla 4. Parametrización de los costos de mantenimiento 28

Tabla 5. Parametrización del impacto en seguridad, medio ambiente e higiene 29

Tabla 6. Matriz de riesgo NPR creada para las máquinas involucradas en el proceso de fabricación de moldes de inyección 31

Tabla 7. Rangos de clasificación de criticidad de falla 31

Tabla 8. Categorización del índice de frecuencia 33

Tabla 9. Categorización del índice de gravedad 34

Tabla 10. Categorización del índice de detección 35

Tabla 11. Descripción del funcionamiento de las maquinas utilizadas en el proceso de fabricación de los moldes 40

Tabla 12. Historial de mantenimiento de la empresa CASALD INGENIERIAS SAS 42

Tabla 13. Cálculo de disponibilidad de la maquinaria 48

Tabla 14. Cálculo de confiabilidad de la maquinaria 50

Tabla 15. Cálculo de mantenibilidad de la maquinaria 52

Tabla 16. Matriz de criticidad de la maquinaria del proceso de fabricación de moldes de inyección 54

Tabla 17. Ejecución de la metodología AMEF en la Fresadora CNC 57

Tabla 18. Ejecución de la metodología AMEF en la inyectora Haida 58

Tabla 19. Ejecución de la metodología AMEF en la fresadora de árbol 59

Tabla 20. Ejecución de la metodología AMEF en el torno paralelo 60

Tabla 21. Ejecución de la metodología AMEF en la inyectora HotPlast 61

Tabla 22. Descripción de los códigos de frecuencia utilizados en la planeación del mantenimiento preventivo 63

Tabla 23. Planificación de actividades de mantenimiento preventivo en la fresadora CNC 66

Tabla 24. Planificación de actividades de mantenimiento preventivo en la inyectora Haida 67

Tabla 25. Planificación de actividades de mantenimiento preventivo en la fresadora de árbol 68

Tabla 26. Planificación de actividades de mantenimiento preventivo en el torno paralelo 69

Tabla 27. Planificación de actividades de mantenimiento preventivo en la inyectora HotPlast 70
Tabla 28. Ejemplo de la planificación de actividades de mantenimiento preventivo 76

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Mejoras que conlleva la implementación del mantenimiento preventivo 23

Figura 2. Beneficios del uso del AMEF 30

Figura 3. Logo de CASALD INGENIERIAS SAS 37

Figura 4. Molde de inyección fabricado en acero 38

Figura 5. Flujograma proceso de fabricación de moldes de inyección 39

Figura 6. Gráfico de barras frecuencia de fallas más recurrentes 44

Figura 7. Gráfico circular con el número total de intervenciones o paradas por máquina 45

Figura 8. Gráfico de barras con el número total de horas de intervenciones o parada por máquina 46

Figura 9. Gráfico de barras de la disponibilidad de la maquinaria 49

Figura 10. Gráfico de barras de la confiabilidad de la maquinaria 51

Figura 11. Gráfico de barras de la mantenibilidad de la maquinaria 53

Figura 12. Gráfico de número de paradas y del componente crítico de la fresadora CNC 71

Figura 13. Gráfico de número de paradas y del componente crítico de la inyectora Haida 72

Figura 14. Gráfico de número de paradas y del componente crítico de la fresadora de árbol 73

Figura 15. Gráfico de número de paradas y del componente crítico del torno paralelo 74

Figura 16. Gráfico de número de paradas y del componente crítico de la inyectora HotPlast 75

RESUMEN

El mantenimiento es de vital importancia en la industria actualmente, debido a todos sus aportes significativos en los procesos industriales, principalmente en la calidad y optimización de los procesos de fabricación reduciendo las fallas en la maquinaria y, por ende, el tiempo fuera de servicio, preservando los activos por mayor tiempo; todo esto conlleva beneficios económicos para la empresa. Es por esto que se plantea la implementación de un plan de mantenimiento ejecutado de acuerdo a las necesidades de la empresa CASALD INGENIERIAS SAS, se establece que sea de carácter preventivo con el fin de poder preservar la maquinaria en óptimas condiciones de operación reduciendo las fallas más comunes en las mismas, mejorando la disponibilidad y confiabilidad en el desarrollo de sus funciones.

Se seleccionó el proceso de fabricación de moldes de inyección debido a las diversas operaciones que implica tales como cortes, fresados y lijados de los moldes. En este proceso intervienen las principales máquinas disponibles en la empresa, para los distintos procesos de transformación del acero siendo útil en todos los procesos productivos de la empresa.

Inicialmente, se llevó a cabo un análisis detallado del proceso de elaboración de los moldes, así como las técnicas de mantenimiento que actualmente se emplean en la maquinaria, las cuales se caracterizan por ser de índole correctivo debido a la ausencia de un plan de mantenimiento estructurado. Se procedió a verificar la información general de los equipos durante el intervalo de tiempo de junio de 2023 a mayo de 2024 con el fin de identificar las principales fallas y la frecuencia de las mismas. Se elaboran las hojas de falla y componente crítico, con el fin de obtener la información de operación de manera accesible y precisa. Posteriormente se procede a caracterizar el comportamiento de la maquinaria que interviene en el proceso de fabricación de los moldes mediante los cálculos de los indicadores de mantenimiento propuestos como son mantenibilidad, disponibilidad y confiabilidad, creando la parametrización de los criterios de acuerdo al entorno de la empresa, siendo insumo para continuar con el desarrollo del plan de mantenimiento preventivo. Se optó por realizar la metodología, análisis de modo y efecto de falla (AMEF), con la cual se abarca de manera proactiva la identificación, mitigación y evaluación de las fallas potenciales en la maquinaria que intervienen en el proceso de fabricación de moldes, generando soluciones que ayuden a mejorar la disponibilidad y confiabilidad en el desarrollo de las funciones de los equipos, ahorrando tiempo y dinero en el proceso productivo.

Mediante los análisis realizados se diagnosticó que la inyectora Haida y la fresadora CNC son las máquinas más críticas debido a que presentan más fallos y en el proceso no cuenta con una máquina de respaldo que cumpla sus mismas funciones, por su parte la inyectora HotPlast es la que presenta menor disponibilidad justificado en el largo tiempo de sus intervenciones correctivas, la fresadora de árbol y el torno presentan patrones de comportamiento similar en los indicadores de mantenimiento, reflejados en sus cifras totales de fallas y tiempos de intervención.

Se propone llevar a cabo un cronograma de actividades de mantenimiento preventivo planificado a un año, fundamentado en tres actividades clave: inspección, limpieza y lubricación de las máquinas. El objetivo es reducir las frecuencias de falla, optimizar el proceso productivo, reducir costos asociados al mantenimiento y mejorar la calidad en los procesos aumentando los indicadores de mantenimiento previamente establecidos. Para cumplir estos objetivos en la implementación del plan se debe recolectar la totalidad de la información del proceso productivo para evaluar si las acciones están dando los resultados esperados. Además, se debe asegurar el cumplimiento de las actividades planificadas, siendo los operarios de las máquinas fundamentales para el éxito del plan de mantenimiento dando cumplimiento a las actividades asignadas e informando oportunamente cualquier anomalía en el funcionamiento.

Para culminar, se presentan una serie de gráficas con el objetivo de continuar evolucionando en las actividades de mantenimiento logrando en el futuro que la totalidad de los activos de la empresa estén respaldados por una planificación de mantenimiento, implementando progresivamente actividades y técnicas mejoradas, mediante el aprovechamiento de herramientas tecnológicas de medición y detección de fallas con el fin de avanzar en el desarrollo de los procesos productivos, cumpliendo con los objetivos planteados y mantener una posición más competitiva en la industria.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En CASALD INGENIERIAS SAS se realizan diferentes pasos de transformación del acero de grandes piezas metálicas, que incluyen la fabricación de troqueles, moldes de inyección, piezas automotrices, piezas en 3D. El acero es la materia prima principal. La empresa cuenta con un inventario total de 5 máquinas con funciones específicas para realizar los procesos de manufactura. Para el presente análisis se utilizará la información de las máquinas implicadas en el proceso de fabricación de los moldes (torno paralelo, fresa vertical, inyectora Haida, inyectora HotPlast, Fresa CNC) en el período de tiempo de junio de 2023 hasta marzo de 2024. La empresa actualmente no cuenta con la ayuda de un software especializado para registrar la información de los procesos de mantenimiento, se lleva a cabo un registro en Excel de las acciones realizadas con información del tiempo de intervención y descripción de las actividades realizadas, la mayoría de estas actividades son de naturaleza correctiva ya que no se cuenta con un cronograma de actividades de mantenimiento estructurado, además algunas actividades nombradas en la información suministrada por la empresa esta desorganizada, impidiendo tener un control estricto del funcionamiento de los activos y un programa preventivo que pueda lograr reducir la frecuencia de las principales fallas en el funcionamiento.

El análisis se enfocará en el proceso de fabricación de los moldes, ya que en este se emplean las principales máquinas utilizadas en los diversos procesos de manufactura que realiza CASALD INGENIERIAS SAS. Este análisis servirá de insumo importante para valorar en el futuro la implementación del mantenimiento preventivo en la totalidad de los activos de la empresa. Con la valoración inicial realizada para el diseño del plan de mantenimiento preventivo, se identificarán los procesos que lleva a cabo actualmente la empresa en el mantenimiento de sus equipos, determinando los principales problemas que presentan las máquinas, que afectan el óptimo desarrollo del proceso de producción. Con esto, se buscarán las mejores soluciones para estructurar un plan de mantenimiento preventivo que, mediante la planificación de las actividades logre un mejor estado de la maquinaria reduciendo las fallas en su funcionamiento y garantizando la calidad en el desarrollo de los procesos de producción.

Pregunta general

¿Cómo mejorar el mantenimiento de las máquinas de CASALD INGENIERIA SAS para reducir fallas, optimizar procesos y mantener la competitividad en la producción de moldes de inyección

de plástico?

2. ANTECEDENTES

El acero es la materia prima principal usada por CASALD INGENIERIAS SAS para sus procesos de producción, logrando transformarla de diferentes formas, tamaños y espesores mediante el uso de maquinaria que facilita y agiliza las labores humanas, logrando mejores estándares de calidad y eficiencia. “El acero juega un papel principal en el desarrollo de nuestra sociedad, un protagonismo con años de historia a sus espaldas que no ha perdido ni un ápice de importancia con el paso del tiempo, más bien al contrario. Hablamos de un sector activo y con mucho peso a escala global, clave en ámbitos como el de la construcción y vital en la industria manufacturera en general.” [1]. En el flujograma de la página 32 se representan los pasos para la fabricación de moldes y las máquinas utilizadas en el proceso de transformación de la materia prima, actualmente la empresa CASALD INGENIERIAS SAS realiza mantenimientos correctivos en sus activos, lo que resulta en un aumento de los costos operativos y tiempos de producción. Esto ha generado la necesidad de una solución efectiva, como la implementación de un plan de mantenimiento preventivo basado en reducir las fallas potenciales en las máquinas y preservar el óptimo funcionamiento de los equipos utilizados en el proceso durante largo tiempo. Según la página eMaint el mantenimiento preventivo promueve la salud y la seguridad de los trabajadores, al tiempo que mejora la productividad y ahorra costos. Algunos tipos de MP (Mantenimiento Preventivo) se realizan a intervalos regulares para medir la criticidad, mientras que otros se basan en el uso y sólo se toman medidas correctivas cuando las máquinas no alcanzan los parámetros aceptados. A diferencia del mantenimiento reactivo, el PM predice los fallos de los equipos mucho antes de que retrasen el resto de la cadena de producción. En combinación con un GMAO (Gestión de mantenimiento asistido por computadora), este sistema puede automatizar las inspecciones programadas, la limpieza y la lubricación de piezas. Con el tiempo, la ayuda de monitoreo de condición y la tecnología IoT, los programas de mantenimiento preventivo pueden evolucionar hacia un mantenimiento predictivo [2].

Las máquinas-herramienta suelen utilizarse durante largos períodos de tiempo generalmente por más de diez años, por lo que la prestación de servicios adecuados es significativamente importante. Los fabricantes, ubican sus bases de servicio y centros de soporte en todo el mundo para facilitar su calidad de servicio y proporcionar un soporte rápido a los clientes. Además, si se identifican los trabajos de mantenimiento necesarios antes de que las máquinas-herramienta se

averíen, los fabricantes pueden planificar la prestación de servicios sistemáticos así los usuarios pueden evitar la parada de las máquinas [3].

Cada falla que se puede presentar en una planta de producción, representa un riesgo potencial, tanto económico como en la integridad de los operadores, por lo cual es fundamental entender cómo se presentan, caracterizando su comportamiento se podrán diseñar y tomar las mejores acciones correctivas o preventivas con el fin de disminuir su impacto. Las acciones son actividades de mantenimiento las cuales se generan a partir del análisis de modos de falla, de manera que a cada modo de falla le corresponde una serie de actividades con las cuales se pretende brindar solución a la problemática planteada y reducir la probabilidad de que vuelvan a ocurrir. El modo de falla se define como la manera en que la máquina o activo deja de cumplir su función correctamente, se puede presentar en dos formas diferentes, falla de parada de producción la cual es cuando el equipo deja de funcionar sin mostrar señales de advertencia y no puede seguir operando y la falla funcional que es cuando la maquinaria no desempeña su función conforme al estándar de su fabricación, impidiendo el óptimo desarrollo del proceso con la alta probabilidad de aumentar la gravedad si sigue operando de esta manera, este tipo de falla requiere mayor atención al momento del análisis, con el fin de lograr la caracterización adecuada de lo que ocurre en el activo, para tomar las medidas pertinentes normalizando su funcionamiento y reduciendo que vuelva a ocurrir en el futuro [4].

Se ha demostrado que con la puesta en marcha de técnicas de mantenimiento tanto preventivas como predictivas se mejoran los indicadores de mantenimiento y por ende el desarrollo de los procesos productivos en las diferentes industrias, logrando alargar la vida útil de los activos y reduciendo las fallas en operación, es por eso que cada vez se buscan mejores soluciones en el ámbito del mantenimiento industrial. En la industria del acero en el país, la instauración de estos procesos toma cada vez más fuerza debido a sus excelentes resultados tanto económicos como productivos. “A través de un proceso de gestión integral relacionado con otros procesos gerenciales importantes, con el fin de dar oportuna respuesta sistemática y dinámica a las variables que exige la industria, la satisfacción del cliente, la competitividad y calidad del producto, en cada uno de manera particular existe la incidencia directa del mantenimiento consiguiendo progresar en los procesos industriales” [5].

Mediante el adecuado diagnóstico de la forma en que opera la empresa, se puede ejecutar el

enfoque apropiado para lograr una planeación dinámica que garantice cumplir los cuatro grandes objetivos del mantenimiento que plantea Santiago García para el diseño del plan de mantenimiento efectivo los cuales son: la disponibilidad, la cual se define como la proporción de tiempo que la máquina está en servicio óptimo para realizar su función, la fiabilidad, que es la capacidad de cumplir con el plan de producción establecido previamente, la extensión de la vida útil de los activos, la cual se debe preservar mediante actividades preventivas con el fin de disminuir un mayor impacto en el adecuado funcionamiento y en daños más graves a futuro, por último el cumplimiento del presupuesto establecido ajustando las acciones de mantenimiento a lo estipulado de acuerdo a los costos ocasionados esto se logra mediante una oportuna planificación y el desarrollo simultaneo de los otros objetivos mencionados anteriormente [6].

3. JUSTIFICACIÓN

El mantenimiento preventivo se basa en una serie de actividades planificadas que se llevan a cabo durante un período de tiempo establecido, están diseñadas para garantizar que los activos de la empresa realicen las funciones necesarias en el entorno operativo optimizando la eficiencia del proceso así como también logrando predecir las fallas en los componentes, máquinas o equipos; Se emplea en diversas actividades como cambios, adaptaciones, restauraciones, inspecciones y limpiezas, realizadas en períodos de tiempos que se establecen por calendario o el uso que se les dé a los activos [7].

El mantenimiento de las máquinas es primordial para la industria de procesos, tanto en lo que respecta a la seguridad como a la eficacia del proceso productivo. Un sistema de mantenimiento deficiente tiene un impacto directo en los costos, los plazos, la calidad y los accidentes, por lo que resulta catastrófico para una organización en términos de rendimiento operativo como en la seguridad del proceso. Dada la importante naturaleza del mantenimiento, este debe llevarse a cabo en paralelo con las operaciones normales de una planta para evitar comprometer los niveles de productividad de la planta.

Actualmente, la empresa se encuentra en un proceso de transformación hacia la Industria 4.0 en el que la automatización de procesos y la digitalización se están convirtiendo en una herramienta de vital importancia. Uno de los factores clave que trae consigo esta Industria 4.0 es la abundancia de datos digitales, que pueden utilizarse en el control y el funcionamiento de un proceso, mejorando la eficiencia de la producción y gestionando la seguridad de los procesos. La proliferación de datos resultante de la digitalización generalizada de los procesos de fabricación está abriendo nuevas oportunidades para avanzar en la forma de programar las tareas de mantenimiento. Estas oportunidades prometen mejorar la seguridad de los procesos y reducir los costes asociados al mantenimiento [8]. “Las prácticas de mantenimiento pueden desempeñar un papel importante en la consecución del desarrollo sostenible en varias industrias. Sin embargo, todavía no existe un método general para supervisar y evaluar el impacto de las intervenciones de mantenimiento en la sostenibilidad medioambiental, social y económica” [9].

Hoy en día, existen herramientas que facilitan el análisis del mantenimiento desde perspectivas teóricas y aplicadas. La elección del método más apropiado se basa en las circunstancias y

medidas que se pueden implementar en el lugar de operación, así como en la perspectiva de aquellos comprometidos con la mejora continua del proceso de mantenimiento y las relaciones productivas establecidas. El Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF) implica la recopilación de información como la observación directa de los procesos y el impacto en la producción para determinar el método de mantenimiento que permita identificar la criticidad de las fallas y planificar acciones de contención que logren reducir la frecuencia de fallas en las máquinas. Para lograr este objetivo, se asignan actividades de mantenimiento específicas a la maquinaria, como inspección, lubricación y limpieza, con el propósito de llevar a cabo un mantenimiento estructurado. Utilizar diversos métodos para fundamentar el mantenimiento radica en la aplicación del AMEF, cuyo objetivo es mejorar las condiciones actuales optimizando el uso de la maquinaria en los procesos productivos [10]. La estrategia orientada a la toma de los datos y el acceso a la información de la gestión del mantenimiento define el modelo de la organización independiente de la tecnología que posea.

La aplicación de la ingeniería en el mantenimiento, a través del análisis de los resultados obtenidos en las operaciones de mantenimiento anteriores, logra facilitar la renovación constante y justificada de nuevas estrategias y, por ende, la planificación de actividades con el objetivo de asegurar los tiempos y calidad en los procesos productivos con resultados económicos al mínimo costo. Además, permite la selección adecuada de nuevos activos considerando los factores del ciclo de vida útil y la seguridad operacional, lo que resulta en la optimización de los procesos productivos [11].

Para lograr la excelencia en el mantenimiento se requiere equilibrar el rendimiento, el riesgo y el costo del mantenimiento para obtener una solución de alta calidad y larga duración. Esto se construye mediante el desarrollo de métodos que maximicen las estrategias de mantenimiento adoptadas por la empresa, que suelen clasificarse en dos categorías, el mantenimiento correctivo y el mantenimiento preventivo. El mantenimiento correctivo es el cual ocasiona los costos más elevados debido a que consiste en reparar las fallas generadas por los problemas prematuros en las piezas, causa de la falta de supervisión del rendimiento de la maquinaria influyendo también en la pérdida de producción debido al tiempo de inactividad de la maquinaria y el mantenimiento preventivo que consta de las actividades que deben realizarse para reducir la frecuencia de las fallas y no afectar la producción. Sin embargo, una repetición demasiado alta

de estas intervenciones de mantenimiento también puede dar lugar a costos elevados, ya que se pueden desperdiciar recursos y personal sin que sean necesarios. Para respaldar la toma de decisiones en el mantenimiento preventivo y reemplazar las decisiones subjetivas con las objetivas, se han creado modelos de optimización de mantenimiento, estos modelos se utilizan para hallar una solución de mantenimiento equilibrada que se enfoquen con los objetivos que plantea la implementación de este tipo de mantenimiento, teniendo en cuenta ciertos criterios del entorno en que se encuentra la empresa realizando el proceso de fabricación de sus diferentes productos [12]. Una vez que se haya logrado identificar los activos más críticos, se podrá priorizar de manera más eficaz los programas y planes de mantenimiento de tipo predictivo, preventivo y correctivo, e incluso implementar posibles rediseños a nivel de procedimientos mediante la modificación en las actividades en pro de cumplir los objetivos propuestos en mejora del proceso y de los activos permitiendo realizar una programación y ejecución de estrategias, actividades en función de la criticidad [13].

La estructura organizativa de la gestión del mantenimiento es crucial para reaccionar de manera rápida y eficaz, así como para obtener datos e información de manera oportuna. Si estos no se recopilan de manera adecuada y a tiempo, no serán útiles para tomar decisiones de mejora antes de que los problemas sean mayores. Al implementar el plan de mantenimiento preventivo en la empresa garantizará eficiencia, seguridad y rentabilidad en los procesos productivos especialmente en el de la fabricación de moldes, la maquinaria estará trabajando en las condiciones idóneas y mediante las revisiones establecidas, ajustes y reparaciones de la maquinaria se logrará disminuir las fallas que puedan afectar al rendimiento o la calidad de los productos finales obteniendo la reducción de costos operativos y de tiempos de fabricación, así como la conservación de los activos alargando su vida útil.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Diseñar un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria (torno paralelo, fresa vertical, inyectora Haida, inyectora HotPlast, Fresa CNC), utilizada en la línea de producción de moldes para la inyección de piezas plásticas de la empresa CASALD INGENIERÍA SAS.

4.2 Objetivos específicos

- Identificar las frecuencias de falla en las máquinas utilizadas en el proceso de fabricación de moldes.
- Establecer el análisis de efecto y modo de falla en las máquinas utilizadas en el proceso de fabricación de moldes.
- Formular la programación y asignación de frecuencias de planes de mantenimiento a realizar en las máquinas utilizadas en el proceso de fabricación de moldes.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 Procesos de producción

Se refiere a la utilización de recursos operacionales como maquinaria y personal humano que permiten y facilitan la trasformación de la materia prima agregando un tipo de valor modificando su forma, consistencia, estructura para lograr un resultado deseado, desarrollando elementos estéticos y útiles que aumenta su valor para la comercialización. En el contexto de la globalización y la competitividad que caracterizan a la economía mundial actual, es imprescindible llevar a cabo un análisis estratégico del proceso de producción para estar alineado con las demandas emergentes y evitar quedar desactualizado ante las cambiantes tendencias del mercado [14]. "El propósito principal de cualquier proceso productivo es fabricar un componente con las dimensiones, propiedades, acabados y formas deseadas de la manera más económica y sostenible posible" [15].

5.2 Mantenimiento Correctivo

"El principio del mantenimiento correctivo es bastante sencillo: reparar los equipos cuando se averían. Dado que las reparaciones no están planificadas, es un buen método para los equipos que no son esenciales para las operaciones o que tienen un coste menor.

Por otro lado, si este tipo de mantenimiento no se utiliza estratégicamente, puede provocar paradas imprevistas cuando falle una pieza crítica del equipo. En otras palabras, una estrategia basada únicamente en el mantenimiento correctivo implica tiempos de inactividad más largos y costes de mantenimiento más elevados" [16].

5.3 Mantenimiento Predictivo

"El mantenimiento predictivo consiste en prever los fallos antes de que se produzcan para realizar el mantenimiento en el momento adecuado. Este tipo de mantenimiento utiliza los datos de los sensores de las máquinas y la tecnología inteligente para emitir alertas a los equipos técnicos en cuanto un equipo corre peligro de averiarse. Por ejemplo, un sensor puede utilizar el análisis de vibraciones para alertar al equipo de que una pieza del equipo está a punto de fallar, lo que significa que debe inspeccionarse y repararse en consecuencia. Usar un software de mantenimiento es la forma más sencilla de implantar una estrategia de mantenimiento predictivo,

ya que esta solución permite realizar un seguimiento de las lecturas de los contadores. Una de las grandes ventajas de esta estrategia de mantenimiento es la reducción de costes gracias a un mayor conocimiento del rendimiento y de los posibles problemas que pueden surgir en los equipos. Con el acceso a los datos de los sensores, el mantenimiento se determina en última instancia por el estado real del equipo y no por suposiciones" [17].

5.4 Mantenimiento Preventivo

Se fundamenta en llevar a cabo actividades de mantenimiento programadas regularmente con el objetivo de prevenir fallas futuras e imprevistos en la ejecución de la función ocasionando problemas en los procesos productivos. Este es un componente crucial en la gestión de cualquier proceso, ya que ayuda a prolongar la vida útil de los equipos, minimizar los períodos de inactividad no deseados y en última instancia reduce los costos de mantenimiento a largo plazo [18]. Es aquel que se realiza para evitar las situaciones de falla o daño en la máquina que pueda causar una interrupción inesperada en los procesos de producción de la empresa o deficiencias en la calidad del producto. Este tipo de mantenimiento es un aliado crucial para la calidad en los procesos de fabricación, se caracteriza por las actividades de limpieza e inspección que permiten detectar a tiempo las fallas, evitando que causen daños más graves permitiendo reparar, cambiar componentes y lubricar la maquinaria [19].

El propósito principal del mantenimiento preventivo es minimizar el riesgo de mal funcionamiento disminuyendo la frecuencia de las fallas en las máquinas. Con este fin, se desarrollan mejoras en la totalidad del proceso como las mencionadas en la figura 1 [20].

Figura 1.

Mejoras que conlleva la implementación del mantenimiento preventivo.

Nota. Mapa mental del mantenimiento preventivo, tomando información de referencia

5.5 Indicadores de mantenimiento

Son medidas cuantitativas que permiten evaluar el desempeño y la eficiencia de las actividades de mantenimiento realizadas en una organización. Estos indicadores se basan en datos objetivos y verificables mediante su uso ayudan a identificar las fortalezas y debilidades de los sistemas de mantenimiento utilizados, así como las oportunidades de mejora y las acciones correctivas necesarias. La implementación de los indicadores debe basarse en el estudio de las características específicas de cada empresa, sus objetivos y metas, fundamentado en el análisis del estado de los recursos de producción, especialmente aquellos relacionados con los recursos humanos existentes y sus capacidades. Esto incluye la habilidad para recopilar, analizar y procesar información, logrando aprovecharla al máximo en busca de mejores resultados en los procesos de fabricación [21].

5.5.1 Disponibilidad

Relaciona el tiempo en que la máquina está en condiciones óptimas para cumplir su función, es decir, es el tiempo del que dispondrá la unidad de operaciones, para hacer un uso productivo de la maquinaria, de este tiempo se deben descontar el tiempo total de parada. Se refiere a la

probabilidad de que un sistema, equipo o componente cumpla con la función esperada cuando se le solicite. Se representa en porcentaje y considera tanto la confiabilidad como la mantenibilidad del sistema [22].

Ec.1

Fórmula para determinar la disponibilidad.

$$DISPONIBILIDAD = \frac{Horas\ totales\ de\ funcionamiento - Horas\ totales\ de\ parada}{Horas\ totales\ de\ funcionamiento}$$

5.5.2 Confiabilidad

Es el indicador de la maquinaria que relaciona la frecuencia con que éstos, requieren una intervención correctiva durante un periodo de tiempo establecido. En el ámbito del mantenimiento de equipos, la confiabilidad se define como la probabilidad de que el equipo o alguno de sus componentes no falle durante un período de tiempo específico. La confiabilidad puede interpretarse como el grado de "confianza" que se tiene en que un componente, equipo o sistema realizará su función principal durante un período de tiempo predefinido, bajo condiciones óptimas de operación [23].

Ec.2

Fórmula para determinar la confiabilidad.

$$CONFIABILIADAD = \frac{Horas\ totales\ de\ funcionamiento}{Numero\ totales\ de\ fallas}$$

5.5.3 Mantenibilidad

Puede ser descrita como la expectativa de que un equipo o sistema pueda ser restaurado a su estado operativo en un lapso de tiempo determinado, siempre que las acciones de mantenimiento se lleven a cabo siguiendo los procedimientos establecidos [24]. Representa la probabilidad de que en un intervalo de tiempo en el que se ejecutan las intervenciones de mantenimiento se dé solución con facilidad, precisión y seguridad.

Ec.3

Fórmula para determinar la mantenibilidad.

$$MANTENIBILIDAD = \frac{Horas\ totales\ de\ parada}{Numero\ totales\ de\ fallas}$$

5.6 Matriz de criticidad de las máquinas

La matriz de criticidad desempeña un papel crucial en la industria, ya que permite priorizar las acciones de mantenimiento con el fin de garantizar un funcionamiento adecuado en la producción. La interacción entre el rendimiento organizacional y la falla de los activos tiene un impacto en la toma de decisiones, los recursos empleados y qué equipos deben ser priorizados. Al identificar estos equipos, se ahorra tiempo, se optimizan los recursos y se mejora la confiabilidad de los activos [25].

Mediante el desarrollo de la matriz de criticidad en las máquinas que intervienen en el proceso de fabricación de los moldes de acero se busca identificar donde y como se deben priorizar las acciones de mantenimiento en pro de garantizar el adecuado funcionamiento del proceso. Para esto hay que tener en cuenta diferentes factores que involucran el proceso productivo desde la llegada de la materia prima hasta el producto final. La matriz tabla 6 se modela de tamaño 4x5 en el eje Y se representa la frecuencia de fallas mientras que el eje X está formado por las consecuencias de las fallas generando tres regiones de calificación que permiten reconocer el nivel de riesgo o criticidad de la máquina facilitando poder identificar las que requieren mayor atención.

5.7 Cálculo de criticidad

Es una metodología que permite determinar la jerarquía o prioridades de instalaciones, sistemas, maquinaria y dispositivos, en función de una medida de mérito conocida como “Criticidad”, que es proporcional al “riesgo” que representa para la operación del proceso productivo. Esta estructura facilita la toma de decisiones dirigiendo el esfuerzo y los recursos hacia donde es necesario según su impacto en el proceso [26].

La planificación y gestión de sistemas de mantenimiento es un proceso complejo que ha demostrado ser efectivo para la solución y mejora operacional de instalaciones, máquinas y

componentes relacionados con aspectos claves como la confiabilidad humana, el proceso, el diseño, el mantenimiento y la criticidad. La teoría de criticidad es un modelo que establece una jerarquía de los procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones efectivas en relación a los tipos de mantenimiento a implementar [27].

Mediante la Ec.4 se logra determinar el valor de criticidad de cada máquina que hace parte del proceso de fabricación de moldes de inyección en la empresa CASALD INGENIERIAS SAS

Ec.4

Fórmula para determinar la criticidad.

$$Criticidad = Frecuencia\ de\ fallas * Consecuencia$$

Ec.5

Fórmula para determinar la consecuencia utilizada en la Ec.4.

$$Consecuencia = a + b$$

Ec.6

Fórmula para determinar el valor de “a” utilizado en el cálculo de la Ec.5.

$$a = Costo\ mantenimiento + Impacto\ en\ seguridad, ambiente\ e\ higiene$$

Ec.7

Fórmula para determinar el valor de “b” utilizado en el cálculo de la Ec.5.

$$b = Impacto\ de\ produccion * Flexibilidad\ operacional$$

Los siguientes parámetros están adaptados al desarrollo del proceso de fabricación de moldes de inyección en la empresa CASALD INGENIERIAS SAS para poder determinar la criticidad en cada máquina [28].

5.7.1 Frecuencia de fallas (Fc)

Representa el número de veces que ocurre o se repite las fallas dentro de un período de tiempo establecido en este caso se estableció un año.

Tabla 1.

Parametrización frecuencia de fallas.

Frecuencia de Falla (Fc)	
Parámetro:	**Valor:**
Fallasxaño > 60	4
45 > Fallasxaño < 59	3
25 > Fallasxaño < 44	2
Fallasxaño < 25	1

Nota. $Fallas\ x\ año$ corresponde al periodo de 365 días seleccionado para la clasificación.

5.7.2 Factor Operacional (Fop)

Es el impacto que ocasionan las fallas en el desarrollo de la producción teniendo en cuenta la calidad y tiempo en el producto final.

Tabla 2.

Parametrización factor operacional.

Factor Operacional (Fop)	
Criterio:	**Valor:**
Parada total de producción	10
Impacto en niveles de calidad e inventario	5
No genera ningún efecto significativo en la producción	1

Nota. Corresponde a los criterios dados para la empresa analizar

5.7.3 Flexibilidad operacional

Es la posibilidad de brindar una solución a la falla de una máquina de manera rápida incurriendo en la menor cantidad de tiempo perdido.

Tabla 3.

Parametrización de flexibilidad operacional.

Flexibilidad Operacional:	
Criterio:	**Valor:**
No se cuenta con repuestos o maquinaria de respaldo	5
La maquinaria cuenta con respaldo (Repuesto/Función).	1

Nota. Son los criterios para evaluar a la empresa

5.7.4 Costo de mantenimiento

Son los costos ocasionados a la preservación de la máquina se basa en el historial de reparaciones y adecuaciones realizadas. Los rangos puestos en la tabla son dados dependiendo del historial que se tenga de la empresa y sus activos, los máximos y mínimos son valores que en algún momento se pagó por el mantenimiento del equipo.

Tabla 4.

Parametrización de los costos de mantenimiento.

Costo de Mantenimiento:	
Parametro:	**Valor:**
Costo > $5000000	3
$3000000 > Costo < $5000000	2
Costo < $3000000	1

Nota. Los parámetros de los costos dependen del historial de la empresa

5.7.5 Impacto en seguridad, medio ambiente e higiene

Son las consecuencias potenciales que puede desarrollar la falla afectando la salud y seguridad de las personas o el medio ambiente.

Tabla 5.

Parametrización del impacto en seguridad, medio ambiente e higiene.

Impacto en seguridad, medio ambiente e higiene:	
Criterio:	**Valor:**
Afecta la seguridad humana tanto externamente como internamente	8
Afecta las instalaciones	5
Provoca daños menores	3
No provoca daños de ninguna índole	1

Nota. La tabla califica los impactos que tiene el ambiente en la empresa

5.8 Análisis de modo y efecto de fallas (AMEF) en el proceso de fabricación de moldes

La metodología AMEF se usa con el propósito de evaluar la confiabilidad de la maquinaria, así como también para evaluar e identificar fallas en productos, procesos y sistemas, clasificando de manera objetiva los efectos que pueden ser ocasionados y las causas más probables de la falla, para así evitar la ocurrencia de las mismas para ello es necesario contar con un método documentado de registro de información y de la planeación de actividades para lograr prevenir las fallas [29].

5.8.1 Beneficios del AMEF.

La aplicación de esta metodología aporta los siguientes beneficios al proceso productivo [26].

Figura 2.

Beneficios del uso del AMEF.

Nota. Beneficios del uso del AMEF

5.8.2 Número de Prioridad de Riesgo o NPR

"Es un valor numérico que determina la jerarquización de las fallas a través de la multiplicación del grado de ocurrencia, severidad y detección, éste indica la prioridad con la que deben de buscarse soluciones para cada modo de falla, identificando los más críticos dando prioridad a los que presentan valores superiores" [30].

Ec.8

Fórmula para calcular el NPR.

$$NPR = Gravedad * Frecuencia * Detección \qquad (5)$$

Tabla 6.

Matriz de riesgo NPR creada para las máquinas involucradas en el proceso de fabricación de los moldes.

Matriz de riesgos:					
Frecuencia:					
4	20	40	60	80	100
3	15	30	45	60	75
2	10	20	30	40	50
1	5	10	15	20	25
Consecuencia	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**

Nota. Clasificación de valor NPR conforme a la frecuencia y consecuencia de las fallas.

Tabla 7.

Rangos de clasificación de criticidad de falla.

Clasificación de riesgo:	Criticidad:
Crítico	**100-60**
Medio	**59-25**
Bajo	**24-0**

Nota. Rango de criticidad de las maquinas

5.9 Indicadores claves de rendimiento de mantenimiento (KPI)

Es un concepto de la industria que establece una métrica con la cual se evalúa el rendimiento en relación a un objetivo determinado. Son comúnmente utilizados en las organizaciones para medir tanto el éxito como la calidad en la consecución de sus metas, la implementación de los procesos o la entrega de productos y servicios. Estos indicadores facilitan la identificación de las áreas con mayores problemas dentro de la empresa, permitiendo así intensificar los esfuerzos en dichas áreas [31].

5.9.1 Tiempo promedio para fallar (TPPF)

En la ecuación 9 indica el tiempo promedio en que una máquina opera antes de detenerse debido a algún problema mecánico. Se calcula dividiendo el número total de horas trabajadas entre el número de paradas por intervenciones mecánicas, sin tener en cuenta las paradas operativas [32].

Ec.9

Fórmula para calcular el TPPF.

$$TPPF = \frac{Horas\ totales\ de\ funcionamiento}{Numero\ totales\ de\ fallas}$$

5.9.2 Tiempo promedio para reparar (TPPR)

Indica tiempo promedio que se tardan las reparaciones e intervenciones mecánicas. Se calcula dividiendo el total de horas dedicadas a las reparaciones en un periodo de uso establecido, entre el número de veces que la maquinaria se detuvo por intervenciones mecánicas [32].

Ec.10

Fórmula para calcular el TPPR.

$$TPPR = \frac{Horas\ totales\ de\ paradas}{Numero\ totales\ de\ fallas}$$

5.10 Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)

Es una metodología de mantenimiento que permite identificar fallos potenciales en los activos y determinar sus posibles causas, logrando clasificar la criticidad de los fallos y proponer medidas que puedan evitarlos. Su principal objetivo es reducir los costos asociados a las fallas imprevistas, de igual forma que cualquier estrategia de planificación de mantenimiento, implementando las actividades de mantenimiento que preserven la funcionalidad de los activos y evitando el mantenimiento innecesario [30]. “Es una estrategia que organiza y gestiona el mantenimiento a través de programas estructurados en la confiabilidad actual de los equipos, no solo sirve para identificar las actividades de mantenimiento, sino que también como marco de referencia para analizar riesgos en la maquinaria, priorizar la inspección y revisión de componentes y descubrir áreas donde se puede mejorar el mantenimiento de la maquinaria continuamente” [33].

Los parámetros de las siguientes tablas se crearon específicamente para el proceso de funcionamiento de los moldes de la empresa CASALD INGENIERIAS SAS.

5.10.1 Índice de frecuencia

“Es la probabilidad que ocurra una causa particular y resulte en un modo de falla durante la vida útil de un producto. Para realizar la caracterización de este ítem se tendrá en cuenta el cálculo

realizado de la confiabilidad ya que permite identificar la frecuencia de fallas en todo el proceso específicamente el tiempo promedio para fallar (TPPF)" [33]. En este caso en el rango "muy alta" es cuando un activo de la empresa está en constante mantenimiento ya sea por las horas de uso o el mal cuidado del activo esto se da cuando el TPPF es muy alto y supera el criterio requerido.

Tabla 8.

Categorización del índice de frecuencia.

Frecuencia:		
Ocurrencia:	**Rango:**	**Criterio:**
Muy alta	5	TPPF≤ 65
Alta	4	56 ≥ TPPF ≤ 65
Moderada	3	66 ≥ TPPF ≤ 75
Poca	2	76 ≥ TPPF ≤ 85
Remota	1	TPPF ≥ 86

Nota. Criterios basados en los rangos de valores de TPPF.

5.10.2 Índice de gravedad

"Permite cuantificar la severidad de los efectos, se tendrá en cuenta el tiempo promedio para reparar la maquinaria (TPPR) con este dato se logra cuantificar la complejidad en tiempo de las fallas" [33].

Tabla 9.

Categorización del índice de gravedad.

Gravedad:			
Ocurrencia:	**Descripción:**	**Rango:**	**Criterio:**
Muy alta	Parada total del proceso productivo.	5	TPPR≥ 2
Alta	Daño irreparable en el producto/Pausa momentánea en el proceso productivo.	4	1,6 ≥TPPR≤ 1,9
Moderada	Pausa momentánea en el proceso productivo.	3	1 ≥TPPR≤ 1,5
Poca	Afectación en la calidad del producto.	2	0,5 ≥TPPR≤ 1
Remota	Sin afectaciones al proceso productivo.	1	TPPR≤ 1

Nota. Criterios basados en los rangos de valores de TPPR.

5.10.3 Índice de detección

Es una evaluación de la probabilidad de que un control vigente detecte la causa de un modo de falla o el modo de falla en sí mismo, previniendo o alertando antes que alcance afectar el desarrollo del proceso sin embargo en algunas ocasiones son muy difíciles de detectar para el operario, haciendo el mantenimiento difícil y en el momento de desarrollarlo se encuentran con nuevos retos [33].

Tabla 10.

Categorización del índice de detección.

Detección:	
Rango:	**Criterio:**
1	Indetectable
2	Señal de advertencia
3	Bloqueo de sistema
4	Parada de máquina
5	Parada de producción

Nota. Criterios basados en los sistemas de detección dentro del proceso actualmente.

7 GENERALIDADES DE LA EMPRESA

CASALD INGENIERIAS SAS. es una empresa ubicada en Bogotá D.C. que cuenta con más de 20 años de experiencia en la industria metalmecánica, dedicándose a la trasformación del acero el cual es su principal insumo. La empresa dispone de diferentes máquinas y herramientas que facilitan la labor humana fundamentalmente en las tareas de diseño, montaje y terminado del material. Gracias a esta infraestructura, logra llevar a cabo una producción masiva de diversos productos como lo son de tipo troqueles, partes automotrices, llaveros, moldes y piezas con la mejor calidad y dando cumplimiento a toda regulación existente para el desarrollo de estos procesos con el acero de carácter legal en Colombia.

7.1 Misión

CASALD INGENIERIAS SAS es una empresa fundada con el fin de ofrecer soluciones integrales mediante el diseño y elaboración de productos en acero cumpliendo altos estándares de calidad e innovación continua a bajo costo, garantizando dar cumplimiento a las necesidades de nuestros clientes empleando materiales de la mejor calidad y técnicas innovadoras para crear productos duraderos y estéticamente agradables.

7.2 Visión

En el año 2030, aspiramos a ser una de las principales soluciones en la fabricación de productos metalmecánicos reconocidos por nuestra calidad, innovación y experiencia basándonos en productos ambientalmente sostenibles, adoptando las exigencias que desarrolle la industria ampliando la capacidad operativa mediante el uso de maquinaria con mejores prestaciones y tecnologías.

7.3 Logo

Figura 3.

Logo de CASALD INGENIERIAS SAS.

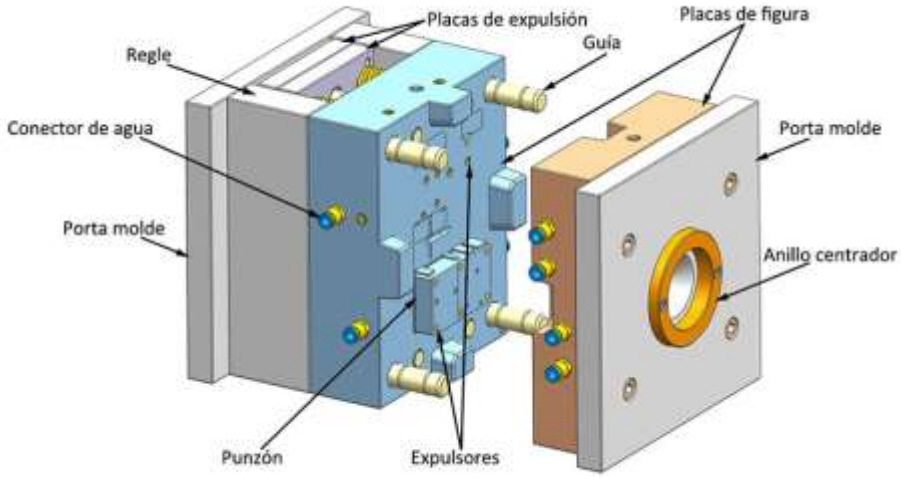
Nota. Logo de la empresa CASALD INGENIERIA SAS

7.4 Descripción proceso de fabricación de moldes de inyección

El proceso de fabricación de moldes de inyección hechos de acero consta de varios pasos, dando inicio con la selección del acero adecuado el cual debe ser resistente, moldeable y fácil de trabajar, posteriormente, se corta el acero en piezas de las dimensiones y forma establecidas, mediante el uso de máquinas como: tornos o fresadoras que permiten el desarrollo del proceso de una forma más eficiente ahorrando tiempo y mejorando la calidad de las terminaciones del producto, cuando se obtienen las dimensiones y forma final se aplica un tratamiento térmico o no, dependiendo del material, para proteger la pieza final y darle un buen acabado para finalizar el proceso se unen las placas mediante guías y tornillos supervisando las dos caras (macho y hembra) con sus respectivos expulsores y refrigeración ya hechas en su momento.

Figura 4.

Molde de inyección fabricado en acero.

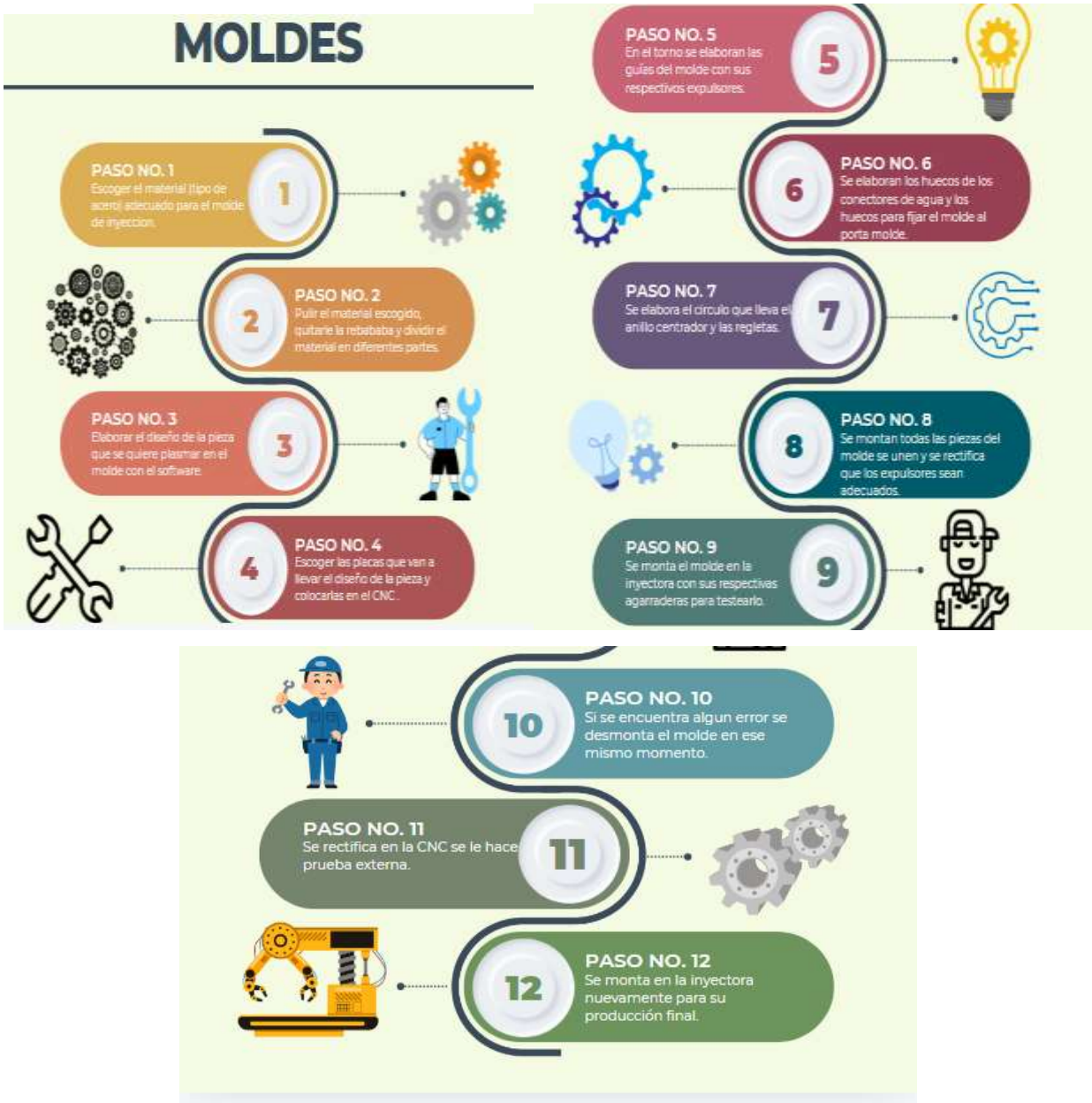


Nota. Molde de inyección fabricado por la empresa CASALD INGENIERIA SAS

La fabricación de moldes se lleva a cabo mediante el método de producción por parte o pieza requerida, un enfoque donde la totalidad de los productos debe completar una fase de producción antes de pasar a la siguiente. La cantidad de producción y la frecuencia de fabricación se ajustan de acuerdo con las características y requisitos del mercado en ese momento. Este tipo de enfoque de producción se emplea cuando la demanda de un producto no alcanza magnitudes que justifiquen su manufactura continua [32]. Este es un proceso que permite la flexibilidad de operarios y máquinas permitiendo a la empresa adaptarse al mercado desarrollando diferentes moldes, con una vida útil muy larga y sacando productos cuando se requieran.

Figura 5.

Flujograma procesos de fabricación de moldes de inyección.



Nota. En el flujograma se evidencian los pasos del proceso de fabricación de los moldes en la empresa CASALD INGENIERIAS SAS y las máquinas utilizadas en los mismos.

7.5 Caracterización de la maquinaria usada en proceso de fabricación de moldes de inyección

Con la elaboración de las hojas de vida de las maquinarias detalladas, se busca recopilar la información más relevante de las funciones y parámetros operativos de las máquinas empleadas en el proceso de fabricación de moldes, así como las observaciones o cambios que se realicen en los mismos.

Tabla 11.

Descripción del funcionamiento de las máquinas utilizadas en el proceso de fabricación de los moldes.

Maquinaria	**Description del Funcionamiento**
Fresadora CNC:	Es una máquina de uso manual y automática que incorpora tres movimientos en tres ejes. A través del movimiento rotativo de su buril en su cabezote, tiene la capacidad para eliminar material para hacer la pieza dentro del acero. Otra función es refrentar las piezas para darles un acabado especial, esta máquina con su software puede hacer piezas que se crean en computador y recrear mediante un código.
Inyectora:	Este equipo se encuentra equipada con una tolva y tornillo sin fin para inyectar material en los moldes creados con las otras máquinas. Esta máquina se utiliza para probar los moldes creados, además sirve para sacar muestras y saber si los moldes quedan bien sellados, comprobando sus expulsores y refrigeración.

Inyectora HotPlast:	Está máquina se encuentra equipada con diferentes herramientas para inyectar material en los moldes pequeños con las otras máquinas. Esta máquina se utiliza para probar los moldes sencillos, además sirve para sacar muestras y saber si los moldes quedan bien sellados, comprobando sus expulsores y refrigeración. A diferencia de la otra esta es más pequeña y puede sacar pruebas rápidas.
Torno:	Es una máquina de uso manual que incorpora un movimiento rotacional que desbasta el material para hacer las guías de los diferentes moldes y los expulsores de los mismos. Con sus diferentes velocidades y herramientas crea piezas exactas para su debido funcionamiento conjunto con sus otros elementos.
Fresa de arbor:	Es una máquina de uso manual que incorpora un cabezote vertical con sus diferentes herramientas. A través del movimiento rotativo de su buril en el cabezote, tiene la capacidad para eliminar material para hacer la pieza dentro del acero. Otra función es refrontar las piezas para darles un acabado especial.

Nota. Explicación de cada uno de los activos de la empresa CASALD INGENIERIA SAS

7.6 Historial de mantenimiento de la empresa

El historial de mantenimiento de la empresa CASALD INGENIERIAS SAS se adquiere y se evidencia que aunque lleven unos antecedentes con las fallas, el día y el tiempo utilizado por los operarios para su debida reparación hay un mal manejo del mismo ya que algunas actividades no son claras, son poco específicas, además como se observa algunos campos están vacíos, sin saber si se obtuvieron resultados óptimos, de igual manera se observa las fallas recurrentes en sus activos y algunos componentes críticos que afectan el manejo de los mismo.

Tabla 12.

Historial de mantenimiento de la empresa CASALD INGENIERIAS SAS del mes de junio 2022.

Dia	Falla de la Maquina	Maquina	Solucionado	Tiempo (H)
1-jun-22	Cambio de polea conductora del eje x de la CNC	CNC	Si	1
2-jun-22	Atascamiento por falta de limpieza de la inyectora hyn	Inyectora	Si	30
3-jun-22	Cambio de pastillas de desbaste	N/A		
4-jun-22	Cambio de pastillas de desbaste	CNC	Si	1
5-jun-22	N/A	N/A		
6-jun-22	Buril roto por exceso de velocidad	Torno	No	
7-jun-22	N/A	N/A		
8-jun-22	N/A	N/A		
9-jun-22	Cambio de mangueras paso de aire	N/A		1
10-jun-22	N/A	N/A		
11-jun-22	N/A	N/A		
12-jun-22	Atascamiento por falta de limpieza de los ejes de la CNC	CNC	Si	1
13-jun-22	Cambio de pastillas de desbaste	N/A		
14-jun-22	N/A	N/A		
15-jun-22	N/A	N/A		
16-jun-22	Ajuste de correas	N/A		1
17-jun-22	N/A	N/A		

18-jun-22	**N/A**	**N/A**		
19-jun-22	**Atascamiento por falta de limpieza de la inyectora hyn**	**Inyectora**	**Si**	**30**
20-jun-22	**Cambio de pastillas de desbaste**	**N/A**		
21-jun-22	**N/A**	**N/A**		
22-jun-22	**N/A**	**N/A**		
23-jun-22	**Ajuste de correas**	**N/A**		**1**
24-jun-22	**N/A**	**N/A**		
25-jun-22	**N/A**	**N/A**		
26-jun-22	**N/A**	**N/A**		
27-jun-22	**Recalentamiento de la inyectora por falta de refrigeración**	**Inyectora Pequeña**	**Si**	**20**
28-jun-22	**Cambio de pastillas de desbaste**	**N/A**		
29-jun-22	**N/A**	**N/A**		
30-jun-22	**N/A**	**N/A**		

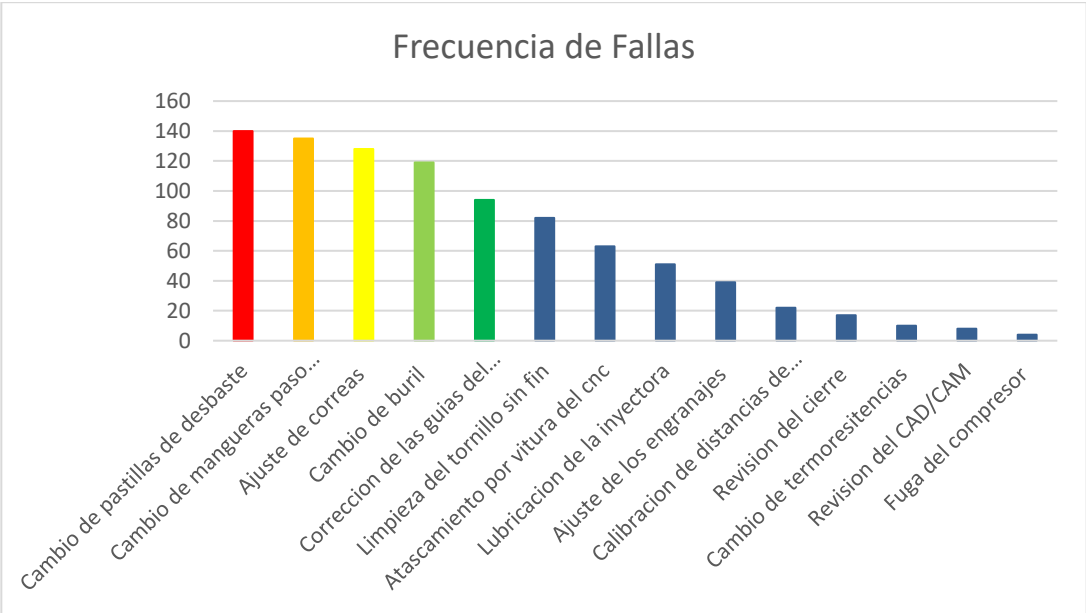
Nota. Historial de mantenimiento de la empresa en el mes de junio del 2022

8 FASE DE DIAGNOSTICO

Centrando el análisis al proceso de fabricación de moldes se recopiló la información registrada por la empresa de las cinco máquinas (Fresadora CNC, Fresadora de árbol, Torno, Inyectora 1, Inyectora 2) que intervienen en el proceso durante el periodo de tiempo de junio de 2023 a marzo de 2024. En esta revisión, se identificaron las fallas más recurrentes, siendo el segundo fallo más recurrente el cambio de mangueras para el flujo de aire de la CNC, así como también la revisión de las herramientas de la fresadora como las pastillas de desbaste, tal como se observa en la figura 6. Posteriormente, se encontraron diferentes problemas con una diferencia notable por la cantidad de recurrencia con otras fallas como por ejemplo ajuste de correas que tiene 126 fallas a diferencia de fuga del compresor que tiene 5 fallas como se observa en la figura 6, se encuentran procedimientos como de limpieza, ajuste de correas, lubricación entre otros. Es notable que la gran mayoría de las intervenciones registradas tienen carácter correctivo. Para el desarrollo de las estrategias de mantenimiento es de vital importancia realizar la correcta caracterización de los activos de la empresa y el adecuado manejo de la información para implementar diferentes tipos de análisis para lograr tomar las mejores decisiones en el ámbito del mantenimiento.

Figura 6.

Gráfico de barras frecuencia de fallas más recurrentes.



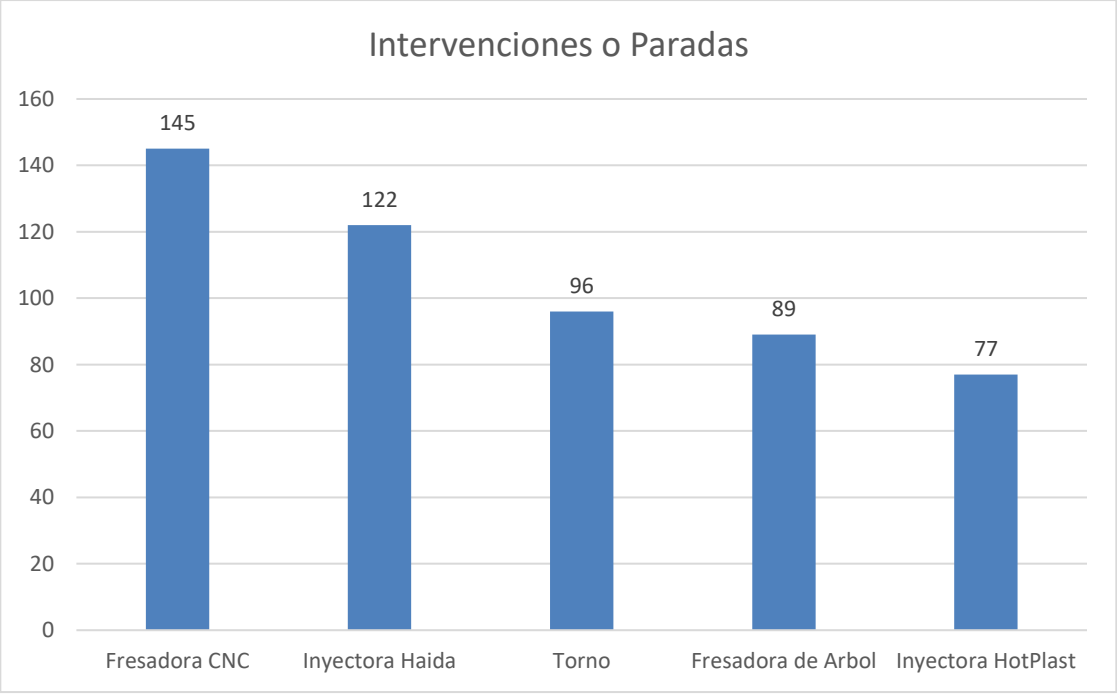
Nota. Gráfico de barras mostrando la frecuencia de fallas de la empresa

En la gráfica se evidencia como la Fresadora CNC (145) ha experimentado el mayor número de intervenciones o paradas debido a la complejidad de su funcionamiento en comparación con las demás máquinas y la inyectora HotPlast (77) se destaca por tener el menor número de intervenciones o paradas dentro de las usadas en el proceso de fabricación de los moldes esto debido a su poca utilización y buena manipulación.

Es importante señalar que "la intervención de un componente o equipo se presenta cuando este componente o equipo se manifiesta dicho elemento se desvía de las especificaciones establecidas, que son los límites de los parámetros de trabajo del equipo o componente. El tiempo que un componente trabaja una vez comenzada la falla, se encuentra en condición de parada, lo que requiere detener el proceso para llevar a cabo una revisión, corrección y reparación. Este proceso es esencial para restaurar el funcionamiento adecuado de las máquinas" [33]. En la figura 7 se observa el grafico con el número total de intervenciones.

Figura 7.

Gráfico de barras con el número total de intervenciones o paradas por máquina.



Nota. Los datos de esta grafica representa el número total de paradas por máquina presentes en la fabricación de los moldes desde el 01/06/2023 hasta el 31/05/2024.

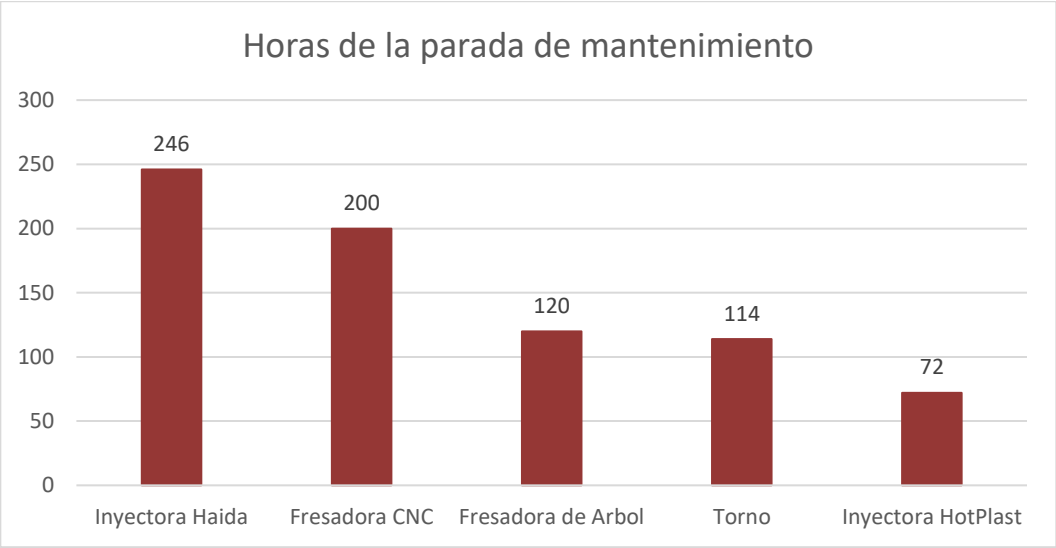
Las horas de parada de la máquina representa el tiempo de intervención del mantenimiento desde

el momento en el cual el equipo deja de funcionar correctamente hasta que se realiza el restablecimiento del funcionamiento de la maquinaria.

Con el número total de horas de intervención o parada de máquina se puede establecer que, aunque la fresadora CNC fue la que tuvo mayor número de fallas, se requirió de mayor tiempo en la inyectora Haida debido a la complejidad o disponibilidad de mantenimiento. Además, como se observa en la gráfica de barras, se destaca que la inyectora HotPlast, mediante su sencillo funcionamiento es la que menor tiempo tuvo que detenerse para ser intervenida en comparación con las demás máquinas, sin embargo, se ve un número elevado de horas para ser la máquina menos utilizada en este período de tiempo.

Figura 8.

Gráfico de barras con el número total de horas de intervenciones o parada por máquina.



Nota. Los datos de esta gráfica representa las horas totales de paradas por máquina presentes en la fabricación de los moldes de inyección desde el 01/06/2023 hasta el 31/05/2024.

Al comprender el contexto de los procedimientos de mantenimiento en la maquinaria de CASALD INGENIERIAS SAS, se evidencia que la falta de un cronograma de actividades de mantenimiento incrementa las paradas en las máquinas y por ende los tiempos fuera de servicio de los activos. Se destaca la posibilidad de prevenir los principales fallos mediante actividades que no requieren gran inversión económica y pueden ser realizadas por los mismos operarios logrando disminuir la recurrencia de las fallas principales.

9. ANÁLISIS DE DATOS DE MANTENIMIENTO

Mediante el análisis de datos, se examinan los registros recopilados sobre el funcionamiento y la condición de los equipos, las instalaciones y los sistemas. El propósito es identificar patrones, tendencias y anomalías que puedan afectar al rendimiento, la fiabilidad y la seguridad del proceso productivo. El objetivo principal es proporcionar información útil para respaldar la toma de decisiones sobre las acciones de mantenimiento preventivo necesarias. Estas acciones buscan mejorar el proceso productivo reduciendo costos, aumentando la eficiencia y la disponibilidad de los activos, obteniendo la optimización del proceso.

9.1 Indicadores de mantenimiento por máquina basados en RCM

9.1.1 Disponibilidad por máquina

Mediante el uso de la Ecuación 11 se realizó el cálculo de la disponibilidad de las máquinas utilizadas en el proceso de fabricación de los moldes de inyección fabricados en acero durante el intervalo de tiempo de 1 año desde junio de 2023 hasta julio de 2024 tal como se evidencia en las tablas. En dicho lapso, se registró un tiempo total de funcionamiento promedio de 2304 horas para todas las máquinas. En la tabla 13 se evidencia que la inyectora Haida el porcentaje de disponibilidad es bajo a comparación del torno paralélelo, obviamente por las horas de intervención.

Ec.11

Aplicación de la Ec. 11 en el cálculo de la disponibilidad de la Inyectora Haida.

$$Disponibilidad = \frac{2304 - 246}{2304} = 89{,}32\%$$

Tabla 13.

Cálculo de disponibilidad de la maquinaria.

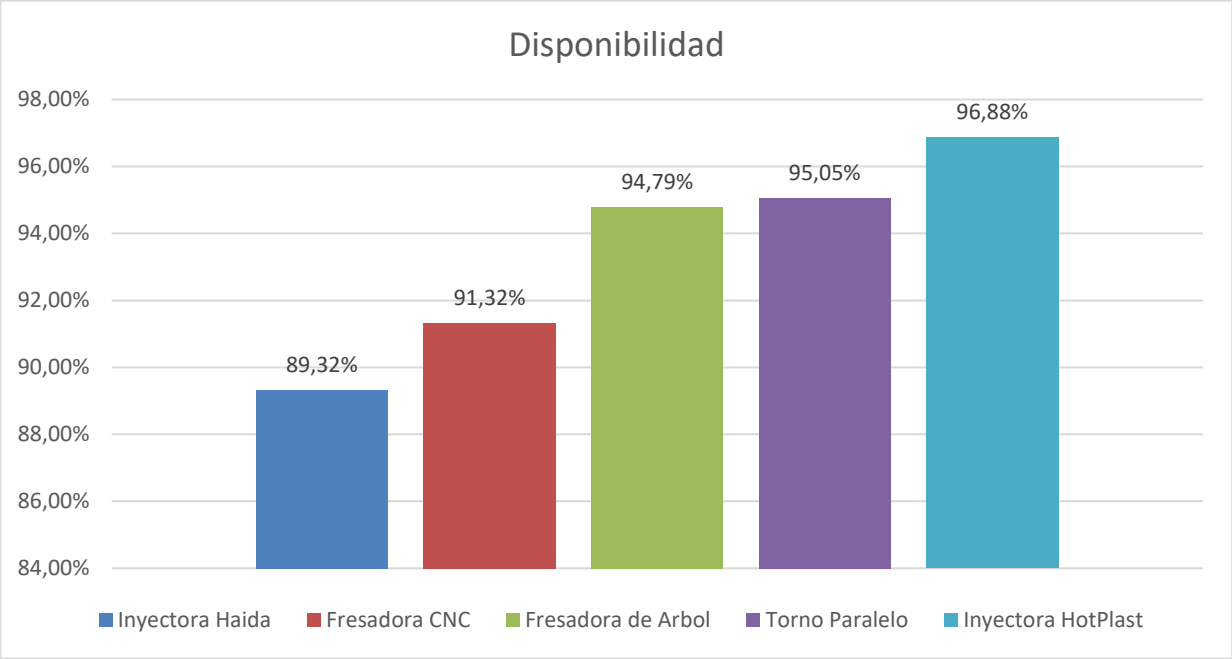
Maquinaria:	**Tiempo total de funcionamiento (Horas)**	**Horas totales intervenciones**	**Disponibilidad (%)**
Inyectora Haida	2304	246	89,32
Fresadora CNC		200	91,32
Fresadora de Árbol		120	94,79
Torno Paralelo		114	95,05
Inyectora HotPlast		72	96,88

Nota. En la tabla se evidencian los datos necesarios para realizar el cálculo de la disponibilidad el cual se presenta en porcentaje.

Considerando los resultados derivados del cálculo de la disponibilidad, se observa que la inyectora Haida y la CNC son las máquinas que exhiben una disponibilidad inferior al 94%. Esto se debe a que sus tiempos de parada fueron notablemente más extensos en comparación con los demás equipos. Por otra parte, la inyectora HotPlast se destaca como el indicador de mayor disponibilidad, alcanzando un 96.88%, gracias a que su tiempo de intervención fue el más reducido, totalizando 72 horas, como se evidencia en la gráfica de la figura 9, sin embargo, hay un gran riesgo de que otras máquinas como la fresadora de árbol este en su límite de disponibilidad con un 94.79% se coloque por debajo del promedio.

Figura 9.

Gráfico de barras de la disponibilidad de la maquinaria.



Nota.Grafico de barras que muestra la disponibilidad de los activos

9.2 Confiabilidad

Empleando la Ec.2 se calculó la confiabilidad de las máquinas empleadas en el proceso de fabricación de los moldes de inyección, como se observa en la Tabla 15. Teniendo en cuenta el intervalo de tiempo establecido de funcionamiento 2304 horas y el número total de intervenciones realizadas a cada máquina.

Ec.12

Aplicación de Ec. 12 en el cálculo de la confiabilidad en la fresadora CNC.

$$Confiabilidad = \frac{2304\ Horas}{145} = 15{,}89\ Horas$$

Tabla 14.

Cálculo de confiabilidad de la maquinaria.

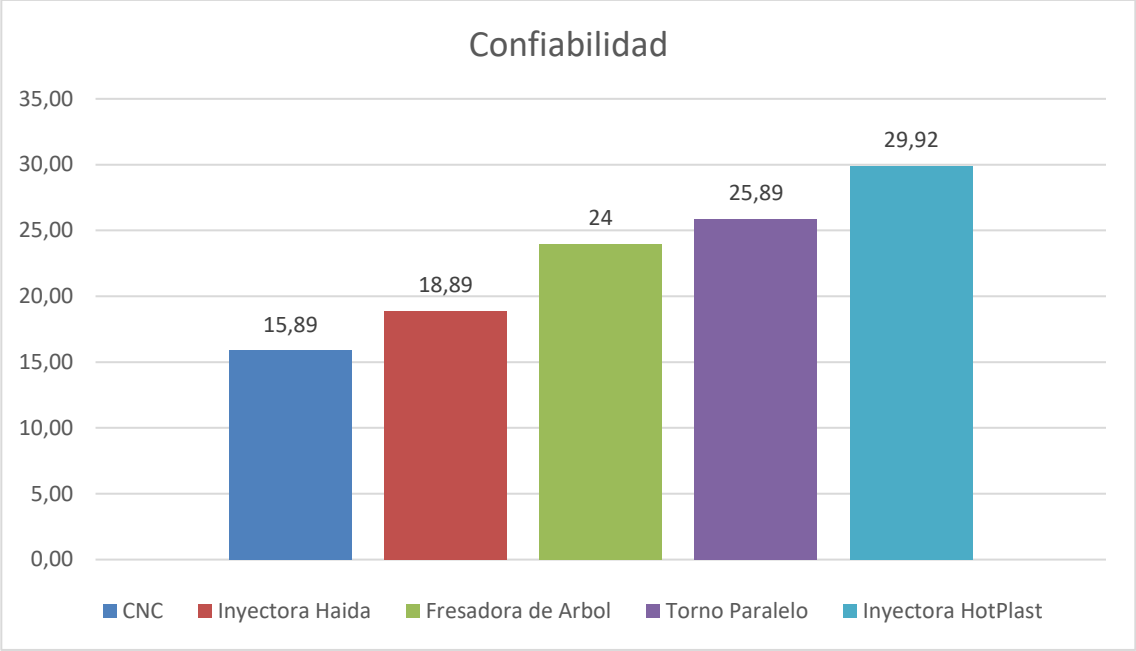
Maquinaria:	**Tiempo total de funcionamiento (Horas)**	**Total, de Intervenciones**	**Confiabilidad (Horas)**
Fresadora CNC	2304	145	15,89
Inyectora Haida		122	18,89
Fresadora de Árbol		96	24,00
Torno Paralelo		89	25,89
Inyectora HotPlast		77	29,92

Nota. En la tabla se evidencian los datos necesarios para realizar el cálculo de la confiabilidad.

Los resultados destacan que la inyectora HotPlast se distingue como el equipo con mayor confiabilidad, al registrar la menor cantidad de paradas por fallas (77) durante el período establecido. Esta eficiencia se atribuye a la poca utilización y manejo de esta máquina, además que sus mantenimientos han tenido pocas horas de trabajo. A comparación de la Fresadora CNC presenta el indicador más bajo, evidenciando una considerable disparidad al registrar un mayor número de intervenciones (145). Esto se debe a las frecuentes paradas por mal manejo del activo, sus herramientas de desbaste desgastadas y sus diferentes atascamientos por viruta (falta de limpieza).

Figura 10.

Gráfico de barras de la confiabilidad de la maquinaria.



Nota. Gráfico de barras que muestra la confiabilidad de los activos

9.3 Mantenibilidad

Utilizando la Ec.3 se calculará la mantenibilidad de las máquinas utilizadas en el proceso de fabricación de los moldes de inyección durante el intervalo de tiempo previamente establecido se tendrá en cuenta el número total de intervenciones y el tiempo de inactividad por las fallas o intervenciones en cada máquina.

Ec.13

Aplicación de Ec. 3 en el cálculo de la mantenibilidad en la inyectora Haida.

$$Mantenibilidad = \frac{246}{122} = 2{,}02$$

Tabla 15.

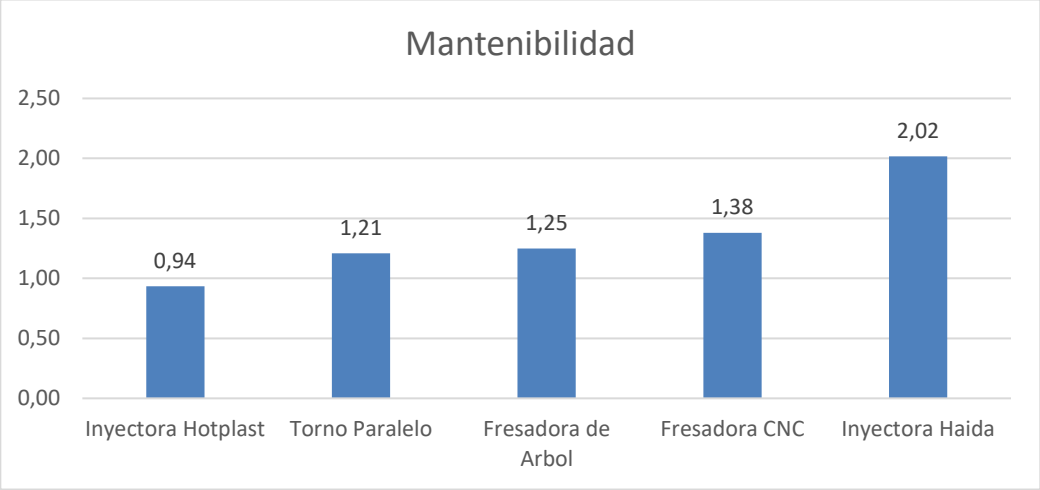
Cálculo de mantenibilidad de la maquinaria.

Maquinaria:	**Tiempo total de inactividad por fallas (Horas)**	**Total, de fallas**	**Mantenibilidad**
Inyectora Hotplast	72	77	0,94
Torno Paralelo	114	89	1,21
Fresadora de Árbol	120	96	1,25
Fresadora CNC	200	145	1,38
Inyectora Haida	246	122	2,02

Nota. En la tabla se evidencian los datos necesarios para realizar el cálculo de la mantenibilidad. En el cálculo del ítem de mantenibilidad demuestra que el comportamiento de cada máquina es muy distinto debido a la complejidad que se pueden requerir para restablecer su correcto funcionamiento. Esto indica la necesidad de implementar medidas especiales de mantenimiento de cada equipo. El torno y la fresadora de árbol presentan un comportamiento similar con su funcionamiento básico, ya que son las máquinas con reparaciones más rápidas y que se su mal funcionamiento no afecta tanto el proceso, tal como se observa en la siguiente grafica de barras. Se recomienda implementar inspecciones constantes, principalmente en la Inyectora Haida y fresadora CNC, con el fin de mitigar las fallas más frecuentes. Es importante adoptar las acciones correspondientes para corregirlas y garantizar la eficiencia del proceso.

Figura 11.

Gráfico de barras de la mantenibilidad de la maquinaria.



Nota. Gráfico de mantenibilidad de los activos de la empresa

9.4 Matriz de Criticidad.

Tabla 16.

Matriz de riesgo de maquinaria del proceso de fabricación de moldes de inyección.

Matriz de las maquinas								
Maquina	**Frecuencia de fallas (Fc)**	**Factor Operacional (Fop)**	**Flexibilidad Operacional**	**Costo de Mantenimiento**	**Impacto en seguridad medio ambiente e higiene**	**Consecuencia**	**Criticidad**	**Clasificacion**
Fresadora CNC	4	10	5	3	5	58	100	Critico
Inyectora Haida	4	5	5	3	5	33	80	Critico
Torno	4	5	5	2	3	30	70	Critico
Fresadora de Arbol	4	1	1	2	3	6	40	Medio
Inyectora HotPlast	4	1	1	1	3	5	20	Bajo

Nota. Los valores de la tabla representan la información obtenida de CASALD INGENIERIAS SAS.

El análisis de la maquinaria destaca que la fresadora CNC y la inyectora Haida son las únicas máquinas que se encuentra en estado crítico según los factores previamente considerados. Esto se debe a su bajo nivel de confiabilidad y a su vital importancia en el proceso ya que no cuenta con un respaldo de funcionamiento debido a que es la única máquina de ese tipo con el que

cuenta la empresa y la dificultad que se tiene para conseguir repuestos causa un gran impacto negativo. Dos máquinas, el torno y la fresa de árbol, se encuentran en estado medio de criticidad. Una planificación de mantenimiento estructurada podría mejorar considerablemente su calificación, hasta llegar a baja similar al de la inyectora HotPlast que por la baja complejidad de sus fallas se pueden resolver de forma rápida y segura.

9.5 Aplicación del AMEF

Es una herramienta que permitirá identificar y prevenir los posibles modos de falla de un equipo o sistema, así como sus efectos y causas. se aplica en el mantenimiento preventivo para mejorar la confiabilidad y disponibilidad de las máquinas con el fin de reducir los costos de reparación y optimizar las actividades de inspección y monitoreo.

En las siguientes tablas se encuentra el desarrollo del AMEF de las cinco máquinas involucradas en el proceso de fabricación de los moldes identificando los potenciales modos de falla que pueden afectar su correcto funcionamiento, mediante los parámetros establecidos en las Tablas 7-9 se da un valor numérico para estimar la gravedad, la frecuencia y detección de cada modo de falla definiendo los valores para calcular el NPR de cada modo de falla dando uso a la Ec.8 se procede a determinar las acciones correctivas o preventivas para eliminar o reducir los modos de falla con mayor NPR, se vuelve asignar los valores de gravedad, frecuencia y de detección con las acciones propuestas. Se realiza el cálculo del NPR nuevamente para distinguir si las acciones fueron efectivas reduciendo el NPR y por tanto el impacto en el proceso productivo, es importante documentar y revisar periódicamente el AMEF, actualizando la información según los cambios que se realicen en las máquinas o el proceso con el objetivo del mejoramiento continuo. En el desarrollo de esta herramienta se evidencio que los principales modos de falla se presentan en componentes como lo son las pastillas de desbaste, suciedad y mangueras que se pueden reducir y corregir con la implementación de un cronograma de actividades de inspección y revisión realizadas por los mismos operarios, logrando disminuir el impacto y la frecuencia de estos modos de falla significativamente reflejándolo en el NPR calculado con la implementación de estas medidas.

En todas las máquinas se categorizaron fallas en el nivel más alto de criticidad siendo la fresadora CNC y la inyectora Haida las que presenta los valores de NPR más elevados debido a la criticidad de las fallas siendo todos mayores a 59 o estando en el límite de 60 esto debido a la

recurrencia de sus fallas y al enorme impacto que generan afectando el desarrollo del proceso productivo como es el caso de la fresadora CNC que no cuenta con una máquina de respaldo que cumpla su misma función, mediante la implementación del AMEF se plantean actividades de calibración, inspección y limpieza que logran disminuir el NPR a valores inferiores a 20 notando de inmediato su mejora, cumpliendo los objetivos planteados del mantenimiento. Por su parte en las otras máquinas se encuentra una falla en el rango de criticidad media debido a que la recurrencia de estas es mucho más baja, pero de igual forma con las acciones planteadas se logra reducir el NPR en la totalidad de las fallas.

En la tabla 17 se evidencia las fallas potenciales de la fresadora CNC como el cambio de pastillas de desbaste, el atascamiento por viruta del CNC y el cambio de mangueras del paso del aire, estas fallas son a causa del inadecuado manejo de las herramientas, la falta de planes de limpieza y las mangueras expuestas a la contaminación de diferentes maquinas se le calculo el NPR para ver en que rango estaba el activo antes de hacerle el AMEF. Se le dio las acciones recomendadas para mejorar su estado y su mantenimiento mejorando sus resultados, sacando al activo de su estado crítico.

Tabla 17.

Ejecución de la metodología AMEF en la Fresadora CNC.

	AMEF		**23/05/2024**
	Maquinaria proceso de fabricación de moldes de inyección		**Vercion: 1**
Máquina: Fresadora CNC			
Falla Potencial	Deficiente en desbaste del material	Atascamiento por viruta del CNC	Falta de fuerza del activo
Efectos potenciales de falla	Mal cambio de pastillas de desbaste	Limitación de movimiento en los ejes	Mal movimiento de los ejes y falta de fuerza
Causas potenciales	Inadecuado manejo de la herramienta, Exceso de uso	Falta de planes de limpieza y manejo de la maquina	Mangueras expuestas al mal ambiente de las instalaciones
Frecuencia	5	5	4
Gravedad	5	4	4
Detección	4	4	4
NPR	100	80	64

Acciones Recomendadas		Utilizacion correcta de la herramienta con todas sus pastillas de desbaste	Utilización de una hoja de ruta de limpieza antes y después de la utilización de la maquina	Recubrimiento de las mangueras/Cambio quincenal de las mismas
Responsable		Operario	Operario	Operario
Resultados	**NF**	3	3	3
	NG	2	3	3
	ND	2	2	2
	NRP	12	18	18

Nota. Tabla del AMEF del activo

En la tabla 18 se evidencia las fallas potenciales de la inyectora Haida como la corrección, la limpieza del tornillo sin fin y el cambio de termoresistencias, estas fallas son a causa del mal montaje de los moldes y desmonte de los mismo, exceso de presión y caída de líquidos en el tornillo sin fin, se le calculo el NPR para ver en que rango estaba el activo antes de hacerle el AMEF. Se le dio las acciones recomendadas para mejorar su estado y su mantenimiento mejorando sus resultados, sacando al activo de su estado crítico.

Tabla 18.

Ejecución de la metodología AMEF en la Inyectora Haida

	AMEF		**23/05/2024**
	Maquinaria proceso de fabricacion de moldes de inyección		**Vercion: 1**
Máquina: Inyectora Haida			
Falla Potencial	Correccion de las guias del cierre	Falta de limpieza del tornillo sin fin	Cambio de termoresitencias
Efectos potenciales de falla	Atascamiento de cierre	Fuga de materias primas	Falta de calor y expulsión del material
Causas potenciales	Mal montaje de los molde y desmonte de los mismos, creación de muescas	Exceso de presión y mal manejo de las termoresistencias	Caída de líquidos y materia prima que expulsa la maquina
Frecuencia	5	5	5
Gravedad	5	4	3
Detección	4	5	4
NPR	100	100	60

Acciones Recomendadas		Utilizacion de grua de desmonte de los moldes, protectores para las guías	Purga de la maquina al finalizar los trabajos diarios y al cambio de materia prima	Ajuste de las resistencias y cambio oportuno de las mismas
Responsable		Jefe de Produccion	Operario	Operario
Resultados	**NF**	3	3	3
	NG	3	3	3
	ND	2	2	2
	NRP	18	18	18

Nota. Tabla del AMEF del activo

En la tabla 19 se evidencia las fallas potenciales de la fresadora de árbol como el cambio de pastillas de desbaste, el atascamiento por viruta del CNC y el ajuste de los engranajes de velocidad, estas fallas son a causa del inadecuado manejo de las herramientas, la falta de planes de limpieza y el desgaste de los dientes de los engranajes, se le calculo el NPR para ver en que

rango estaba el activo antes de hacerle el AMEF. Se le dio las acciones recomendadas para mejorar su estado, aunque no era critico estaba en una posición intermedia sin su mantenimiento, esto mejoro sus resultados, sacando al activo de su estado regular.

Tabla 19.

Ejecución de la metodología AMEF en la Fresadora de Árbol.

	AMEF		**23/05/2024**
	Maquinaria proceso de fabricacion de moldes de inyeccion		**Vercion: 1**
Maquina: Fresadora de Arbol			
Falla Potencial	Cambio de pastillas de desbaste	Atascamiento por viruta del CNC	Ajuste de los engranajes de velocidad
Efectos potenciales de falla	Deficiente en desbaste del material	Limitación de movimiento en los ejes	Limitacion de velocidades
Causas potenciales	Inadecuado manejo de la herramienta, Exceso de uso	Falta de planes de limpieza y manejo de la maquina	Vibración excesiva y desgaste de los dientes de los engranajes
Frecuencia	5	5	4

Gravedad		5	4	4
Detección		4	4	3
NPR		100	80	48
Acciones Recomendadas		Utilizacion correcta de la herramienta con todas sus pastillas de desbaste	Utilización de una hoja de ruta de limpieza antes y después de la utilización de la maquina	Reubicación del activo con soportes extra y manejo de repuestos
Responsable		Operario	Operario	Operario
Resultados	**NF**	3	3	3
	NG	2	3	3
	ND	2	2	2
	NRP	12	18	18

Nota. Tabla del AMEF del activo

En la tabla 20 se evidencia las fallas potenciales del torno paralelo como el ajuste de las correas de trasmisión de potencia, la revisión del carro porta herramientas y la revisión del sistema de refrigeración, estas fallas son a causa del manejo inadecuado de los repuestos, la falta de lubricación de los rodamientos y las fisuras o cortes de las mangueras por la expulsión de viruta del material, se le calculo el NPR para ver en que rango estaba el activo antes de hacerle el AMEF. Se le dio las acciones recomendadas para mejorar su estado y su mantenimiento mejorando sus resultados, este activo no estaba en riesgo ya que sus horas de trabajo son muy bajas sin embargo se optimizo sus actividades de mantenimiento.

Tabla 20.

Ejecución de la metodología AMEF en el torno Paralelo.

	AMEF		**23/05/2024**
	Maquinaria proceso de fabricacion de moldes de inyeccion		**Vercion: 1**
Maquina: Torno paralelo			
Falla Potencial	Ajuste de correas de trasmisión de potencia	Revisión del carro porta herramientas	Revisión del sistema de refrigeración
Efectos potenciales de falla	Parada total de la máquina, freno inadecuado	Limitación de movimiento en el desplazamiento	Sobrecalentamiento de la herramienta, rotura de la misma

Causas potenciales		Manejo inadecuado de los repuestos, falta de stock	Falta de lubricación y revisión de los rodamientos	Cortes en la manguera por la viruta expulsada del material
Frecuencia		5	5	4
Gravedad		4	4	4
Detección		4	4	3
NPR		80	80	48
Acciones Recomendadas		Utilización correcta de la herramienta con todas sus pastillas de desbaste	Utilización de una hoja de ruta de limpieza antes y después de la utilización de la maquina	Implementación de protección en las en las mangueras que distribuyen el refrigerante
Responsable		Operario	Operario	Operario
Resultados	**NF**	3	3	3
	NG	2	3	2
	ND	2	2	2
	NRP	12	18	12

Nota. Tabla del AMEF del activo

En la tabla 21 se evidencia las fallas potenciales de la inyectora HotPlast este activo es el menos critico por sus horas de trabajo sin embargo tiene fallas como la corrección de las guías del cierre, suciedad del tornillo sin fin y el cambio de sus termoresistencias, estas fallas son a causa del mal montaje de los moldes, exceso de presión del tornillo sin fin y exceso de materia prima suministrada, se le calculo el NPR para ver en que rango estaba el activo antes de hacerle el AMEF. Se le dio las acciones recomendadas para mejorar su estado y su mantenimiento mejorando sus resultados, dejándolo en mejores condiciones.

Tabla 21.

Ejecución de la metodología AMEF en la Inyectora HotPlast.

	AMEF		**23/05/2024**
	Maquinaria proceso de fabricación de moldes de inyección		**Vercion: 1**
Máquina: Inyectora HotPlast			
Falla Potencial	Correccion de las guias del cierre	Limpieza del tornillo sin fin	Cambio de termoresitencias
Efectos potenciales de falla	Atascamiento de cierre	Fuga de materias primas	Falta de calor y expulsión del material

Causas potenciales		Mal montaje de los molde y desmonte de los mismos, creacion de muescas	Exceso de presión y mal manejo de las termoresistencias	Caída de líquidos y materia prima que expulsa la maquina
Frecuencia		4	4	4
Gravedad		4	4	3
Detección		4	3	4
NPR		64	48	48
Acciones Recomendadas		Utilizacion de grua de desmonte de los moldes, protectores para las guías	Purga de la maquina al finalizar los trabajos diarios y al cambio de materia prima	Ajuste de las resistencias y cambio oportuno de las mismas
Responsable		Jefe de Produccion	Operario	Operario
Resultados	**NF**	3	3	3
	NG	3	3	3
	ND	2	2	2
	NRP	18	18	18

Nota. Tabla del AMEF del activo

10. PLANEACION DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Con los diferentes métodos y análisis de mantenimiento realizados anteriormente se hizo la planeación del mantenimiento preventivo para cada máquina involucrada en el proceso de fabricación de los moldes de inyección. Esta planificación consideró antecedentes de implementación de planes de mantenimiento en la industria de la metalmecánica, recomendaciones de los manuales de usuario de las máquinas, los recursos humanos, repuestos, dificultad de las intervenciones y disposición de tiempos de producción para optimizar los recursos de la empresa. En el anexo se evidencia la planificación y organización del plan de mantenimiento diseñado a 1 año donde se establecieron las directrices de mantenimiento donde se especifican las tareas que deben realizar, en la tabla 22 se evidencian las diferentes frecuencias diaria, quincenal, mensual, trimestral, semestral o anualmente con el objetivo de optimizar el funcionamiento de las máquinas reduciendo las fallas y eludirlas logrando preservarlas con el fin de alargar su vida útil. Si estas actividades se cumplen el operario o responsable de la máquina debe marcar del color que se le indica en la tabla, si la actividad no se realizó se deja el espacio en blanco.

Tabla 22.

Descripción de los códigos de frecuencia utilizados en la planeación del mantenimiento preventivo

.Código:	Frecuencia:	Descripción:
	Diaria	Son actividades de inspección y limpieza que no necesitan mucho tiempo, pero son ejecutadas al inicio de la jornada laboral por el operario de la máquina se realizan todos los días de operación.
	Quincenal	Son actividades de comprobación, calibración y ajuste que requieren el uso de herramientas especiales y más tiempo de intervención y se desarrollan una única vez quincenalmente por el operario de la máquina.
	Mensual	Son actividades de ajuste más complejas que requieren el desmonte de componentes internos que requieren mayor tiempo de intervención de los operarios para estas labores. Esta frecuencia se puede presentar de forma constante todas los meses.
	Trimestral	Se realizan en intervalos de 3 meses programando en las semanas donde el flujo de producción es bajo se requiere la participación de personal externo para las labores que se realicen de revisiones y ajustes complejos.
	Semestral o Anual	Son ajustes y cambios de componentes que se realizan una vez al año con el objetivo de prevenir que por el desgaste ocurran fallas en operación, estas paradas se programan en las semanas de bajo flujo de producción, sin embargo se pueden adelantar en paradas externas.
	Depende del uso o daño	Son las actividades como los cambios de buril y pastillas que dependen de la intensidad del uso que se les dé, se realizan por parte del operario de la máquina.

Nota. Código de colores para el plan de mantenimiento.

En los siguientes formatos creados para la planificación del mantenimiento se cuenta con un espacio para especificar el estado del desarrollo de la actividad con el fin de consolidar la

información y tener un estricto control del cumplimiento de estas actividades. Se elaboran dos tablas para cada máquina que son las tablas 23 a la 28 y las figuras 12 a la 16 , la primera es para el seguimiento de actividades que consiste en rellenar los cuadros cuando se cumpla con la actividad planteada, además se dejan unos espacios para que el operario si requiere una actividad extra pueda hacerla sin ninguna complicación así se genere un historial de las actividades de mantenimiento y la segunda es para dar seguimiento a las fallas del activo y cuáles son sus componentes críticos, este método detecta cual es el componente que presenta mayor complicación para poder solucionarlo de manera adecuada y sin pérdidas de tiempo.

10.1 Principales actividades del plan de mantenimiento preventivo

Estas tres actividades se desarrollan en la totalidad de las máquinas en diferentes frecuencias de tiempo siendo la base fundamental de la correcta implementación y desarrollo del plan de mantenimiento propuesto.

10.1.1 Inspección

Consiste en la labor de realizar observaciones, pruebas y medidas para detectar posibles fallas o defectos en el funcionamiento de la máquina. También es útil ya que se puede actuar a tiempo corrigiendo o eliminando las condiciones que pueden ocasionar averías o deterioro en la máquina. Sirve para garantizar el correcto funcionamiento de la máquina.

10.1.2 Lubricación

Es una de las actividades más importantes en el mantenimiento de maquinaria y equipos, se basa en aplicar una sustancia sea lubricante, grasa o aceite entre dos superficies en movimiento relativo, con el fin de reducir el rozamiento y el desgaste, y facilitar el funcionamiento, también ayuda a disipar el calor generado por la fricción, a evitar la corrosión y la contaminación, y a sellar las holguras entre las piezas.

10.1.3 Limpieza

Es una actividad fundamental para garantizar el óptimo funcionamiento y la durabilidad de las máquinas y componentes de las mismas. Consiste en eliminar el polvo, la suciedad, el óxido, la viruta del acero y otros residuos que se acumulan en las superficies y pueden afectar al rendimiento o causar fallas. La limpieza del área de trabajo contribuye a mejorar el orden en los procesos de fabricación y la seguridad de los operarios.

10.2 Gráfico del número de paradas y del componente crítico

Esta grafica funciona de tal manera que se identifique cual es el componente critico de cada máquina que causa la parada y con qué frecuencia causa las paradas de la máquina, teniendo un total de 5 fallos por semana si las acciones propuestas por el operario ya sean correctivas o preventivas no funcionan en estos tiempos se hace una para de la maquina por completo con un análisis de cinco porque o espina de pescado para dar con la raíz del problema y una solución óptima para esta máquina con su componente crítico. La idea de la gráfica es bajar el campo de fallas, quitar la parte amarilla y que con solo una falla se sepa que hacer en esos casos y darle optima solución como se muestra en grafica de la inyectora HotPlast que no tiene ese campo amarillo.

Tabla 23.

En la tabla 23 vemos la planificación de actividades de mantenimiento preventivo en la Fresadora CNC

CASALD INGENIERIA	PLANIFICACION ACTIVIDADES DE MANTENIMINETO PREVENTIVO			
	Maquina	Fresadora CNC	**Fecha**	23/05/2024
	Responsable		**Version**	1

Actividad	**Mes**	**Enero**						**Febrero**						**Marzo**							**Abril**						**Mayo**						**Junio**						
	Semana	1	2	Quincenal	3	4	Mensual	1	2	Quincenal	3	4	Mensual	1	2	Quincenal	3	4	Mensual	Trimestral	1	2	Quincenal	3	4	Mensual	1	2	Quincenal	3	4	Mensual	1	2	Quincenal	3	4	Mensual	Trimestral
Limpieza																																							
Lubricacion																																							
Inspeccion																																							
Verificacion de voltaje																																							
Verificacion de Herramientas																																							
Estado del compresor																																							
Revison del CAD/CAM																																							
Ajuste de distancia de los ejes																																							
Reviosn manual y computacional																																							
Revision de mangueras																																							
Revision del refrigerante																																							
Ajuste de las correas de trasmicion																																							
Inspeccion de los engranajes																																							
Revision de las guayas de seguridad																																							
Revision de las paradas de emergencia																																							

Nota. Planeación del mantenimiento del activo

Tabla 24.

En la tabla 24 vemos la planificación de actividades de mantenimiento preventivo en la Inyectora Haida

| | PLANIFICACION ACTIVIDADES DE MANTENIMINETO PREVENTIVO | | |

Tabla 25.

En la tabla 25 vemos la planificación de actividades de mantenimiento preventivo en la Fresadora de Árbol

| | | |

Tabla 26.

En la tabla 26 vemos la planificación de actividades de mantenimiento preventivo en el Torno Paralelo

CASALD INGENIERIA	PLANIFICACION ACTIVIDADES DE MANTENIMINETO PREVENTIVO			
	Maquina	Torno	**Fecha**	23/05/2024
	Responsable		**Version**	1

Actividad	**Mes**	**Enero**						**Febrero**						**Marzo**							**Abril**						**Mayo**						**Junio**						
	Semana	1	2	Quincenal	3	4	Mensual	1	2	Quincenal	3	4	Mensual	1	2	Quincenal	3	4	Mensual	Trimestral	1	2	Quincenal	3	4	Mensual	1	2	Quincenal	3	4	Mensual	1	2	Quincenal	3	4	Mensual	Trimestral
Limpieza																																							
Lubricacion																																							
Inspeccion																																							
Verificacion de voltaje																																							
Verificacion de Herramientas																																							
Estado del compresor																																							
Revison del CAD/CAM																																							
Ajuste de distancia de los ejes																																							
Reviosn manual y computacional																																							
Revision de mangueras																																							
Revision del refrigerante																																							
Ajuste de las correas de trasmicion																																							
Inspeccion de los engranajes																																							
Revision de las guayas de seguridad																																							
Revision de las paradas de emergencia																																							

Nota. Planeación del mantenimiento del activo

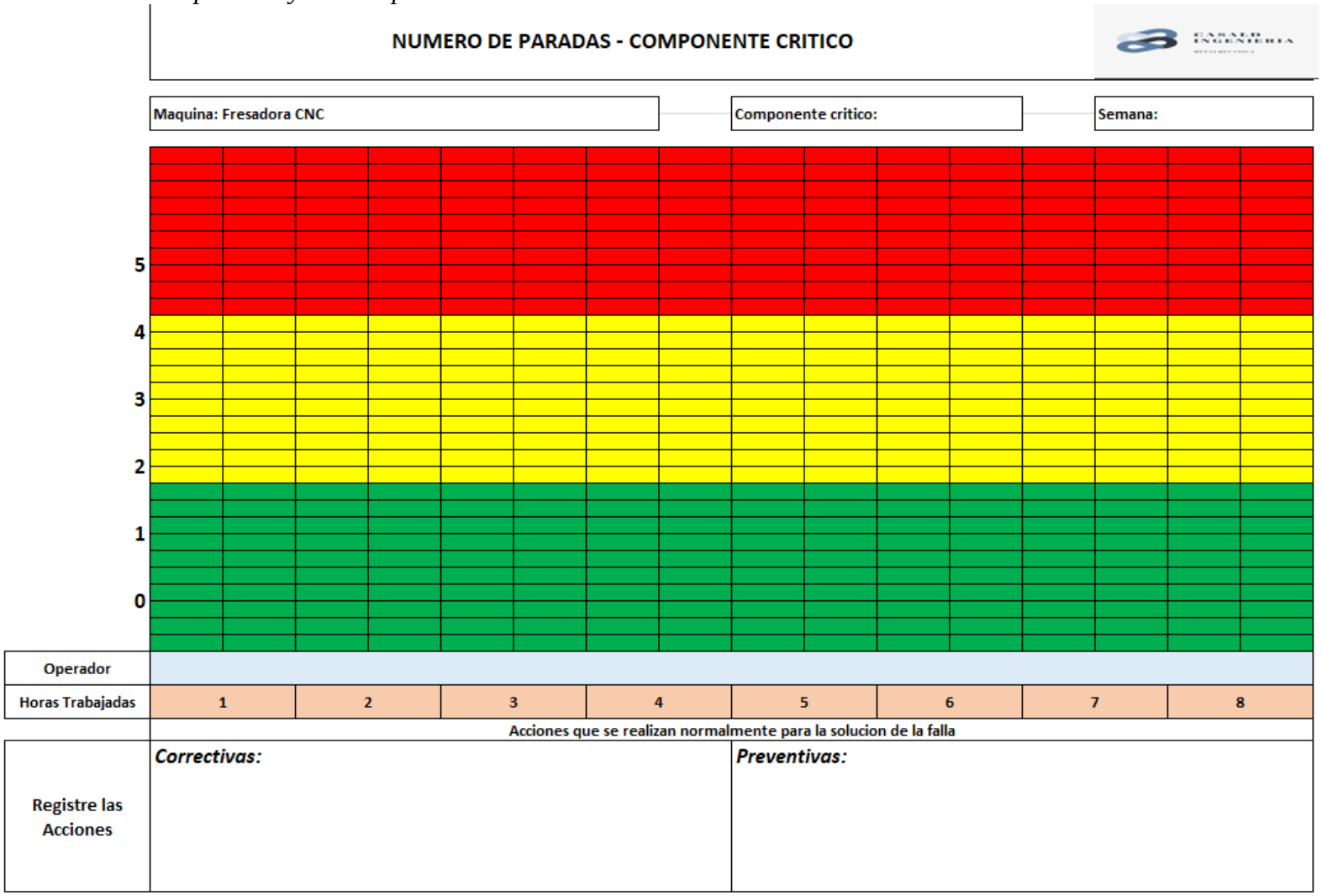
Tabla 27.

En la tabla 27 vemos la planificación de actividades de mantenimiento preventivo en la Inyectora HotPlast

| | | |

Figura 12.

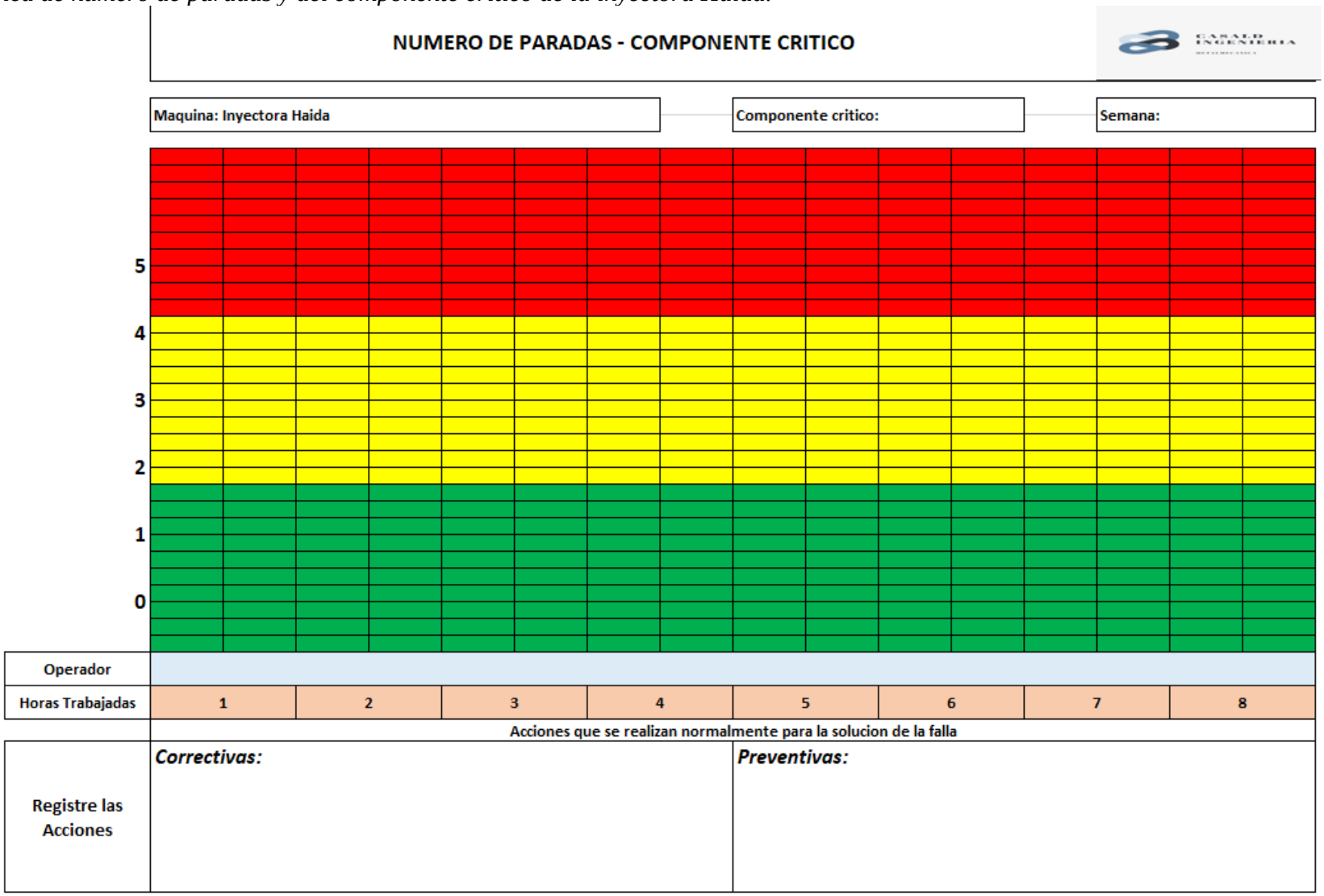
Gráfica de número de paradas y del componente crítico de la Fresadora CNC.



Nota. Gráfico de número de paradas y componente crítico del activo

Figura 13.

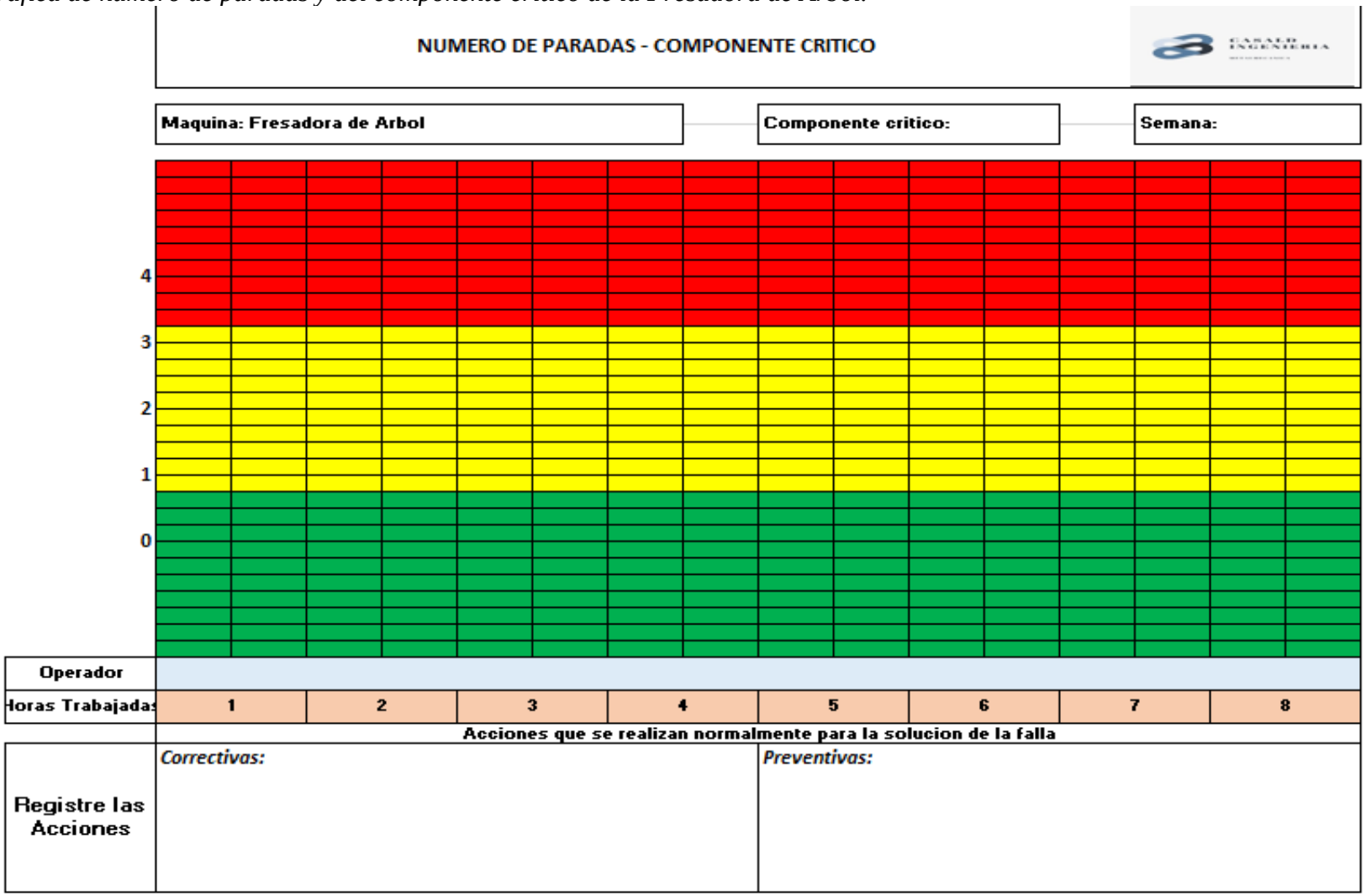
Gráfica de número de paradas y del componente crítico de la inyectora Haida.



Nota. Gráfico de número de paradas y componente crítico del activo

Figura 14.

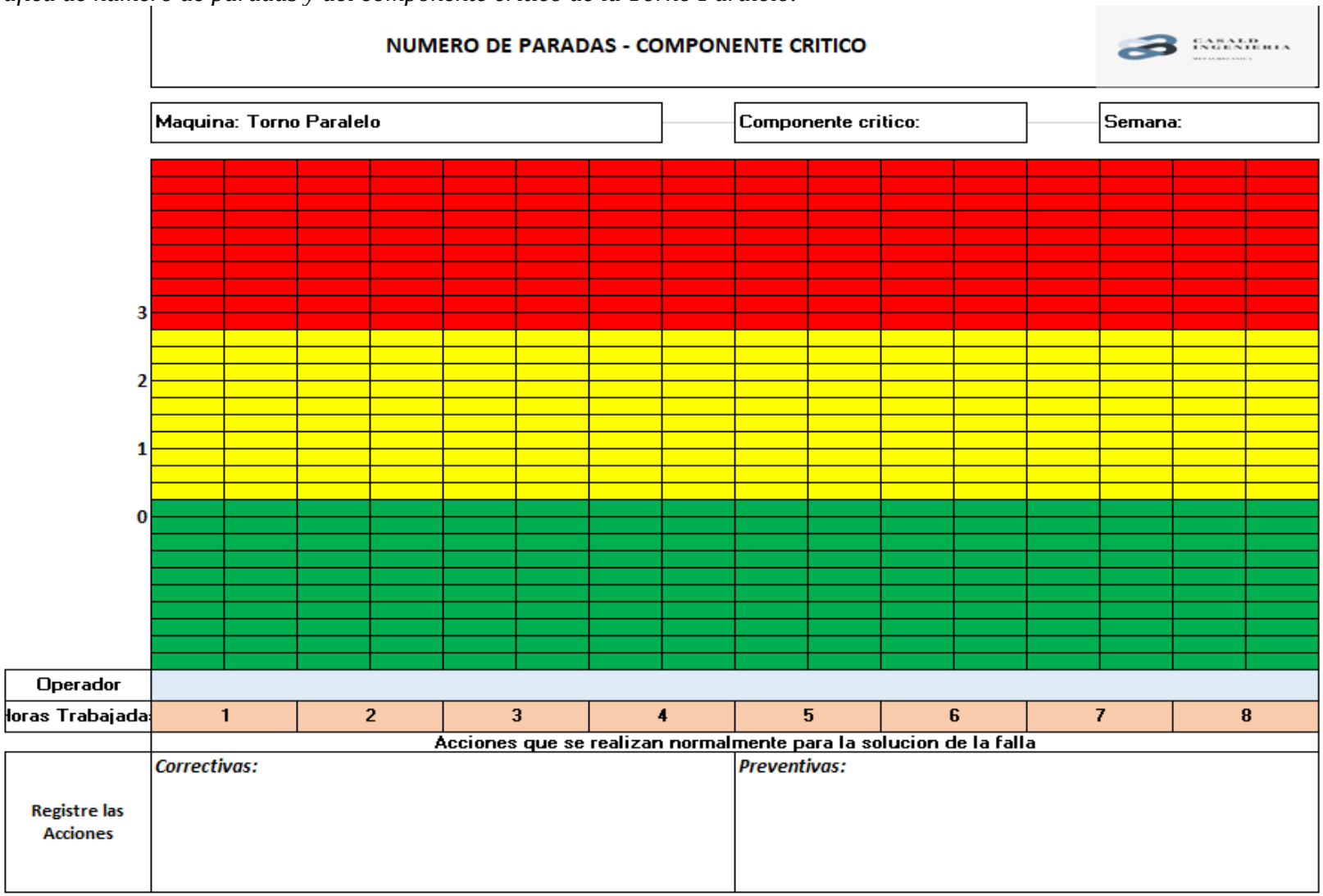
Gráfica de número de paradas y del componente crítico de la Fresadora de Árbol.



Nota. Gráfico de número de paradas y componente crítico del activo

Figura 15.

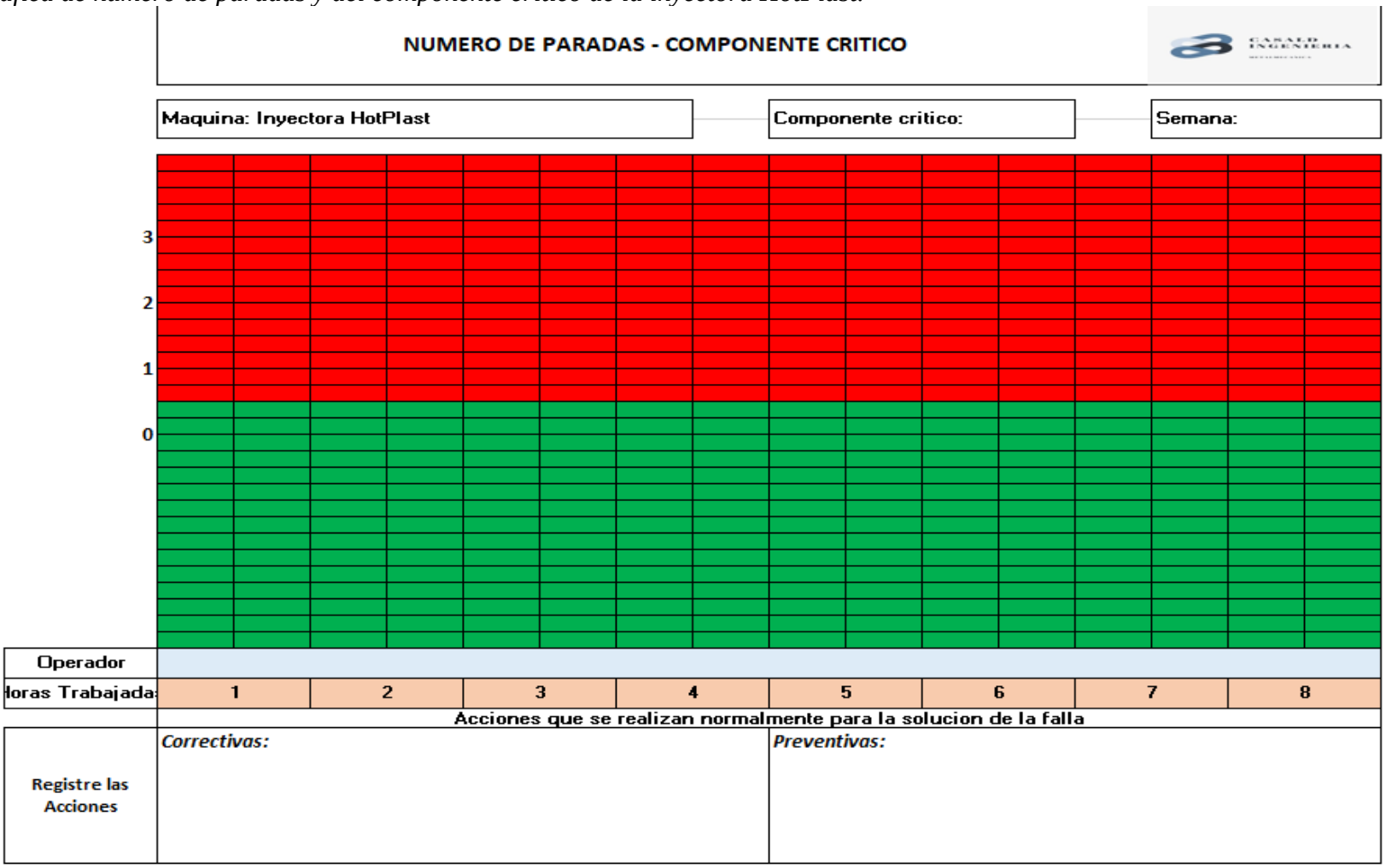
Gráfica de número de paradas y del componente crítico de la Torno Paralelo.



Nota. Gráfico de número de paradas y componente crítico del activo

Figura 16.

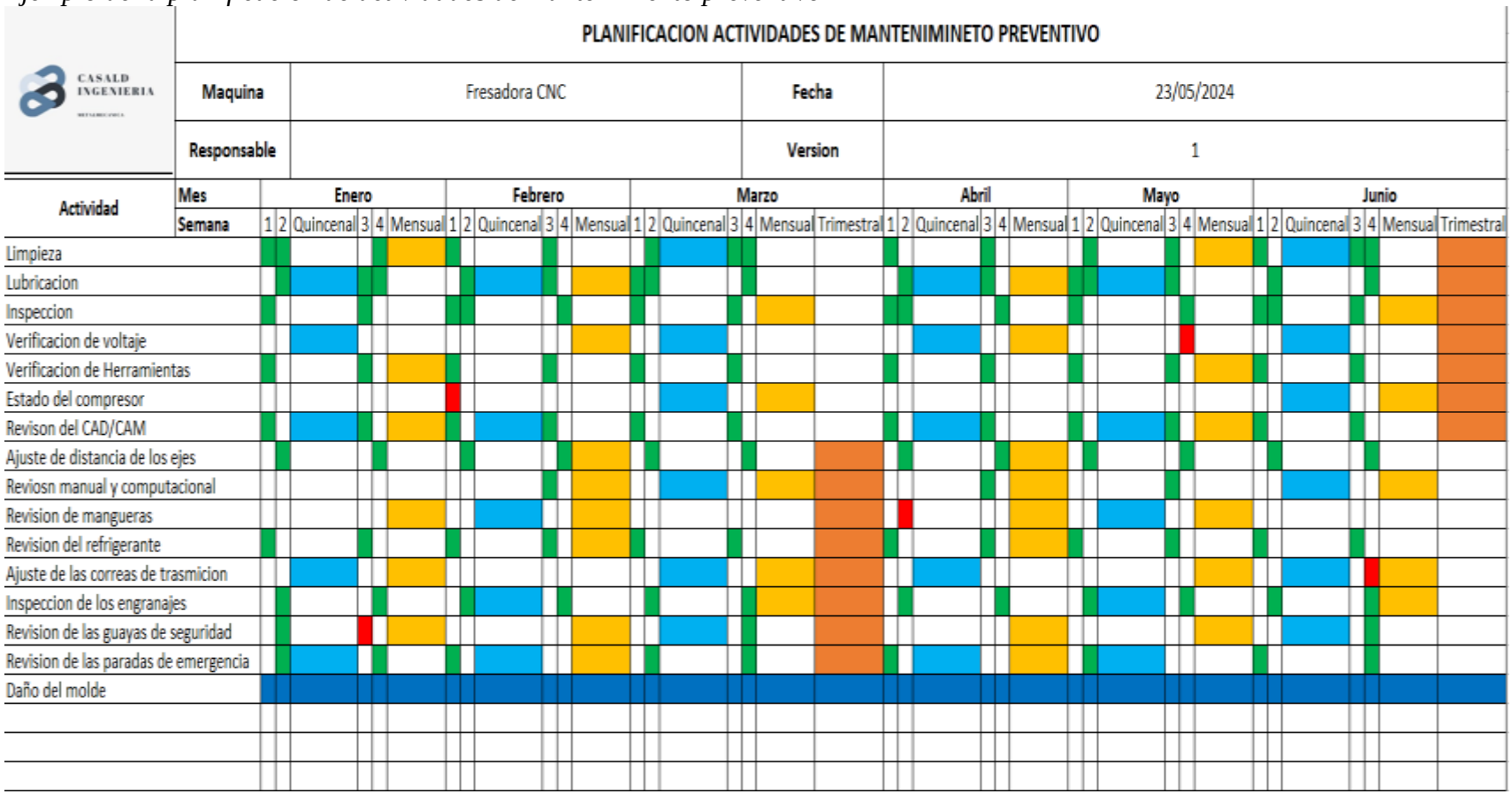
Gráfica de número de paradas y del componente crítico de la inyectora HotPlast.



Nota. Gráfico de número de paradas y componente crítico del activo

Tabla 28.

Ejemplo de la planificación de actividades de mantenimiento preventivo



| | | |

11. CONCLUSIONES

Mediante el diagnóstico y el análisis de la información suministrada por la empresa CASALD INGENIERIAS SAS se logró identificar y caracterizar el funcionamiento de las máquinas utilizadas en el proceso de fabricación de los moldes de inyección reconociendo las fortalezas y debilidades con respecto a las estrategias de mantenimiento implementando mejoras en la recolección de la información como la creación de las gráficas de parada y su componente crítico. Esta información permite plantear estrategias para anticipar y prevenir posibles fallas que interrumpan el proceso productivo, optimizando así la eficiencia y garantizando la calidad en el producto final.

Después de desarrollar la metodología de análisis de modo y efecto de falla (AMEF) en las máquinas utilizadas en el proceso de fabricación de moldes, se obtuvo un análisis funcional de las posibles fallas teniendo en cuenta diferentes factores midiendo su repercusión y criticidad en el proceso productivo siendo las más recurrentes el cambio de pastillas de desbaste, atascamiento por viruta, cambio de mangueras del paso de aire, corrección de las guías de cierre, cambio de termoresistencias y ajuste de correas de trasmisión de las diferentes maquinas.

El diseño del plan de mantenimiento preventivo se fundamentó en adaptarse a la realidad de la empresa y a la capacidad de darle cumplimiento de manera factible teniendo en cuenta factores como el humano, dando así el paso a tener mejores manejos de sus activos, pensando a futuro en tener un stock de repuesto que ayuden a la empresa, en la optimización de tiempos y que los operarios se vuelvan especialistas en sus propias maquinas ya que mediante el uso de la gráfica de paradas y componentes críticos se abre la puerta a que el operario de ideas de mejora continua dándonos sus actividades correctivas y preventivas que elabora en su propia máquina.

Con este plan de mantenimiento se logra prevenir fallas y prolongar la vida útil de las máquinas, también se potencian los procesos de producción al minimizar el tiempo de inactividad ya que las maquinas críticas tienen un porcentaje de 89,32 disponibilidad de la inyectora Haida y la fresadora CNC del 91,32 además, con la asignación de frecuencias de mantenimiento se consigue equilibrar la carga de trabajo y los recursos destinados al mantenimiento ya que por la cantidad de fallas la inyectora Haida con 2,02 de mantenibilidad se lleva todo el tiempo y los recursos que se pueden suministrar a otros activos como por ejemplo a la fresadora CNC que con 1,38 de mantenibilidad no está en riesgo pero sin embargo está llegando a los limites perdiendo su confiabilidad y ganando mantenibilidad.

La empresa garantiza la seguridad y calidad en su producción así como mejorar los indicadores de mantenimiento reduciendo la frecuencia de fallas y alargando la vida útil de sus activos, el desarrollo éxito en los resultados tanto económicos como productivos permitirá a la empresa inclinarse por realizar e implementar un plan de mantenimiento en la totalidad de sus activos, especializando a sus operarios en cada una de estas máquinas guiados a determinar las fallas más críticas esto facilito las acciones correctivas y preventivas más efectivas para la empresa, buscando cada vez mejores soluciones en esta área fundamental del desarrollo industrial.

RECOMENDACIONES

En el presente trabajo se desarrolló y aplicó una metodología para responder a las preguntas de investigación que se plantearon en la primera parte, dicha metodología se basó en el AMEF (Modo y efecto de falla) de casos similares. A pesar de que se lograron o propusieron soluciones para lograr los objetivos planteados, aún queda mucho trabajo por hacer, así como la creación de áreas de mantenimiento que pueden ser explotadas para beneficio de la organización. Independientemente de los planes de mantenimiento y herramientas suministradas que se apliquen en la empresa, no se logrará mejorar el desempeño si no existe un compromiso, voluntad e iniciativa, tanto de la empresa como del trabajador para la elaboración de los diferentes planes de mantenimiento. Lo que aquí se mostró es solo el análisis del mantenimiento y sus beneficios, si se desean soluciones particulares se recomienda profundizar en los temas que fueron desarrollados para obtener el mayor beneficio posible, en los párrafos siguientes se hacen algunas recomendaciones que a juicio del autor podrían tener un impacto positivo en el desarrollo y optimización de los activos de la empresa.

- Llevar a cabo el historial de mantenimiento de los activos, siendo organizados con sus diferentes actividades, fechas en las que se realizó y si se cambió algún componente del activo.

- Si se desea estandarizar un mantenimiento es necesario tener un stock de repuestos del componente que más falla en cada equipo, además de repuestos difíciles de conseguir y repuestos que se necesiten importar.

- Implementar las 5’q (los cinco porqués) en la gráfica de número de paradas y componente crítico para su respectivo análisis en el momento en que la maquina llegue a la parte roja o llegue estar en riesgo.

- Utilizar gráficos de control para analizar el comportamiento de los equipos que se encuentran en la empresa.

- Contar con un registro virtual tanto de los repuestos que se cambian diariamente como de las paradas diarias de cada uno de los componentes.

- Implementar inspecciones especificas en el plan de mantenimiento preventivo como inspecciones visuales, análisis de vibraciones o ensayos no destructivos.

REFERENCIAS

[1] Monvaga, «La Industria Del Acero Y Su Impacto Económico Y Social | Monvaga», Monvaga, 18 De Junio De 2019. Https://Monvaga.Com/Noticias/La-Industria-Del-Acero-Y-Su-Impacto-Economico-Y-Social.

[2] Emaint, «Ventajas Del Mantenimiento Preventivo - Gmao Emaint», Emaint, 17 De Abril De 2023. Https://Www.Emaint.Com/Es/Blog-Advantages-Of-Preventive-Maintenance/.

[3] M. Fujishima, M. Mori, K. Nishimura, M. Takayama, Y. Kato, "Development Of Sensing Interface For Preventive Maintenance Of Machine Tools", En *Procedia Cirp*, Elsevier B.V., 2017, Pp. 796–799. Doi: 10.1016/J.Procir.2016.11.206.

[4] J. R. Aguliar Otero, R. Torres Arcique, Y D. Magaña Jimenéz, "Análisis De Modos De Falla, Efectos Y Criticidad (Amfec) Para La Planeación Del Mantenimiento Empleando Criterios De Riesgo Y Confiabilidad", *Tecnología, Ciencia, Educación*, Vol. 25, Pp. 15–26, 2010, [En Línea]. Disponible En: Https://Www.Redalyc.Org/Articulo.Oa?Id=48215094003

[5] M. C. Zaldívar-Salazar, "El Mantenimiento Técnico: Un Reto Histórico-Lógico En El Perfeccionamiento De La Actividad Gerencial", *Tecnología En Marcha*, Vol. 19, Núm. 1, P. 24, 2006, Consultado: El 15 De Septiembre De 2023. [En Línea]. Disponible En: Https://Revistas.Tec.Ac.Cr/Index.Php/Tec_Marcha/Article/View/21

[6] S. Garcia Garrido, *Ingeniería Del Mantenimiento: Manual Práctico Para La Gestión Eficaz Del Mantenimiento*, Vol. 2. 2009.

[7] F. A. Pérez Rondón, *Conceptos Generales En La Gestión Del Mantenimiento Industrial*. Bucaramanga, Colombia, 2021. Consultado: El 11 De Septiembre De 2022. [En Línea]. Disponible En:Https://Repository.Usta.Edu.Co/Bitstream/Handle/11634/33276/9789588477923.Pdf?Sequenc E=4&Isallowed=Y

[8] A. S. Yeardley, J. O. Ejeh, L. Allen, S. F. Brown, Y J. Cordiner, "Integrating Machine Learning Techniques Into Optimal Maintenance Scheduling", *Comput Chem Eng*, Vol. 166, Oct. 2022, Doi: 10.1016/J.Compchemeng.2022.107958.

[9] R. D. Palmer, *Maintenance Planning And Scheduling Handbook*, 4th Edition. New York: Mcgraw-Hill Education, 2019. [En Línea]. Disponible En: Https://Www.Accessengineeringlibrary.Com/Content/Book/9781260135282

[10] J. V. González Sosa, J. Loyo Quijada, M. Á. López Ontiveros, P. Pérez Montoya, Y A. Cruz Hernández, " Mantenimiento Industrial En MáquinasHerramientas Por Medio De Amfe", *Revista Ingenieria Industrial*, Vol. 17, Núm. 3, Pp. 209–225, Ene. 2019, Doi: 10.22320/S07179103/2018.12.

[11] P. Viveros, R. Stegmaier, F. Kristjanpoller, L. Barbera, Y A. Crespo, "Propuesta De Un Modelo De Gestión De Mantenimiento Y Sus Principales Herramientas De Apoyo Proposal Of A Maintenance Management Model And Its Main Support Tools", 2013.

[12] S. Vilarinho, I. Lopes, Y J. Oliveira, "Preventive Maintenance Decisions Through Maintenance Optimization Models: A Case Study", *Procedia Manuf*, Vol. 11, Pp. 1170–1177, Ene. 2017, Doi: 10.1016/J.Promfg.2017.07.241.

[13] R. Huerta Mendoza, "El Análisis De Criticidad, Una Metodología Para Mejorar La Confiabilidad Operacional", *Ingenieria Mecanica*, Vol. 3, Núm. 4, Pp. 13–19, 2000, Consultado: El 3 De Octubre De 2022. [En Línea]. Disponible En: Https://Ingenieriamecanica.Cujae.Edu.Cu/Index.Php/Revistaim/Article/View/364

[14] R. Medina, B. Atencio, M. Romero, Y R. Castro, "Análisis Estratégico Del Proceso Productivo En El Sector Industrial", *Revista De Ciencias Sociales (Rcs)*, Vol. Viii, Núm. 1,Pp. 135–156, 2002, Consultado: El 2 De Marzo De 2023. [En Línea]. Disponible En: Https://Www.Redalyc.Org/Pdf/280/28080109.Pdf

[15] A. Ortiz Prado, O. Ruiz Cervantes, Y J. A. Ortiz Valera, *Modelado De Procesos De Manufactura*, Vol. Capítulo 1. 2013. Consultado: El 18 De Febrero De 2023. [En Línea]. Disponible En:Http://Www.Ptolomeo.Unam.Mx:8080/Jspui/Bitstream/132.248.52.100/2548/4/04-Mpm-Cap1-Final.Pdf

[16] Jzitoli, «Tipos De Mantenimiento Más Utilizados», Cegid Iberia, 30 De Noviembre De 2023. Https://Www.Cegid.Com/Ib/Es/Blog/Tipos-De-Mantenimiento-Gp/.

[17] Jzitoli, «Tipos De Mantenimiento Más Utilizados», Cegid Iberia, 30 De Noviembre De 2023. Https://Www.Cegid.Com/Ib/Es/Blog/Tipos-De-Mantenimiento-Gp/

[18] Infraspeak Team, "Guía Del Mantenimiento Preventivo", Infraspeak. Consultado: El 4 De Septiembre De 2023. [En Línea]. Disponible En: Https://Blog.Infraspeak.Com/Es/Mantenimiento-Preventivo/#:~:Text=El%20mantenimiento%20preventivo%20consiste%20en,Equipo%20Mantiene%20su%20capacidad%20operativa.

[19] C. S. Arroyo Vaca Y R. F. Obando Quito, "Importancia De La Implementación De Mantenimiento Preventivo En Las Plantas De Producción Para Optimizar Procesos", *E-Idea Journal Of Engineering Science*, Jun. 2022, Doi: 10.53734/Esci.Vol4.Id240.

[20] M. Antoine Talva, "Mantenimiento Preventivo: Todo Lo Que Tienes Que Saber.", Mobility Work.

[21] M. Fernández Sánchez Y L. Shkiliova, "Validación De Un Método Para El Cálculo De Indicadores De Mantenimiento Validation Of A Method For The Calculation Of Maintenance Indicators Reparación Y Tecnología Mecánica Repairing And Mechanical Technological", 2012. Consultado: El 24 De Abril De 2023. [En Línea]. Disponible En: Http://Scielo.Sld.Cu/Pdf/Rcta/V21n4/Rcta12412.Pdf

[22] J. Rosales, "Disponibilidad Y Confiabilidad En El Mantenimiento", Fracttal. Consultado: El 15 De Abril De 2023. [En Línea]. Disponible En: Https://Www.Fracttal.Com/Es/Mantenipedia/Que-Es-La-Confiabilidad-En-El-Mantenimiento-Y- Como-Calcularla#:~:Text=Periodo%20de%20tiempo.,%C2%Bfqu%C3%A9%20es%20la%20disponibilidad%20en%20mantenimiento?,Como%20la%20mantenibilidad%20del%20sistema.

[23] D. H. Mesa Grajales, Y. Ortiz Sánchez, Y M. Pinzón, "La Confiabilidad, La Disponibilidad Y La Mantenibilidad, Disciplinas Modernas Aplicadas Al Mantenimiento", *Scientia Et Technica*, Vol. 1, Núm. 30, Ene. 2006, Consultado: El 19 De Abril De 2023. [En Línea].Disponible En: Https://Revistas.Utp.Edu.Co/Index.Php/Revistaciencia/Article/View/6513/3787

[24] A. Vedan, "Todo Sobre La Matriz De Criticidad", Tractian.

[25] D. Antonio Daquinta-Gradaille, D. Claudio Pérez-Olmo, J. Águila-Gómez, R. Pérez-Reyes, Y E. García-Aragón, “Metodología De Análisis De Criticidad Integral De Las Cosechadoras De Caña De Azúcar Case Ih A Methodology For Integral Critical Analysis Of Sugar Cane Harvesting Machines Case Ih”, *Daquinta*, Vol. 8, Núm. 2, Pp. 55–61, 2018, Doi: 10.13140/Rg.2.2.28326.32325.

[26] M. Y. Cervantes, R. P. Casanova, Y J. Z. Loría, “Aplicabilidad De La Criticidad En El Mantenimiento De Equipos”, *Project Design And Management*, Vol. 1, Núm. 1, Mar. 2019, [En Línea]. Disponible En: Https://Www.Mlsjournals.Com/Project-Design-Management/Article/View/168

[27] S. A. Torres Goyes Y C. G. Rodríguez Borges, “Método Amef: Estrategias Para Su Empleo En El Mantenimiento En Plantas Purificadoras De Agua”, *Polo Del Conocimiento*, Vol. 6, Núm. 59, Pp. 1018–1039, 2021, Doi: 10.23857/Pcv6i6.2801.

[28] S. Pursell, “Cómo Hacer Un Amef Paso A Paso Con Ejemplo”, Hubspot. Consultado: El 19 De Septiembre De 2023. [En Línea]. Disponible En: Https://Blog.Hubspot.Es/Marketing/Amef#Benefi

[29] Lean Solutions, “Amef Análisis De Modo Y Efecto De Falla”. Consultado: El 9 De Diciembre De 2022. [En Línea]. Disponible En: Http://Leansolutions.Co/Conceptos-Lean/Lean- Manufacturing/Amef-Analisis-De-Modo-Y-Efecto-De-Falla/

[30] H. J. Villa Buitrago, “Un Método Para La Definición De Indicadores Clave De Rendimiento Con Base En Objetivos De Mejoramiento”, Universidad Nacional De Colombia, Medellin, Colombia, 2015. Consultado: El 24 De Septiembre De 2023. [En Línea]. Disponible En: Https://Repositorio.Unal.Edu.Co/Bitstream/Handle/Unal/55737/1128277405.2015.Pdf?Sequen Ce=1&Amp;Isallowed=Y

[31] C. L. García, R. A. Astudillo, Y S. G. Criollo Gallardo, “Análisis Del Modo Y Efectos De Fallo (Amef) Para La Empresa Tedasa S.A.”, Criollo Gallardo, Sara Gimabel, Cuenca, 2022. Consultado: El 23 De Septiembre De 2023. [En Línea]. Disponible En: Https://Dspace.Ups.Edu.Ec/Bitstream/123456789/23477/4/Ups-Ct010083.Pdf

[32] C. González, “¿Qué Es El Rcm? Ventajas Y Limitaciones”, Aeromarine. Consultado: El 28 De Septiembre De 2023. [En Línea]. Disponible En: Https://Software.Aeromarine.Es/Rcm-Que- Es-Ventajas-Y-Limitaciones/

[33] O. Campos-López, G. Tolentino-Eslava, M. Toledo-Velázquez, Y R. Tolentino-Eslava, “Metodología De Mantenimiento Centrado En Confiabilidad (Rcm) Considerando Taxonomía De Equipos, Base De Datos Y Criticidad De Efectos”, *Científica*, Vol. 23, Núm. 1, Pp. 51–59, 2019, [En Línea]. Disponible En: Https://Www.Redalyc.Org/Articulo.Oa?Id=61458265006