

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARIA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO EQUIPO LIEBHERR LC120

Trabajo de Titulación para optar al título de
Ingeniero en MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.

Alumno:

Bastian Alejandro Pino Muñoz

Profesor Guía:

Mg. Ing. Carlos Baldi González

2025

RESUMEN

A continuación, el siguiente trabajo de título está compuesto de tres capítulos, dentro de los cuales se emplean herramientas orientadas al mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), con el objetivo de reconocer las acciones óptimas que garantizan la continuidad operativa de los equipos, evitando detenciones imprevistas de la producción en la Empresa HORSE CHILE.

En el primer capítulo consta de identificar la empresa, parte de su historia e información relevante como su ubicación, su enfoque en la industria y los tipos de mantenimiento que se aplican en esta. Asimismo, tras la asignación y enfoque a las “Liebherr LC120” fresadoras creadoras de dientes de los piñones, se empleó el historial de fallas y así se llevó a cabo un gráfico de barras combinado con uno de línea para identificar el equipo más crítico según el número de fallas por tiempo de parada (detención) respectivamente de las unidades que se presentan en la planta, el equipo más crítico identificado fue la “Cre 31”. Además, se da a conocer la descripción y función que cumple el equipo Liebherr LC120 más crítico en la empresa, además de la ubicación en donde este se encuentra dentro de la planta

El siguiente capítulo debido a las fallas ocurrentes y registradas en el historial de fallas, se realizan tres diagramas de Pareto uno de componentes mecánicos, componentes eléctricos/electrónicos y componentes de lubricación respectivamente, logrando identificar los componentes que más inconvenientes presentaron según los tiempos de reparación por número de fallas a través de la regla 80/20. Mediante el uso de las normas ISO 14224, SAE JA1011 y SAE JA012 se lleva a cabo un análisis y una matriz de criticidad para clasificar el/los componentes críticos según valor del IC.

Seguido a esto se describe el componente crítico y se implementa un FMECA para reconocer sus fallas funcionales, modos de falla, efectos de falla, entre otros. Se empleo un diagrama de decisión RCM para evaluar cada falla, determinando las actividades de mantenimiento óptimas para el equipo.

Para finalizar se analiza el plan de mantenimiento actual y se expone la propuesta del plan de mantenimiento enfocado en el Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM). Describiendo sus mejoras, la manera en la que impacta en la disponibilidad del equipo, además de la factibilidad técnica – económica. Por consiguiente, se lleva a cabo

una tabla comparativa para presentar los beneficios que esta propuesta tiene en caso de ser implementada.

INDICE

RESUMEN	2
INTRODUCCIÓN	9
OBJETIVOS	11
General:	11
Específicos:	11
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES DE LA EMPRESA E IDENTIFICACIÓN DEL equipo más crítico.....	12
1.1 ANTECEDENTES DE LA EMPRESA:.....	13
1.2 UBICACIÓN:	14
1.3 PIÑÓN (ENGRANAJE):	14
Función del piñón en la caja de cambios:	14
▪ Ajuste de velocidad:	15
▪ Ajuste de par (torque):	15
Tipos de piñones que componen una caja de cambios:	15
1. Piñones de primera marcha:	15
2. Piñones de marchas intermedias (segunda y tercera):.....	15
3. Piñones de marcha alta (cuarta y quinta):	15
4. Piñón de marcha atrás:	15
1.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN PIÑÓN FIJO Y PIÑÓN LOCO:	16
▪ Piñón loco primera, segunda, tercera, quinta y Piñón loco JR primera, segunda y cuarta:.....	16
▪ Piñón fijo quinta y Piñón Sx tercera, cuarta y quinta:	16
▪ Piñón desplazable ¾:.....	16
1.5 ANTECEDENTES DE PRODUCCIÓN:	17
1.6 DESCRIPCIÓN LINEAMIENTOS ACTUALES DE MANTENIMIENTO:.....	18
Mantenimiento autónomo:	18
Mantenimiento preventivo:	19
1.7 IDENTIFICACIÓN EQUIPO MÁS CRITICO:.....	19

1.8 descripción y aplicación “CRE 31” (IIEBHERR LC120)	21
Lubricación:	21
Neumático:	21
Refrigeración:	21
Sistema CNC:	21
Eléctrico:	21
Electrónico:	21
Extracción de viruta:	22
Seguridad:	22
Monitoreo:	22
Datos Técnicos:	22
Referencia de Plano	23
1.9 ubicación interna “cre 31” (liebherr lc120)	24
CAPÍTULO 2: Identificación cOMPONENTES CRÍTICOS Y DESARROLLO DE ANÁLISIS FMECA	25
2.1 identificación del componente crítico	26
Clasificación de componentes críticos según Valor de ic:	31
2.2 descripción del componente crítico	32
Cargador:	32
2.3 análisis fmeca del componente crítico	33
Definición de función:	33
Fallas funcionales:	33
Modos de falla:	33
Cuantificación del riesgo:	33
• FREC. FALLAS	33
• MTTR	33
• IMP. PROD	33
• COSTOS DIRECTOS POR FALLAS	33
• IMP.SEG	33
• IMP.AMB	34

• RIESGO CUANTITATIVO	34
• RIESGO CUALITATIVO	34
• GRÁFICO	34
Impacto en medio ambiente y seguridad:	34
• Clasificación A:	34
• Clasificación B	34
• Clasificación C:	34
2.4 jerarquización por riesgo de (fmeca) de los modos de falla del componente	36
2.5 definición de actividades de mantenimiento y cuantificación de esfuerzos	36
CAPÍTULO 3: Evaluación técnica y económica del enfoque rcm	41
3.1 Análisis de las recomendaciones rcm	42
• Claridad en las tareas de mantenimiento:	42
• Orientado en prevenir fallas	42
• Optimización de los recursos	42
• Seguridad mejorada	42
• Reducción de costos	42
• Mejora continua	43
3.2 Plan de mantenimiento actual	43
3.3 plan de mantenimiento mejorado	45
3.4 descripción de las mejoras propuestas	47
3.5 Impacto en la disponibilidad	48
3.6 factibilidad técnica – económica	48
Costos del plan de mantenimiento (RCM):	48
3.7 analisis técnico - económico de rentabilidad	54
Conclusión	57
Bibliografía	58
ANEXOS	59
anEXO a: Plan de mantenimiento autónomo HORSE Chile	59

ANEXO B: Plan de mantenimiento preventivo ACTUAL HORSE Chile	59
anexo C: TABLA Diagrama de Pareto componentes mecánicos.....	63
ANEXO D: TABLA Diagrama de Pareto componentes eléctricos/electrónicos	63
ANEXO E: tabla Diagrama de Pareto componentes de lubricación.....	64
ANEXO F: tABLA DETALLADA DE CÁLCULO Índice DE CRITICIDAD	64

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1, Planta HORSE Chile.
Figura 1-2, Vista Satelital Planta HORSE Chile.
Figura 1-3, Datos técnicos Liebherr LC120.
Figura 1-4, Plano referencial Liebherr LC120.
Figura 1-5, Layout Planta Horse Chile.
Figura 2-1, Matriz de criticidad (Frecuencia x Consecuencia)
Figura 2-2, Jerarquización por riesgo.
Figura 2-3, Diagrama de decisión RCM.

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1, General (2021, 2022 y 2023) identificación equipo crítico HORSE Chile

Tabla 2-1, Ponderación de Frecuencias de fallas.

Tabla 2-1, Ponderación de Frecuencias de fallas.

Tabla 2-2, Ponderación de Tiempo de Reparación.

Tabla 2-3, Ponderación de Impacto de Seguridad, Higiene y Ambiente.

Tabla 2-4, Ponderación de Costos de Operación.

Tabla 2-5, Ponderación de Impacto al Funcionamiento.

Tabla 2-6, Índice de Criticidad.

Tabla 2-7, Diagrama SIPOC del proceso.

Tabla 2-8, Análisis FMECA.

Tabla 2-9, Actividades de mantenimiento RCM.

Tabla 3-1, Propuesta plan de mantenimiento mejorado.

Tabla 3-2, Descripción siglas periodicidad.

Tabla 3-3, Implementación del RCM (costos).

Tabla 3-4, Actividad de mantenimiento.

Tabla 3-5, Actividad de mantenimiento

Tabla 3-6, Actividad de mantenimiento

Tabla 3-7, Actividad de mantenimiento

Tabla 3-8, Actividad de mantenimiento

Tabla 3-9, Actividad de mantenimiento

Tabla 3-10, Comparativa de disponibilidad.

Tabla 3-11 Comparativa de plan de mantenimiento.

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1, General (2021, 2022 Y 2023) identificación equipo crítico HORSE Chile.

Gráfico 2-1, Diagrama de Pareto componentes mecánicos, Tiempo de reparación por Número de fallas.

Gráfico 2-2, Diagrama de Pareto componentes eléctricos/electrónicos, Tiempo de reparación por Número de fallas.

Gráfico 2-3, Diagrama de Pareto componentes de lubricación, Tiempo de reparación por Número de fallas.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de título aborda el análisis y la propuesta de un plan de mantenimiento para un equipo primordial dentro de la producción en la empresa HORSE Chile. El equipo Liebherr LC120, utilizado para la creación de dientes de distintos piñones los cuales van ensamblados en cajas de transmisión manual. La cantidad óptima de piñones a realizar es alrededor de 680 piñones en un turno, debido a la ineficiencia del plan de mantenimiento actual esta cantidad no suele alcanzarse, logrando comúnmente un promedio total de 500 piñones por turno aproximadamente.

La relevancia de este equipo radica en su función crítica dentro de la cadena productiva, debido que los piñones producidos son esenciales para garantizar el funcionamiento óptimo de las cajas de cambio para automóviles que se fabrican en la empresa. Este análisis se realiza en el contexto de la creciente necesidad de mejorar la confiabilidad y el rendimiento operativo de los equipos, lo cual es crucial para mantener la competitividad en el sector automotriz.

Desde su fundación en 1969 “Cormecánica (Cmc)”, ha experimentado significativos cambios y avances tecnológicos, desde el año 2023 opera bajo la nueva denominación “HORSE Powertrain Limited”, siendo una empresa de una gran y larga trayectoria en la industria automotriz, especializada en la fabricación de cajas de transmisión manual para marcas Renault para los modelos Logan, Duster, Orosh y Kwid. Este cambio no solo implica una reestructuración del portafolio de productos, sino también una adaptación de los procesos de producción y mantenimiento que aseguran la calidad y durabilidad de los productos fabricados. HORSE CHILE desarrolla una constante adaptación y mejora continua en su tecnología, por ello, todo cambio que pueda presentarse en la industria automotriz, como que la venta de cajas de transmisión automática sea mayor que las cajas de transmisión manual, la propuesta del plan de mantenimiento no se vería afectada debido a que al equipo que se encuentra dirigido, está apto para cualquier cambio ya sea de parámetros, componentes, entre otros.

Uno de los componentes críticos en la producción de cajas de cambio es el piñón, cuya función es fundamental en la transmisión de potencia, control de velocidad y en el par motor (torque). La correcta fabricación de estos componentes es esencial para garantizar el buen funcionamiento de las transmisiones manuales. En este sentido, se hace

imperativo llevar a cabo un exhaustivo análisis del proceso de producción del piñón, así como de los métodos de mantenimiento actuales que se implementan en la planta.

El equipo Liebherr LC120, distribuido en ocho unidades al interior de toda la planta, juega un rol fundamental en la manufactura de diferentes piñones que componen las cajas de transmisión, su desempeño afecta directamente la capacidad de producción de la planta. Estos piñones varían desde los utilizados en la primera marcha, como hasta los empleados para las marchas intermedias. Cada uno de ellos debe cumplir con estrictas especificaciones por normativa de precisión y durabilidad, lo que implica un proceso de producción altamente controlado y automatizado.

A través de un historial de fallas, se busca identificar el equipo más crítico de los ochos que se encuentran dentro de la planta y de igual manera, el componente más propenso a fallas y más crítico, así como las posibles consecuencias de dichas fallas en el rendimiento global de la operación. La propuesta de un plan de mantenimiento basado en la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) se orienta en minimizar los tiempos de inactividad y costos operativos, asegurando así la continuidad del proceso productivo.

Finalmente, si la propuesta se llegara a implementar en la empresa, la evaluación de los beneficios se llevaría a cabo a partir del año que se implementó en adelante. Viéndolo reflejado tanto en términos de seguridad operacional como de confiabilidad del equipo. A través del uso de indicadores claves de rendimiento, tales como, Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) y el Tiempo Medio de Reparación (MTTR), además de la Disponibilidad, los cuales permitirán una mejor comprensión de la efectividad del mantenimiento y su impacto en la producción.

OBJETIVOS

General:

Proponer un plan de mantenimiento mejorado utilizando la Metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), para una creadora de dientes de piñones “Liebherr LC120” más crítica en HORSE Chile, con la finalidad de optimizar la eficiencia operativa y los costos relacionados con la ejecución del mantenimiento.

Específicos:

- Identificar el equipo Liebherr LC120 más crítico de las unidades utilizadas en la empresa, mediante el antecedente de fallas e implementación de indicadores MTTR, MTBF y Disponibilidad.
- Generar un análisis FMECA para los componentes críticos que más impactan en el equipo más crítico, empleando la metodología RCM se propone un plan de actividades de mantenimiento.
- Analizar los beneficios económicos, seguridad operacional y disponibilidad del equipo en caso de ser implementado el plan de mantenimiento propuesto.

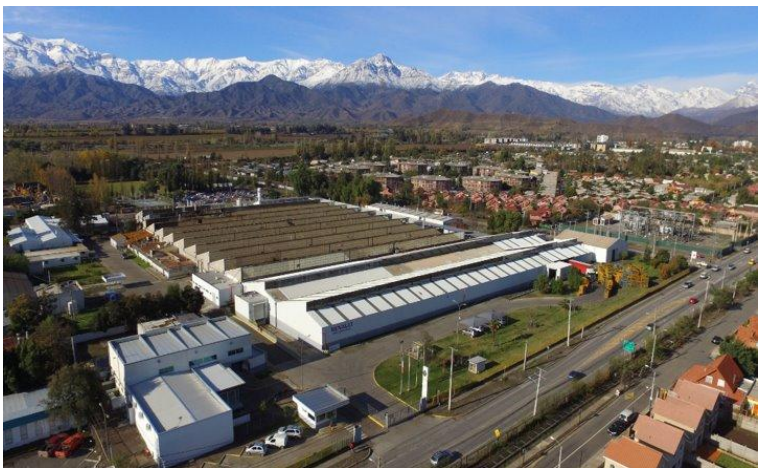
**CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES DE LA EMPRESA E IDENTIFICACIÓN DEL
EQUIPO MÁS CRÍTICO**

1.1 ANTECEDENTES DE LA EMPRESA:

Cormecánica (Cmc) fundada en el año 1969 la cual equivalía 50% CORFO, 25% Peugeot y 25% Renault, es una empresa enfocada en el sector automotriz del país. Dedicada principalmente a la fabricación de cajas de cambio para vehículos de la marca Renault y Peugeot. Esta planta fue rebautizada el 01 de julio 2023 como HORSE tras un esfuerzo conjunto entre Renault, el grupo chino Geely y Aramco, formando una nueva empresa global enfocada en tecnologías de motopropulsión híbrida y motores de combustión interna, llamada HORSE Powertrain Limited.

Esta empresa la cual cuenta con más de 300 empleados se enfoca en la producción de cajas de transmisión manual que se exportan a varios países de Latinoamérica, tales como, Argentina, Brasil, Colombia, México, de igual manera a mercados más lejanos como India y Turquía.

HORSE Chile fábrica modelos de cajas de cambio para vehículos Renault, los cuales son JH (Logan), JR (Duster, Orosh), SG (Kwid) con una producción al año de más de 200.000.

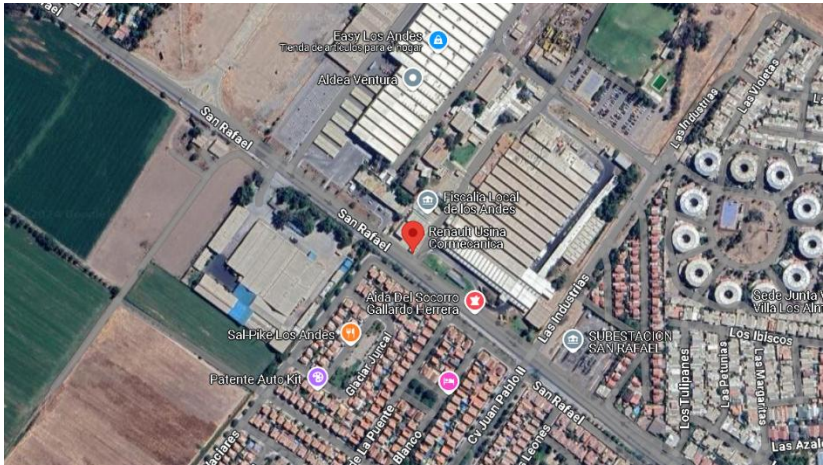


Fuente: Elaboración propia en base a fotografía tomada por la empresa desde un dron.

Figura 1-1, Planta HORSE Chile

1.2 UBICACIÓN:

La planta HORSE CHILE se encuentra ubicada en la quinta región de Valparaíso, específicamente en la calle San Rafael 1769 en la ciudad de Los Andes. Cuenta con una superficie total de 96.000 m² con un espacio construido de 23.190m².



Fuente: Google Maps, elaboración propia

Figura 1-2, Vista Satelital Planta HORSE Chile

1.3 PIÑÓN (ENGRANAJE):

El piñón en una caja de cambios es un componente fundamental en los sistemas de transmisión mecánica, especialmente en vehículos automotores, de igual manera en maquinaria industrial. La caja de transmisión manual es responsable de ajustar la relación entre la velocidad y el par (torque) el cual se transmite desde el motor a las ruedas motrices o partes móviles de una máquina, los piñones son los elementos que permiten este ajuste.

Función del piñón en la caja de cambios:

El piñón de la caja de cambios es uno de los engranajes que se intercalan en una disposición conocida como tren de engranajes. Este tren de engranajes está compuesto por varios piñones de diferentes características (tamaños y número de dientes), cada uno diseñado para una relación específica de transmisión. La función de estos es alterar la

velocidad del eje de salida y el par motor, permitiendo la adaptación de diferentes condiciones de conducción o de operación de una máquina.

- Ajuste de velocidad: Los piñones más grandes o con más cantidad de dientes reducen la velocidad del eje de salida, pero incrementan el torque, siendo ideal para situaciones en las que se requiere fuerza, como al arrancar el vehículo, subir pendientes o transportar cargas pesadas.
- Ajuste de par (torque): Los piñones más pequeños aumentan la velocidad de salida a expensas de la fuerza, siendo óptimo para desplazarse a velocidades más altas en carreteras planas, donde se requiere menos fuerza de tracción.

Tipos de piñones que componen una caja de cambios:

En toda caja de transmisión de vehículos automotores tanto manuales como automáticas, cuentan con un conjunto de diferentes tipos de piñones, de los cuales se encuentran:

1. Piñones de primera marcha: Son los más grandes del conjunto, diseñados para proporcionar un alto par (torque) motor, permitiendo que el vehículo arranque y avance a baja velocidad.
2. Piñones de marchas intermedias (segunda y tercera): Proporcionan una transición suave entre el alto par de la primera marcha y la alta velocidad de las marchas superiores.
3. Piñones de marcha alta (cuarta y quinta): Cuentan con menos dientes y son diseñados para aumentar la velocidad a costa de reducir el par motor. Ideales para circular a velocidades constantes.
4. Piñón de marcha atrás: Permite invertir la dirección de rotación del eje de salida, haciendo posible que el vehículo se desplace hacia atrás. Este piñón a menudo requiere un diseño especial para garantizar que funcione sin problemas bajo distintas cargas.

El diseño de los dientes de los piñones es crucial para su funcionamiento. Dentro de la caja de cambios los que se utilizan son dos tipos de dientes, helicoidales permitiendo una mayor superficie de contacto durante el engranaje, lo que produce una transmisión más suave y silenciosa. Y, por otra parte, los dientes rectos, los cuales son más simples, generando más ruido y vibración en comparación a los helicoidales.

1.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN PIÑÓN FIJO Y PIÑÓN LOCO:

La empresa HORSE Chile cuenta con una cantidad de 8 equipos Liebherr LC120 distribuidas por toda la planta, cada uno de estos equipos enfocados en la creación o formación de los dientes a distintos piñones para los diferentes tipos de cajas de cambios que se fabrican.

- Piñón loco primera, segunda, tercera, quinta y Piñón loco JR primera, segunda y cuarta: Tipo de engranajes utilizados para la primera, segunda, tercera y quinta marcha, de igual manera para la JR primera, segunda y cuarta, se denomina “Piñón loco” porque gira libremente sobre su eje sin estar conectado de manera directa al árbol secundario (eje). Su principal función consiste en transmitir movimiento entre dos piñones o modificar la dirección de giro de un sistema de engranajes, sin afectar la relación de transmisión entre el piñón impulsor y el piñón conducido.
- Piñón fijo quinta y Piñón Sx tercera, cuarta y quinta: Tipo de engranajes que están firmemente unidos a un eje (árbol primario) utilizados para la quinta marcha, de igual manera para Sx tercera, cuarta y quinta lo que significa que gira solidariamente con él. A diferencia de un piñón loco, el cual gira libremente sobre su eje, el piñón fijo transmite directamente el movimiento y la potencia desde el árbol primario al árbol secundario.
- Piñón desplazable $\frac{3}{4}$: Componente que se mueve axialmente a lo largo del árbol secundario para engranar o desengranar con los piñones de tercera y cuarta marcha y así seleccionar una de las dos relaciones de transmisión. Este tipo de piñón es fundamental en las cajas manuales y sincronizadas, ya que permite cambiar de marcha al conectar diferentes juegos de engranajes, adaptando la velocidad y torque enviados a las ruedas.

Los piñones mencionados presentan un procedimiento de fabricación muy similar, el cual comienza con el torneado de las piezas en bruto, de las cuales provienen con una fundición de una empresa externa.

Primeramente, en un torno se realiza el refrentado en la cara trasera, por consiguiente, el operador procede a retirar la pieza e instalarla en un segundo torno, el que se encarga de realizar el refrentado de la cara frontal del piñón.

Una vez acabado el proceso de torneado, el operador ubica la pieza en el equipo Liebherr LC120 el que realizará el proceso de formación de los dientes, este procede colocando el piñón sobre un pallet en la cinta transportadora la cual lleva la pieza al interior de la maquina posicionándola bajo garras, las cuales funcionan hidráulicamente, para ser tomada e insertada en una base (conjunto de agarre o porta pieza). Con ayuda de las pinzas se realiza el ajuste óptimo de la pieza, una vez que se encuentra correctamente sujeta, procede a girar una herramienta de corte que tiene forma de tornillo sin fin, la cual se encuentra a ciertos grados dependiendo del piñón a fabricar. Finalmente, luego de 0,39 cent./min (23,4 segundos aproximadamente) se detiene la herramienta de corte dando fin al proceso de creado de los dientes y enviándolas a las siguientes operaciones de la célula de producción tales como, creado del dentado recto del crabot, entrada de diente en el crabot, chaflan en el dentado helicoidal.

Finalizando su proceso en el último equipo el cual es de afeitado para entregar un diente más detallado y fino, de esta manera se genera una mayor superficie de contacto y de igual manera la disminución de ruido en las marchas.

1.5 ANTECEDENTES DE PRODUCCIÓN:

HORSE Chile ex Cornecánica ha evolucionado a lo largo de los años, adaptándose a los cambios tecnológicos y las exigencias del mercado automotriz. Por ello, esto permitió a la empresa posicionarse como un actor clave en la cadena de suministros de fabricantes automotrices Renault en Chile.

La fabricación de piñones en HORSE Chile se ha visto influenciada por la innovación en materiales y procesos de ingeniería, pasando de técnicas tradicionales a la implementación de maquinaria de alta precisión y automatización. Todos estos avances

han permitido a la empresa mejorar la calidad y durabilidad de sus productos, cumpliendo con los estrictos estándares internacionales que regulan la industria automotriz.

Asimismo, HORSE Chile ha invertido considerablemente en la formación de su personal y en la modernización de sus instalaciones, lo que ha facilitado un aumento en la capacidad de producción, la reducción de tiempos de fabricación y una mayor flexibilidad para adaptarse a las necesidades específicas de sus clientes.

En base a los datos obtenidos de la empresa, mediante la comunicación con el área de producción, HORSE Chile fabrica una cantidad alrededor de 500 piñones promedio por creadora en un turno de 8 horas (día/tarde), por lo que, fabrica alrededor de 21.750 piñones promedio al mes y 261.000 piñones promedio al año.

Esto se debe a que de los 365 días del año le restamos 104 días los cuales corresponden a los días que no se trabajan (sin contar feriados), dándonos así un total de 261 días trabajados al año. Por lo que, si en un día en el cual se aplican dos turnos de 16 horas equivalente a 1000 piñones promedio, se multiplica por los 261 días trabajados al año, da como resultado la cantidad de 261.000 piñones promedio al año. Este valor varía dependiendo la experiencia y velocidad de trabajo de cada operador al manipular las piezas. Si estos equipos trabajaran al 100% la cantidad a fabricar estaría cercana a los 680 piñones promedio por turno de 8 horas.

1.6 DESCRIPCIÓN LINEAMIENTOS ACTUALES DE MANTENIMIENTO:

En la actualidad, el sector de mantenimiento en HORSE Chile utiliza una estrategia de plan de mantenimiento en el que existe la participación tanto de los operadores como del técnico (mecánico), esto se debe a que se realiza una combinación de mantenimientos, preventivos y autónomos, con la finalidad de direccionar hacia el mantenimiento predictivo.

Mantenimiento autónomo: Mantenimiento el cual implica la participación del operador en el cuidado diario tanto personal como el del equipo. Este tipo de mantenimiento incluye actividades en la que los operadores realizan para asegurar que el equipo esté en óptimas condiciones a la hora de colocar en marcha la producción. En HORSE Chile las tareas de mantenimiento autónomo a realizar al equipo Liebherr LC120 son: VER ANEXO A: PLAN DE MANTENIMIENTO AUTÓNOMO HORSE CHILE.

Mantenimiento preventivo: Mantenimiento realizado por los técnicos (mecánicos), es un enfoque sistemático con el objetivo de prevenir fallos en el equipo a través de revisiones periódicas y programadas. En HORSE Chile este mantenimiento para el equipo Liebherr LC120 consiste en: VER ANEXO B: PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO ACTUAL HORSE CHILE.

El proceso de gestión de mantenimiento se regula a través de OT (Órdenes de Trabajo) los cuales llevan un ciclo de principio a fin. Estas OT han sido originadas por fallas imprevistas y por mantenimiento preventivo. Es fundamental en el mantenimiento la realización de checklist mensuales, basado en la experiencia de los técnicos (mecánicos) con el equipo, además de las recomendaciones entregadas por el fabricante.

Cabe destacar que el área de mantenimiento se encuentra en un proceso de implementación de indicadores asociados al mismo, los cuales son MTTR, MTBF, Disponibilidad, etc. No obstante, se trabaja con la disponibilidad de equipos críticos mediante la observación y conocimiento de los mantenedores durante lo que va ocurriendo en el día a día o en cada turno dentro de la empresa. Los indicadores asociados al mantenimiento son evaluados a nivel equipo de cada célula en toda la planta, esto realizado por el departamento de mantenimiento en base a las fallas o averías que se presentan a lo largo del ciclo de vida de cada equipo.

1.7 IDENTIFICACIÓN EQUIPO MÁS CRÍTICO:

Para la identificación del equipo Liebherr LC120 más crítico en HORSE Chile, se utilizó el historial de fallas que presentó cada equipo en años anteriores (2021, 2022 y 2023), con el fin de identificar cuál de los 8 equipos presentes ha sido el que más ha manifestado una frecuencia de fallas, evaluando de igual manera sus tiempos de detención y reparación en estos periodos de tiempo.

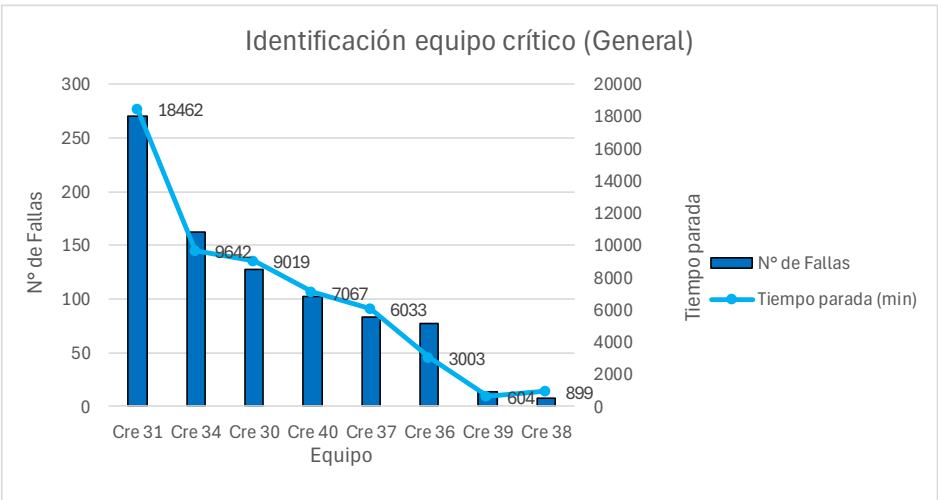
Una vez obtenida cuya información se procede a la implementación de los indicadores (MTTR, MTBF y Disponibilidad), los cuales se obtuvieron mediante el desarrollo de cálculos según sus fórmulas. Luego de haber recaudado toda esta información en una tabla, se complementa con un gráfico de barras combinado con uno de línea, en donde se presenta el nombre de cada equipo, el número de fallas que presenta cada uno y sus tiempos de parada o detención.

Finalmente se presenta la tabla y el gráfico general en el que se incluyen los 3 años (2021, 2022 y 2023), logrando un orden y detalle de cada equipo para la identificación y elección del más crítico.

Tabla 1-1, General (2021, 2022 y 2023) identificación equipo crítico HORSE Chile

General							
Equipo	Piñón	N° de Fallas	Tiempo parada (min)	Tiempo disp.	MTBF	MTTR	Disponibilidad
Cre 31	Loco Tercera	270	18462	243972	835,22	68,38	92,43%
Cre 34	Loco JR 1, 2, 4	162	9642	243972	1446,48	59,52	96,05%
Cre 30	Loco Segunda	127	9019	243972	1850,02	71,02	96,30%
Cre 40	Loco Quinta	102	7067	243972	2322,60	69,28	97,10%
Cre 37	Fijo Sx	83	6033	243972	2866,73	72,69	97,53%
Cre 36	Loco Primera	77	3003	243972	3129,47	39,00	98,77%
Cre 39	Desplazable 3/4	13	604	243972	18720,62	46,46	99,75%
Cre 38	Fijo Quinta	7	899	243972	34724,71	128,43	99,63%

Fuente: Elaboración propia en base a historial de fallas



Fuente: Elaboración propia en base a historial de fallas

Gráfico 1-1, General (2021, 2022 y 2023) identificación equipo crítico HORSE Chile

Al realizar la evaluación de todos los equipos, se identificó que la Liebherr LC120 la cual lleva como nombre “CRE 31”, es el equipo más crítico en este periodo de años, ya que presenta una gran cantidad de fallas y un alto periodo de detención, perjudicando a la empresa en su producción del piñón “Loco Tercera”.

1.8 DESCRIPCIÓN Y APLICACIÓN “CRE 31” (LIEBHERR LC120)

La fresadora Liebherr LC120 es un equipo especializado en el tallado o creado de dientes en piñones, esencial para el sector automotriz donde la precisión y la calidad son fundamentales. En HORSE Chile, este equipo el cual es asignado como “Cre 31” es el encargado de formar los dientes del piñón “Loco Tercera” desempeñando un papel crucial en la producción de estos, otorgando un alto rendimiento y de igual manera asegurando precisión y eficiencia en la creación de cada piñón.

El equipo está compuesto por distintos sistemas que garantizan el funcionamiento óptimo, estos sistemas incluyen:

Lubricación:

Conjunto de componentes y procesos diseñado para reducir la fricción y desgaste entre partes móviles de un equipo o mecanismo.

Neumático:

Conjunto de componentes que utilizan aire comprimido para transmitir y controlar energía.

Refrigeración:

Encargado de mantener la temperatura de operación dentro de los límites óptimos, evitando el sobrecalentamiento y asegurando que los componentes funcionen de manera efectiva.

Sistema CNC:

Permite la programación y automatización de procesos, facilitando ajustes precisos del funcionamiento, mejorando la eficiencia operativa.

Eléctrico:

Conjunto de elementos interconectados que generan, transmiten, distribuyen y utilizan energía eléctrica.

Electrónico:

Conjunto de componentes interconectados que utilizan señales eléctricas para procesar, almacenar y transmitir información.

Extracción de viruta:

Equipos diseñados y encargados para la extracción de viruta generada en el proceso de mecanizado, asegurando limpieza y un óptimo trabajo.

Seguridad:

Incorpora diversas medidas de seguridad para proteger tanto al operador como al equipo.

Monitoreo:

Permite supervisar el rendimiento del equipo en tiempo real, facilitando el diagnóstico de problemas y la optimización de procesos.

Datos Técnicos:

Tensión de alimentación	Tensión:	400 V +/-10 %
	Frecuencia:	50 Hz +/- 2%
	Tipo de red:	TN-C
	Transformador previo:	sin transformador
	Tipo de mecanizado:	mojado
Mecanizado	Tipo de material:	magnético
Nivel de ruido	Nivel sonoro máx. Leq en el puesto de operación:	80 dB(A)
Temperatura ambiente	Gama de temperatura:	12 - 45 °C
Sistema neumático	Presión de servicio:	6 bar
Refrigeración de la máquina	Variante de refrigeración:	específico de la máquina
Tecnología de control y accionamiento	Fabricante/tipo:	Siemens 840D sl
Fresadora por generación LC 120	min. Achsabstand:	10 mm
	Distancia de eje máx.:	200 mm
	Peso (según el modelo) aprox.:	9500 kg
	Velocidad radial máx.:	5000 mm/min
	Diámetro máx. de la pieza:	125 mm
Bancada de la máquina	Cantidad de agente refrigerante en la bancada de la máquina aprox.:	500 l
Mesa de la máquina	Número máx. de revoluciones:	250 1/min
Tablero de la mesa	Diámetro del tablero de la mesa:	145 mm
Montante de la máquina	Recorrido axial:	250 mm
Dispositivo de giro del cabezal portafresa	Velocidad máx. de giro:	18 °/s
	max. Ángulo de giro mit FK 1.2:	+/- 45 °
Cabezal portafresa	Potencia motriz:	15 kW
	Número máx. de revoluciones:	1500 1/min
	Diámetro máx. de la herramienta:	90 mm
	max. Longitud dentada de la herramienta:	200 mm
	Módulo máx fresado por generación:	3 mm
	Módulo máx. Fresado de perfil:	5 mm
	Velocidad tangencial máx.:	5000 mm/min
	Recorrido tangencial máx.:	180 mm
	Recorrido axial:	300 mm
	Velocidad máx. del contramontante:	30000 mm/min
Contramontante	Fuerza de apriete máx. del contramontante:	13 kN

Pinza paralela	Peso máx. de la pieza (en unión positiva):	15 kg
	Longitud máx. de la pieza:	400 mm
Grupo adicional sistema hidráulico, lubricación por circulación	Presión de servicio máx.:	70 bar
	Caudal de la bomba:	25 l/min
Lubricación dosificada	Denominación del aceite:	HLP46
	Volumen de aceite en el recipiente aprox.:	116 l
	Lubricante:	Aceite
	Denominación del aceite:	CGLP68
Sistema de refrigerante; aceite refrigerante	Volumen de aceite en el recipiente aprox.:	3 l
	Fluido:	Aceite

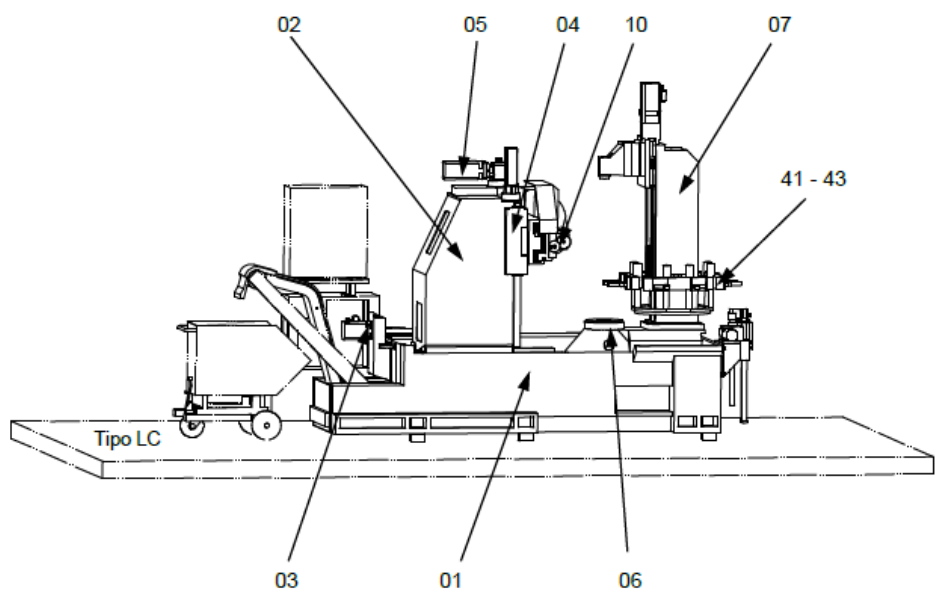
Fuente: Manual de instrucciones de servicio del equipo

Figura 1-3, Datos técnicos Liebherr LC120

Referencia de Plano

- 01 Bancada
- 02 Columna
- 03 Mecanismo de avance radial
- 04 Carro axial
- 05 Mecanismo de avance axial
- 06 Base de la maquina
- 07 Contramontante
- 10 Cabezal de mecanizado
- 41 - 43 Automación

Esta lista también contiene los módulos principales opcionales.



Fuente: Manual del equipo

Figura 1-4, Plano referencial Liebherr LC120

1.9 UBICACIÓN INTERNA “CRE 31” (LIEBHERR LC120)

Los mantenedores contienen un documento Layout, en el cual se proyecta la distribución de las distintas células, cada zona o célula se fabrican distintos componentes que confeccionan una caja de cambios de transmisión manual.



Fuente: Elaboración Horse Chile

Figura 1-5, Layout Planta Horse Chile

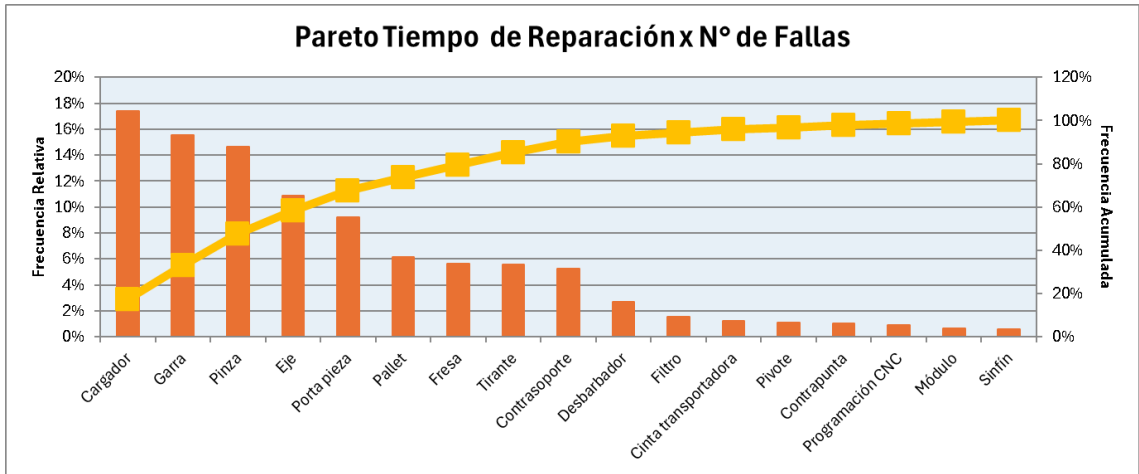
Las flechas rojas indican el ingreso a la planta desde la entrada principal, por lo que se identifica que el equipo más crítico antes identificado, el cual lleva como nombre “Cre 31”, se encuentra en la célula donde se fabrica el piñón loco blanco 3.

**CAPÍTULO 2: IDENTIFICACIÓN COMPONENTES CRÍTICOS Y
DESARROLLO DE ANÁLISIS FMECA**

2.1 IDENTIFICACIÓN DEL COMPONENTE CRÍTICO

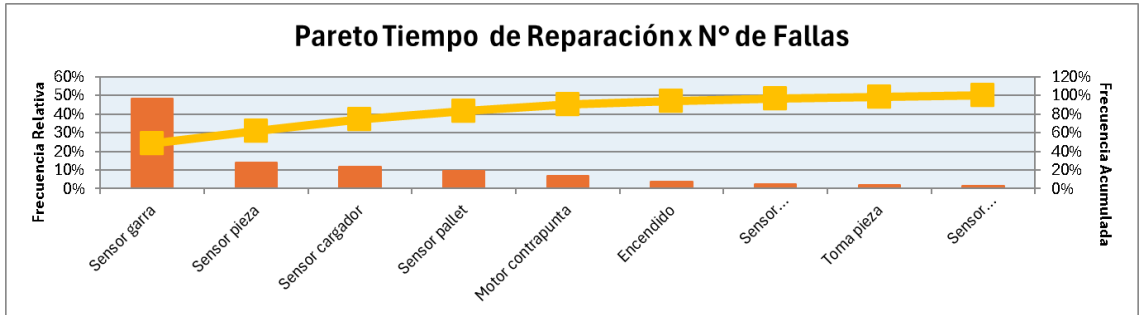
Previamente se realiza un Diagrama de Pareto (VER “ANEXO C, D, E” PARA TABLA DE DATOS) que representa los Tiempos de Reparación por Número de Fallas, este está conformado por todos los componentes del equipo “Cre 31” que presentaron fallas durante los años 2021, 2022 y 2023. Mediante el uso de la regla 80/20 se obtienen una serie de componentes los cuales son los que más inconvenientes manifestaron según el sistema al que pertenece cada uno.

Gráfico 2-1, Diagrama de Pareto componentes mecánicos, Tiempo de reparación por Número de fallas.



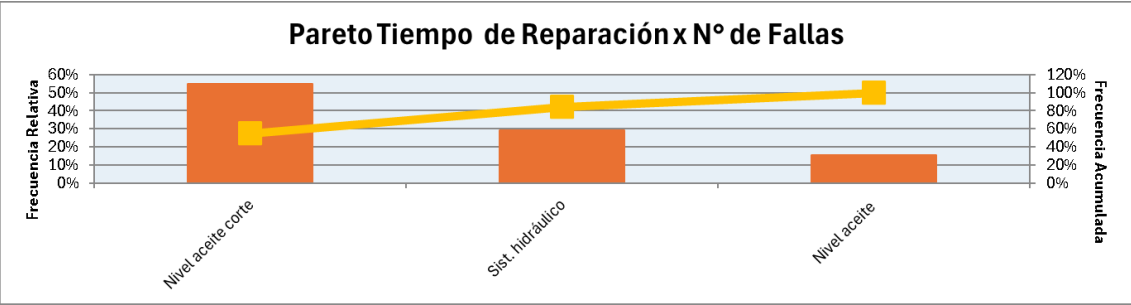
Fuente: Elaboración propia en base a historial de fallas

Gráfico 2-2, Diagrama de Pareto componentes eléctricos/electrónicos, Tiempo de reparación por Número de fallas.



Fuente: Elaboración propia en base a historial de fallas

Gráfico 2-3, Diagrama de Pareto componentes de lubricación, Tiempo de reparación por Número de fallas.



Fuente: Elaboración propia en base a historial de fallas

Una vez identificados “los componentes que presentaron más inconvenientes” (Cargador, Garra, Pinza, Eje, Porta pieza, Pallet, Fresa, Tirante, Sensor garra, Sensor pieza, Sensor cargador, Sensor pallet, Aceite de corte, Sistema hidráulico, Equipo de frío y Extractor de viruta) mediante las normas ISO 14224, SAE JA1011 y SAE JA1012 se lleva a cabo un análisis de criticidad con el objetivo de reconocer “el/los componentes más críticos” siendo así un estudio más específico y detallado (esto solicitado por la empresa para lograr identificar de manera más precisa el/los componentes que más problemas presentaron), evaluando la frecuencia de falla por su consecuencia, a través del historial de fallas. Mediante una reunión realizada junto a un grupo de técnicos encargados del mantenimiento en la planta, se obtuvieron resultados de los cuales se jerarquizan los componentes anteriormente mencionados del equipo Liebherr LC120, utilizando la cuantificación de un índice de criticidad “IC”, a partir de la ecuación y ponderaciones de las respuestas obtenidas por los técnicos, según las siguientes tablas.

Ecuación 2.1, Índice de criticidad = Frecuencia de Fallas x Consecuencia de las Fallas.

$$IC = FF \times CF$$

Ecuación: Índice de criticidad

Tabla 2-1, Ponderación de Frecuencia de fallas

Frecuencia de Fallas (FF)	Valor
¿Qué tan frecuente son las fallas del componente?	
Menor o igual a 1 por año	1
Entre 2 y 12 por año	2
Entre 13 y 52 por año	3
Más de 52 por año (Más de una por semana)	4

Fuente: Elaboración propia, sistema de evaluación de confiabilidad de componentes críticos en la industria.

La Consecuencia de las Fallas (CF), se determina a partir de la suma del Tiempo de Reparación (TR) más el Impacto Seguridad, Higiene y Ambiente (ISHA) más el Costos de Reparación (CR) más el Impacto al Funcionamiento (IF). Obteniendo finalmente el valor “IC” mediante el uso de la siguiente ecuación.

$$IC = FF \times (TR + ISHA + CR + IF)$$

Ecuación: Índice de criticidad

Tiempo de Reparación (TR), tiempo promedio utilizado para reparar la falla, considerado desde que el componente falla provocando la detención del equipo hasta que este es reparado o reemplazado, habilitando nuevamente el óptimo funcionamiento.

Tabla 2-2, Ponderación de Tiempo de Reparación

Tiempo de Reparación (TR)	Valor
¿Cuánto tiempo promedio tarda en reparar la falla del equipo?	
Menor a 1 hora	1
Igual o mayor a 1 hora y menor 3 horas	2
Igual o mayor a 3 horas y menor 5 horas	3
Mayor a 5 horas	4

Fuente: Elaboración propia, sistema de evaluación de confiabilidad de componentes críticos en la industria.

Impacto de Seguridad, Higiene y Ambiente (ISHA), impacto que genera tanto en el personal como en el medio ambiente, considerado en base a la gravedad que se puede presentar al fallar, reparar o reemplazar el componente dañado.

Tabla 2-3, Ponderación de Impacto de Seguridad, Higiene y Ambiente

Impacto SHA (ISHA)	Valor
¿De qué manera impacta en la seguridad, higiene y ambiente?	
No existen accidentes laborales ni daños al medio ambiente	1
Accidentes leves con daños menores	2
Daño reversible al medio ambiente o accidente con daños graves	3
Daño irreparable al medio ambiente o accidente mortal	4

Fuente: Elaboración propia, sistema de evaluación de confiabilidad de componentes críticos en la industria.

Costo de Operación (CO), costo promedio por falla a la producción anualmente, necesario para evaluar el impacto económico en la producción.

Tabla 2-4, Ponderación de Costos de Operación

Costos de Operación (CO)	Valor
¿Cuál es el costo de pérdida anual por mantenimiento del componente?	
Menos de \$1.000.000	1
Entre \$1.000.000 y \$5.000.000	2
Entre \$5.000.001 y \$.9.000.000	3
Más de \$9.000.000	4

Fuente: Elaboración propia, sistema de evaluación económico de componentes críticos en la industria.

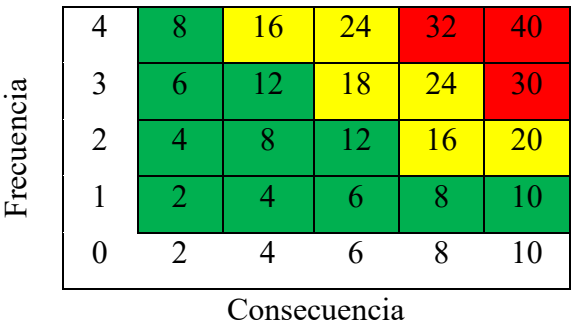
Impacto al Funcionamiento (IF), impacto en el funcionamiento del equipo cuando se genera la falla del componente, logrando evaluar si el equipo puede seguir funcionando a pesar de la falla que se presentó.

Tabla 2-5, Ponderación de Impacto al Funcionamiento

Impacto al Funcionamiento (IF)	Valor
¿La falla del componente impacta el funcionamiento del equipo?	
No impacta	1
Impacto parcial	2
Impacto total	3

Fuente: Elaboración propia, sistema de evaluación de confiabilidad de componentes críticos en la industria.

Adquirido el valor del Índice de Criticidad de cada componente del equipo. De acuerdo con la matriz de criticidad, se realiza una clasificación de **alta criticidad** entre (29-40), **media criticidad** entre (13-28) y **baja criticidad** entre (0-12).



Fuente: Elaboración propia, sistema de evaluación de confiabilidad de equipos críticos en sector industrial

Figura 2-1, Matriz de criticidad (Frecuencia x Consecuencia)

Clasificación de componentes críticos según Valor de ic:

Se identificaron los componentes críticos, reconociéndolos de manera más específica y detallada, para ello, se calculó el Índice de Criticad para cada componente, procediendo a clasificarlos como de alta, media o baja criticidad, como se muestra a continuación. VER “ ANEXO F ” PARA LA TABLA DETALLADA.

Tabla 2-6, Índice de Criticidad

Componente Crítico	IC	Criticidad
Cargador	33	
Garra	27	
Pinza	27	
Porta pieza	24	
Eje	22	
Fresa	20	
Sensor garra	20	
Pallet	18	
Tirante	16	
Sensor pieza	16	
Sensor cargador	16	
Sensor pallet	16	
Equipo de frio	16	
Extractor	16	
Nivel aceite corte	12	
Sist. hidráulico	8	

Fuente: Elaboración propia

Una vez determinado el grado de criticidad, se obtiene que el componente más crítico que presenta el equipo “Cre 31” (Liebherr LC120) es el “Cargador”. Presentando un alto valor de IC, es por ello, por lo que la utilización del RCM será enfocado en dicho componente.

2.2 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE CRÍTICO

Cargador:

Componente donde se ubica el mecanismo encargado de sujetar y trasladar mediante una rotación de 180° el piñón loco de tercera con un trabajo previo de mecanizado, desde el pallet hacia la porta pieza, con el objetivo de ubicar el piñón en el lugar correspondiente para comenzar con la operación de creado de sus dientes.

Tabla 2-7, Diagrama SIPOC del proceso

Proveedores	Entrada	Proceso	Salida	Cliente
Proceso de Torneado	El piñon sobre un pallet en la cinta transportadora en dirección hacia las garras	El cargador toma el piñón y rota 180° ubicandolo desde el pallet hacia la porta pieza y viceversa	El piñón con sus dientes creados sobre un pallet en la cinta transportadora finalizando el proceso	Continuación de operación creado del dentado recto del crabot en una talladora

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se describe las etapas de creación de los dientes del piñón:

Proveedores (Proceso de torneado): Proceso del cual proviene el piñón antes de ingresar a la Liebherr LC120, en el que se realiza el torneado en ambas caras para proceder a la creación de los dientes.

Entrada: El piñón el cual está ubicado sobre un pallet, es trasladado a través de una cinta transportadora hacia el sector en donde es tomado por las garras.

Proceso: Las garras toman el piñón, el cargador rota 180° ingresando al interior del equipo ubicándolo sobre las pinzas encargadas de la sujeción óptima para proceder a la creación de los dientes.

Salida: Finalizado el proceso de creado de dientes, el piñón es insertado nuevamente por las garras sobre un pallet realizando el mismo procedimiento mencionado.

Cliente: A través de la cinta transportadora es dirigido hacia la siguiente operación donde se crea el dentado recto del crabot en una talladora.

2.3 ANÁLISIS FMECA DEL COMPONENTE CRÍTICO

Definición de función:

Una función consiste en el propósito o el rol que algo desempeña dentro de un sistema o proceso.

Fallas funcionales:

Una falla funcional es un tipo de fallo en un sistema o proceso que afecta su capacidad total o parcial para operar correctamente.

Modos de falla:

Un modo de falla se refiere a la manera en que un sistema, componente o proceso puede fallar. Es un concepto clave ya que ayuda a identificar, analizar y prevenir fallas en sistemas complejos.

- De acuerdo con el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad “Causa de cada falla funcional”.

Cuantificación del riesgo:

Proceso de evaluar y medir el nivel de riesgo asociado con una situación, decisión o actividad. Este proceso implica identificar los riesgos, evaluar su probabilidad de ocurrencia y determinar el impacto que tendrían en caso de que se materialicen.

- FREC. FALLAS: Frecuencia anual.
- MTTR: Incluye tiempo logístico, de ejecución y puesta en marcha (todo aquel tiempo que no se encuentra operativo).
- IMP. PROD: Costos de ineficiencia por hora (pérdida de costos por producción).
- COSTOS DIRECTOS POR FALLAS: Costos de reparar la falla (hh, insumos, repuestos, logística, confinamiento, etc.).
- IMP.SEG: Clasificación A, B, C.

- IMP.AMB: Clasificación A, B, C.
- RIESGO CUANTITATIVO: $FREC. FALLAS \times (MTTR \times IMP. PROD + COSTOS DIRECTOS POR FALLAS)$.
- RIESGO CUALITATIVO: Cualificación del riesgo ($IMP. SEG, IMP. AMB$).
- GRÁFICO: Cuantificación de riesgo cualitativo.

Impacto en medio ambiente y seguridad:

- Clasificación A: Alto impacto en ambiente o seguridad ante la ocurrencia del modo de falla.
- Clasificación B: Medio impacto en ambiente o seguridad ante la ocurrencia del modo de falla.
- Clasificación C: Bajo impacto en ambiente o seguridad ante la ocurrencia del modo de fallo.

Clasificación A-A: Riesgo Máximo.

Clasificación A-C, A-B o B-A: Riesgo Medio.

Clasificación B-C o C-C: Riesgo Mínimo.

Tabla 2-8, Análisis FMECA

Componente crítico	#	Descripción de la Función	#	Falla Funcional	#	Modo de Falla	Efecto Falla	FREC FALL AS	MTTR (LOG-EJEC-P EN MARCHA)	IMP. PROD. CLP/hr	COSTOS DIRECTOS POR FALLA CLP/falla	IMP SEG	IMP AMB	RIESGO CUANTITATIVO CLP/año	RIESGO CUALITATIVO	RIESGO ECONOMICO	GRÁFICO
Cargador	1	Encargado de cargar el piñón y rotar a 180° ubicándolo desde el pallet hacia la porta pieza y viceversa	1.1	No ejecuta la carga y desplazamiento del piñón	1.1.1	Sensor infrarrojo de presencia del piñón dañado	Evidente/ No Evidente: Si Descripción del Evento: El sensor infrarrojo de presencia del piñón se encuentra dañado, generando que el cargador no detecte la pieza por lo que no la carga y no realiza el desplazamiento hacia el porta pieza. Efecto: Detención de manera inmediata de la creadora al no detectar el piñón, provocando pérdidas en los costos de producción. Detección: Alarma y daños en el sensor.	2	1,4	\$ 289.297	\$ 612.832	A	C	\$ 2.050.161	AC	3,00	ZONA ROJA
					1.1.2	Sinfin garra fuera de posición	Evidente/ No Evidente: Si Descripción del Evento: El sinfin garra se encuentra fuera de posición ocurriendo que se supere el límite de abertura. Efecto: El sinfin garra no vuelve a su posición original, por lo que el ajuste de sujeción no es el correcto para el piñón. Detección: Alarma y soltura del piñón.	1	1,4	\$ 289.297	\$ 428.082	B	C	\$ 840.330	BC	2,00	ZONA VERDE
					1.1.3	Pallet en mal estado	Evidente/ No Evidente: Si Descripción del Evento: Insertar un piñón sobre un pallet dañado, presenta una torsión por lo que al momento de ser cargado no tiene la sujeción correcta y no es detectado por los sensores. Efecto: Detención de la creadora, por posible caída del piñón o por no ser detectado por los sensores. Detección: Alarma por no detección del piñón o caída de este.	1	1,4	\$ 289.297	\$ 468.082	C	C	\$ 880.330	CC	2,00	ZONA VERDE
			1.2	No realiza la rotación y cambio de piñón	1.2.1	Sensor de posición del cargador en mal estado	Evidente/ No Evidente: Si Descripción del Evento: El mal estado del sensor de posición, provoca que no se detecte la posición del cargador, por lo que el ciclo de creado de dientes, se detiene. Efecto: Detención inminente de la creadora debido a que se desconoce la posición del cargador, arrojando falla y la detención del ciclo. Detección: Alarma por no detectar posición del cargador, no permitiendo iniciar ciclo de creado.	2	0,82	\$ 289.297	\$ 279.068	B	B	\$ 1.032.584	BB	2,00	ZONA AMARILLA
					1.2.2	Sensor de sujeción del piñón contaminado con viruta y aceite	Evidente/ No Evidente: SI Descripción del Evento: La contaminación en el sensor de sujeción del piñón, genera que el cargador arroje una alarma, por lo que se detiene el ciclo. Efecto: No permite la sujeción del piñón debido a que no lo detecta, por ello que el proceso de creado de dientes se interrumpe. Detección: Alarma por no detectar si el piñón esta sujeto correctamente.	2	0,82	\$ 289.297	\$ 253.168	B	C	\$ 980.784	BC	2,00	ZONA VERDE
					1.2.3	Fractura de pernos por fatiga	Evidente/ No Evidente: SI Descripción del Evento: Un excesivo apriete el que supera el torque especificado por el fabricante, provoca la fractura de los pernos. Efecto: Desprendimiento de pernos fracturados y soltura del cargador, generando una detención al instante del equipo. Detección: Alarma y detención instantanea de la creadora.	1	0,82	\$ 289.297	\$ 247.335	A	C	\$ 484.559	AC	1,00	ZONA VERDE
																	TOTAL

Fuente: Elaboración propia

2.4 JERARQUIZACIÓN POR RIESGO DE (FMECA) DE LOS MODOS DE FALLA DEL COMPONENTE

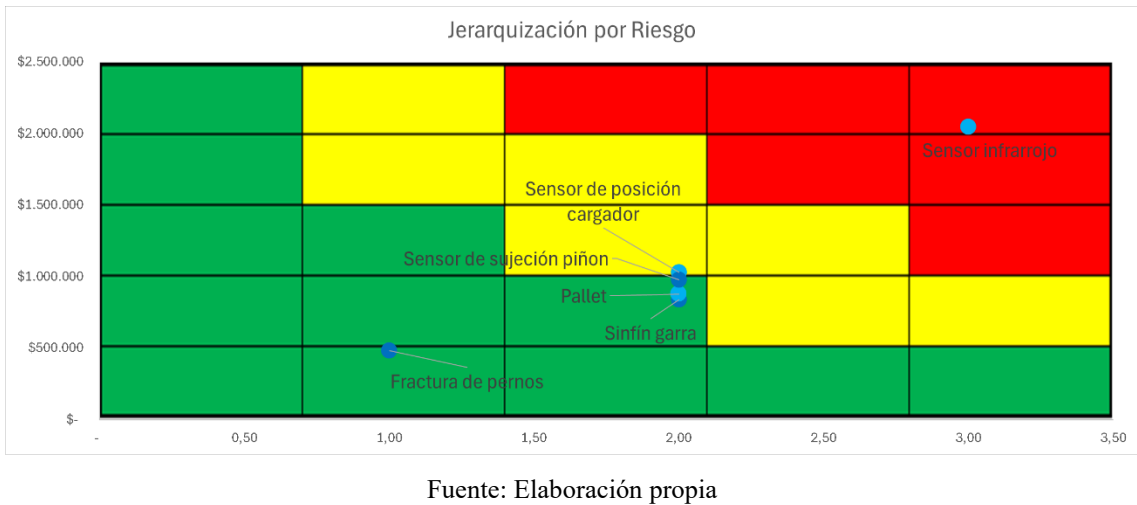
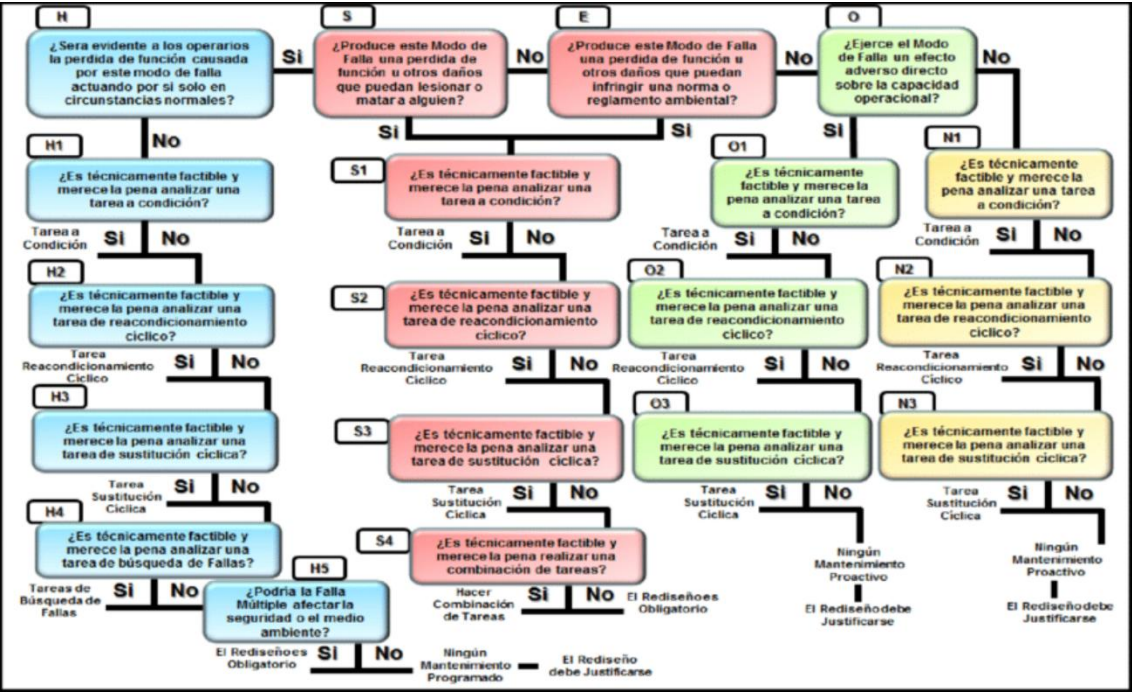


Figura 2-2, Jerarquización por riesgo

Debido a los resultados, la jerarquización por riesgo facilita la toma de decisiones informadas sobre las acciones de mantenimiento a ejecutar, organizando los modos de falla según su valor de criticidad, permitiendo identificar y priorizar acciones de prevención y corrección. Los modos de falla que presentan mayor puntuación de criticidad se consideran más críticos, ubicándose en la zona roja, por ello se requiere una atención inmediata o casi inmediata, en este caso el modo de falla más crítico es “Sensor infrarrojo de presencia del piñón dañado”.

2.5 DEFINICIÓN DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO Y CUANTIFICACIÓN DE ESFUERZOS

Para llevar a cabo la ejecución de actividades de mantenimiento se realiza a través el diagrama de decisión RCM II John Moubray.



Fuente: RCM II John Moubray

Figura 2-3, Diagrama de decisión RCM

Tabla 2-9, Actividades de mantenimiento RCM

#	Modo de Falla	Actividad Mtto	Acción a ejecutar	Frecuencia de aplicación	Numero de personas	HH - ejecución	Tarifa Especialidad	Insumos, Materiales, o servicios requeridos	PTTO ANUAL
1.1.1	Sensor infrarrojo de presencia del piñón dañado	Tarea a Condición	Reemplazar sensor infrarrojo de presencia del piñón	2	1	1	\$ 14.444	\$ 180.000	\$ 208.889
1.1.2	Sinfín garra fuera de posición	Tarea Reacondicionamiento Ciclico	Regular posición garras	2	1	0,5	\$ 11.111	\$ -	\$ 11.111
1.1.3	Pallet en mal estado	Tarea Reacondicionamiento Ciclico	Reparar o refrabricar pallet	2	1	1	\$ 11.111	\$ 40.000	\$ 62.222
1.2.1	Sensor de posición del cargador en mal estado	Tarea a Condición	Reemplazar sensor de posición del cargador	2	1	1	\$ 14.444	\$ 30.000	\$ 58.889
1.2.2	Sensor de sujeción del piñón contaminado con viruta y aceite	Tarea Reacondicionamiento Ciclico	Limpiar sensor de sujeción del piñón	3	1	1	\$ 14.444	\$ 5.000	\$ 48.333
1.2.3	Fractura de pernos por fatiga	Tarea a Condición	Sustituir pernos fatigados	1	2	2	\$ 11.111	\$ 1.000	\$ 45.444
TOTAL									\$ 434.889

Fuente: Elaboración propia

- La actividad de mantenimiento a ejecutar para el primer modo de falla tiene una frecuencia de aplicación de dos veces al año en caso de ser necesario, aplicada por un eléctrico en un tiempo de una hora de ejecución aproximadamente, el cual será necesario para realizar la limpieza del sector y del soporte en donde va ubicado el sensor a reemplazar.
- La actividad de mantenimiento a ejecutar para el segundo modo de falla tiene una frecuencia de aplicación de dos veces al año en caso de ser necesario, aplicada por un metodista (encargado de la puesta a punto de los equipos) en un tiempo de media hora de ejecución aproximadamente, el cuál será necesario para corregir y regular posición de las garras.
- La actividad de mantenimiento a ejecutar para el tercer modo de falla tiene una frecuencia de aplicación de dos veces al año en caso de ser necesario, aplicada por un mecánico en un tiempo de una hora de ejecución aproximadamente, el cual será necesario para realizar limpieza del sector y reparar o refabricar el pallet dañado.
- La actividad de mantenimiento a ejecutar para el cuarto modo de falla tiene una frecuencia de aplicación de dos veces al año en caso de ser necesario, aplicada por un eléctrico en un tiempo de una hora de ejecución aproximadamente, el cual será necesario para realizar la limpieza del sector y del soporte en donde va ubicado el sensor a reemplazar.
- La actividad de mantenimiento a ejecutar para el quinto modo de falla tiene una frecuencia de aplicación de tres veces al año en caso de ser necesario, aplicada por un mecánico en un tiempo de una hora de ejecución aproximadamente, el cual será necesario para realizar la limpieza del sector, del soporte en donde va ubicado y del mismo sensor.
- La actividad de mantenimiento a ejecutar para el sexto modo de falla tiene una frecuencia de aplicación de una vez al año en caso de ser necesario, aplicada por dos mecánicos debido a su complejidad, en un tiempo de dos horas de ejecución aproximadamente, el cual será necesario para realizar el retiro de los pernos fracturados, la limpieza del sector, en caso de rehacer los hilos y el reemplazo de los pernos con su torque correspondiente.

El producto de las actividades de mantenimiento brinda una orientación precisa para la planificación y ejecución de tareas, destacando aspectos como la claridad en las actividades, una planificación eficiente, la priorización adecuada de las tareas, la

estimación de los costos, la optimización de recursos y el impulso hacia la mejora continua.

CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL ENFOQUE
RCM

3.1 ANÁLISIS DE LAS RECOMENDACIONES RCM

A continuación, se realiza una evaluación al plan de mantenimiento para aminorar las fallas, de igual manera se presenta un estudio a la evaluación económica de la propuesta del plan de mantenimiento mejorado enfocado en el equipo Liebherr LC120 más crítico “Cre 31”. Se muestra la comparativa y principales ventajas entre el plan de mantenimiento actual y el propuesto centrado en la confiabilidad, al igual que los resultados esperados por la implementación del Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).

El RCM o mantenimiento centrado en la confiabilidad entrega recomendaciones claves para una óptima efectividad y eficiencia en los mantenimientos planeados. Dichas recomendaciones se basan en identificar las estrategias ideales de mantenimiento para todo equipo o sistema. Analizando las funciones, fallas funcionales, modos de falla y consecuencias de aquellas fallas. RCM propone implementar tareas de mantenimiento los que maximizan la operatividad y a la vez minimizan costos innecesarios. Se logra debido a que se prioriza el mantenimiento proactivo por encima del reactivo, estableciendo tareas de mantenimiento predictivo, preventivo o basado en condiciones peculiares que abordan las causas primordiales de las fallas.

La metodología aplicada de RCM II de John Moubray, las actividades de mantenimiento benefician significativamente de la siguiente manera:

- Claridad en las tareas de mantenimiento: Presenta una detallada comprensión de las actividades de mantenimiento a realizar garantizando confiabilidad y disponibilidad de los equipos críticos. Estableciendo procedimientos claros y precisos para el personal de mantenimiento.
- Orientado en prevenir fallas: Al determinar las actividades preventivas de mantenimiento, la metodología RCM II tiene como objetivo prevenir fallas y a su vez maximizar la vida útil de los equipos, reduciendo las detenciones no planificadas y los tiempos de inactividad.
- Optimización de los recursos: Se optimiza el uso de recursos como la mano de obra, repuestos, herramientas y tiempo, logrando evitar el sobre mantenimiento y utilización innecesaria de los recursos.
- Seguridad mejorada: Se establecen protocolos de mantenimiento que mejoran la seguridad operativa, las tareas de mantenimiento desarrolladas correctamente aseguran la reducción de riesgos asociados a equipo mal mantenidos.
- Reducción de costos: Al presentar actividades específicas y comprensibles de mantenimiento, se reducen los costos innecesarios y a su vez se maximiza la confiabilidad en los equipos.

- Mejora continua: Las correctas actividades de mantenimiento permiten realizar seguimientos y evaluar de mejor manera la eficacia del plan de mantenimiento, facilitando la identificación de mejoras continuas en los procedimientos y en las gestiones.

La mejora que logra una empresa al emplear un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) es relevante, debido a que beneficia en distintos aspectos para una empresa. Reduciendo tiempos de mantenimiento, el uso de recursos, gastos innecesarios, sobre mantenimiento y pérdidas por detención del equipo.

Técnica y económicamente es viable, para ello se comprobará a través de un análisis al plan de mantenimiento actual y a la propuesta mejorada, con el objetivo de comparar y evidenciar la efectividad en caso de ser implementada.

3.2 PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL

VER ANEXO B: PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO ACTUAL HORSE CHILE.

Al analizar el plan de mantenimiento actual se identificó la deficiencia de algunas tareas, por ello, se añadieron nuevas actividades en las que reducirán las fallas frecuentes que presentaba el componente más crítico (Cargador) del equipo Liebherr LC120. Asimismo, se evidenciaron distintas actividades las cuales se modificaron con el objetivo de mejorar el mantenimiento logrando una mayor efectividad y a su vez reducir las mantenciones correctivas, para ello se reprogramaron dichas actividades cambiando la periodicidad de algunas (Cada cuanto tiempo se realizará), se modificaron tareas para que sean más específicas, además los tiempos previstos de ejecución fueron estudiados y modificados dependiendo la acción a realizar.

Mejorar el plan de mantenimiento actual favorece significativamente a la empresa, impactando positivamente en múltiples áreas clave. Se reduce considerablemente la indisponibilidad del equipo, lo que se traducen en un aumento en la productividad y en la capacidad de cumplir con la producción establecida. Al aplicar prácticas de mantenimiento más efectivas, aumenta la vida útil permitiendo que la inversión inicial se maximice a lo largo del tiempo.

Además, la optimización en los procesos de mantenimiento conlleva mejorar la eficiencia operativa. Equipos bien mantenidos tienden a operar de manera más fluida y eficiente, lo que no solo mejora el rendimiento, sino que además reducen costos ya que disminuye la necesidad de reparaciones imprevistas.

La seguridad de los empleados es otro aspecto crucial que se ve favorecido al realizar un mantenimiento regular y adecuado, se identifican y corrigen posibles riesgos antes de que puedan causar accidentes, promoviendo un entorno laboral más seguro.

Finalmente, la mejora del plan de mantenimiento facilita y crea una base sólida para la implementación de mejoras continuas al establecer procesos eficientes y efectivos, siendo una inversión estratégica que puede transformar el rendimiento general de la empresa.

3.3 PLAN DE MANTENIMIENTO MEJORADO

Tabla 3-1, Propuesta plan de mantenimiento mejorado

PROPUESTA PLAN DE MANTENIMIENTO MEJORADA												No. 1			
NOMBRE EQUIPO: CRE 31		MODELO: LIEBHERR LC120		ULTIMO MTTD:				PROMEDIO UTILIZACIÓN DIARIA: 16 HORAS				REALIZÓ:			
SUBCONJUNTO		ELEMENTO		TAREAS DE MANTENIMIENTO		ESTADO MÁQUINA	VALORES LÍMITES	EJECUTOR	HERRAMIENTAS	TIEMPO PREVISTO	PERIODICIDAD	TIEMPO 2025	TIEMPO 2026	TIEMPO 2027	TIEMPO 2028
Mecánico	Carro axial	Cambiar aceite		AHT	4 L	GR				0:30:00	A01	0:30:00	0:30:00	0:30:00	0:30:00
Mecánico	Bancada maquina	Cambiar lubricante refrigerador		AHT	700 L	GR				0:30:00	A01	0:30:00	0:30:00	0:30:00	0:30:00
Mecánico	Engrase circulacion	Cambiar unidad filtrante		MHP		MC				0:30:00	A01	0:30:00	0:30:00	0:30:00	0:30:00
Mecánico	Inter. manometrico	Ajustar acuerdo a manual sistema fluidos		MEP		MC				0:25:00	A01	0:25:00	0:25:00	0:25:00	0:25:00
Mecánico	Fil espiral/raspador	Comprobar el juego de los cojinetes (vibración)		AHT		MC				0:15:00	A01	0:15:00	0:15:00	0:15:00	0:15:00
Mecánico	Fil espiral/raspador	Limpiar filtro		AHT		MC				0:15:00	A01	0:15:00	0:15:00	0:15:00	0:15:00
Mecánico	Fil espiral/raspador	Cambiar conjunto de juntas		AHT		MC				0:15:00	A01	0:15:00	0:15:00	0:15:00	0:15:00
Mecánico	Sistema hidr / neum	Chequear estanqueidad de los bloques de válvulas		AHT		MC				0:10:00	A01	0:10:00	0:10:00	0:10:00	0:10:00
Mecánico	Bancada maquina	Chequear estado y tension cadena de transmisión		AHT		MC				0:15:00	A01	0:15:00	0:15:00	0:15:00	0:15:00
Mecánico	Accionamiento mesa	Comprobar estanqueidad del cilindro hidráulico		MEP		MC				0:05:00	A01	0:05:00	0:05:00	0:05:00	0:05:00
Mecánico	Conveyor	Lubricar el husillo de rosca de bolas		AHT		MC				0:10:00	A01	0:10:00	0:10:00	0:10:00	0:10:00
Mecánico	Conveyor	Lubricar las barras de guía		AHT		MC				0:10:00	A01	0:10:00	0:10:00	0:10:00	0:10:00
Mecánico	Accionamiento radial	Revisar la tension y estado de la correa dentada		AHT		MC				0:30:00	A01	0:30:00	0:30:00	0:30:00	0:30:00
Mecánico	Fil espiral/raspador	Limpiar tuberías		AHT		MC				0:15:00	S24	0:30:00	0:30:00	0:30:00	0:30:00
Mecánico	Fil espiral/raspador	Comprobar si el filtro esta desgastado y		AHT		MC				0:15:00	S24	0:30:00	0:30:00	0:30:00	0:30:00
Mecánico	Carro axial	Controlar el nivel de aceite		MEP		MC				0:02:00	S12	0:08:00	0:08:00	0:08:00	0:08:00
Mecánico	Puertas de acceso	Chequear estado de juntas de gomas en puertas		MHP		MC				0:10:00	S24	0:20:00	0:20:00	0:20:00	0:20:00
Mecánico	Pallet porta pieza	Control estado (posible desgaste)		MHP		MT				0:10:00	S12	0:40:00	0:40:00	0:40:00	0:40:00
Mecánico	Apoyo pieza	Controlar alabeo		MHP		MT				0:10:00	S12	0:40:00	0:40:00	0:40:00	0:40:00
Mecánico	Disp. toma pieza	Controlar centraje		MHP		MT				0:10:00	S12	0:40:00	0:40:00	0:40:00	0:40:00
Mecánico	Garra toma pieza	Controlar estado (posible desgaste)		MHP		MT				0:10:00	S12	0:40:00	0:40:00	0:40:00	0:40:00
Mecánico	Arbol porta fresa	Controlar estado (posible desgaste)		MHP		MT				0:10:00	S12	0:40:00	0:40:00	0:40:00	0:40:00
Mecánico	Suple porta fresa	Controlar estado (posible desgaste)		MHP		MT				0:10:00	S12	0:40:00	0:40:00	0:40:00	0:40:00
Mecánico	Desbardadores	Controlar estado (posible desgaste de cuchillos)		MHP		MT				0:10:00	S12	0:40:00	0:40:00	0:40:00	0:40:00
Mecánico	Separadores guías	Chequear estado y remover virutas		MHP		MC				0:25:00	S16	1:15:00	1:15:00	1:15:00	1:15:00
Mecánico	Garra toma pieza	Chequear regulación de posición garras		MHP		MT				0:10:00	S12	0:40:00	0:40:00	0:40:00	0:40:00
Mecánico	Transportador viruta	Verificar nivel de aceite y tensión cadena		AHT		MC				0:15:00	S24	0:30:00	0:30:00	0:30:00	0:30:00
Mecánico	Cubierta cadena	Verificar estado de pernadura		MHP		MC				0:03:00	A01	0:03:00	0:03:00	0:03:00	0:03:00
Mecánico	Filtro aceite corte	Realizar limpieza y chequear estado		MHP		MC				0:15:00	S12	1:00:00	1:00:00	1:00:00	1:00:00
Mecánico	Filtro refrigerante	Verificar estado		MEP		MC				0:15:00	S16	0:45:00	0:45:00	0:45:00	0:45:00
Mecánico	Unidad de presion	Controlar nivel de presión		MEP		GR				0:02:00	S12	0:08:00	0:08:00	0:08:00	0:08:00
Mecánico	Lubricacion central	Controlar nivel de aceite		MEP		GR				0:02:00	S12	0:08:00	0:08:00	0:08:00	0:08:00
Mecánico	Sist refrigeracion	Controlar nivel		MEP		GR				0:02:00	S12	0:08:00	0:08:00	0:08:00	0:08:00
Mecánico	Bombas hidrostatica	Chequear presion		MHP	28 - 30 bar	MC				0:10:00	S04	2:00:00	2:00:00	2:00:00	2:00:00
Mecánico	Proteccion	Controlar el dispositivo de proteccion de separacion		MHP		MC				0:05:00	S04	1:00:00	1:00:00	1:00:00	1:00:00
Mecánico	Purificador	Retirar filtros y chequear estado		MHP		MC				0:15:00	S16	0:45:00	0:45:00	0:45:00	0:45:00
Mecánico	Husillo	Lubricar el husillo de rosca de bolas		MEP		GR				0:05:00	S24	0:10:00	0:10:00	0:10:00	0:10:00
Mecánico	Barras	Lubricar las barras de guía		MHP		GR				0:05:00	S24	0:10:00	0:10:00	0:10:00	0:10:00
Mecánico	Protecciones	Verificar estado de protecciones y fijaciones		MHP		MC			Estetoscopio	0:10:00	S24	0:20:00	0:20:00	0:20:00	0:20:00
Mecánico	Motor	Chequear estado de rodamientos		MEP		MC		0:05:00		S24	0:10:00	0:10:00	0:10:00	0:10:00	0:10:00
Mecánico	Motor	Chequear estado de las fijaciones		MHP		MC		0:05:00		S24	0:10:00	0:10:00	0:10:00	0:10:00	0:10:00
Mecánico	Eletrovalvulas	Chequear estado y funcionamiento		MEP		MC		0:05:00		S24	0:10:00	0:10:00	0:10:00	0:10:00	0:10:00
Mecánico	Cadena transmision	Chequear estado y tension		MHP		MC				0:05:00	S24	0:10:00	0:10:00	0:10:00	0:10:00

Mecánico	Correa dentada	Chequear estado y tensión	MHP		MC		0:05:00	S24	0:10:00	0:10:00	0:10:00	0:10:00
Mecánico	Juntas de gomas	Chequear estado y funcionamiento	MEP		MC		0:30:00	S24	1:00:00	1:00:00	1:00:00	1:00:00
Mecánico	Transportador viruta	Chequear estado	MHP		MC		0:10:00	S16	0:30:00	0:30:00	0:30:00	0:30:00
Eléctrico	Tablero eléctrico	Chequear estado y realizar limpieza	AHT		EL		0:15:00	A01	0:15:00	0:15:00	0:15:00	0:15:00
Eléctrico	Tablero eléctrico	Chequear estado de conexiones electricas	AHT		EL		0:20:00	A01	0:20:00	0:20:00	0:20:00	0:20:00
Eléctrico	Tablero eléctrico	Medir termografia	MEP		EL		0:10:00	A01	0:10:00	0:10:00	0:10:00	0:10:00
Eléctrico	Tablero eléctrico	Reapretar borneras, conectores y conexiones	AHT		EL		0:15:00	A01	0:15:00	0:15:00	0:15:00	0:15:00
Eléctrico	Puertas de acceso	Chequear que maquina no inicie ciclo con	MEP		EL		0:05:00	S08	0:30:00	0:30:00	0:30:00	0:30:00
Eléctrico	Chapas de seguridad	Revisar estado y realizar prueba de funcionamiento	MHP		EL		0:05:00	S16	0:15:00	0:15:00	0:15:00	0:15:00
Eléctrico	Motores electricos	Medir consumo de motores	MEP	I < in	EL		0:20:00	S24	0:40:00	0:40:00	0:40:00	0:40:00
Eléctrico	Motores electricos	Realizar termografia a motores	MEP		EL		0:15:00	S24	0:30:00	0:30:00	0:30:00	0:30:00
Eléctrico	Motores electricos	Chequear estado de aspas y giro libre v	AHT		EL		0:15:00	S24	0:30:00	0:30:00	0:30:00	0:30:00
Eléctrico	Motores electricos	Controlar los motores con respecto a ruidos	MEP		EL		0:15:00	S24	0:30:00	0:30:00	0:30:00	0:30:00
Eléctrico	Motores electricos	Comprobar el apriete de las clavijas de motor	AHT		EL		0:15:00	S24	0:30:00	0:30:00	0:30:00	0:30:00
Eléctrico	Motores electricos	Chequear estado de conexiones electricas	AHT		EL		0:15:00	S24	0:30:00	0:30:00	0:30:00	0:30:00
Eléctrico	Bateria pcu	Verificar si esta buena o mala la bateria de la pcu	MHP		EL		0:10:00	A01	0:10:00	0:10:00	0:10:00	0:10:00
Eléctrico	Bateria ncu	Verificar si esta buena o mala la bateria de la ncu	MHP		EL		0:10:00	A01	0:10:00	0:10:00	0:10:00	0:10:00
Eléctrico	Bateria emergencia	Verificar el suministro electricidad	MHP		EL		0:05:00	A01	0:05:00	0:05:00	0:05:00	0:05:00
Eléctrico	Servomotores	Chequear estado y conexiones	MHP		EN		0:25:00	A01	0:25:00	0:25:00	0:25:00	0:25:00
Eléctrico	Servomotores	Realizar limpieza y chequear estado	MEP		EL		0:20:00	S12	1:20:00	1:20:00	1:20:00	1:20:00
Eléctrico	Motores electricos	Chequear estado y funcionamiento	MEP		EL		0:20:00	S24	0:40:00	0:40:00	0:40:00	0:40:00
Eléctrico	Panel frontal	Chequear estado y funcionamiento	MEP		MC		0:10:00	S24	0:20:00	0:20:00	0:20:00	0:20:00
Electrónico	Tablero eléctrico	Verificar estado bateria suministro electricidad	AST		EN		0:03:00	A01	0:03:00	0:03:00	0:03:00	0:03:00
Electrónico	Tablero eléctrico	Cambiar bateria de la ncu	AST		EN		0:10:00	A03	0:10:00	NO APLICA	NO APLICA	0:10:00
Electrónico	Tablero eléctrico	Cambiar bateria de la pcu	AHT		EN		0:10:00	A06	0:10:00	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
Neumático	Unidad neum. (frl)	Realizar purgado vaso decantador de agua	MEP		MC		0:05:00	S08	0:30:00	0:30:00	0:30:00	0:30:00
Neumático	Unidad neum. (frl)	Chequear presion de trabajo(bar)	MEP	4,5 a 6	MC		0:05:00	S04	1:00:00	1:00:00	1:00:00	1:00:00
Neumático	Circuito neumático	Chequear estado de mangueras y racor	MEP		MC		0:10:00	S12	0:40:00	0:40:00	0:40:00	0:40:00
Neumático	Unidad neum. (frl)	Cambiar elemento filtrante	AHT		MC		0:15:00	S24	0:30:00	0:30:00	0:30:00	0:30:00
Hidráulico	Unidad hidraulico	Cambiar filtro hidraulico	AHT		MC		0:30:00	A01	0:30:00	0:30:00	0:30:00	0:30:00
Hidráulico	Sistema hidraulico	Cambiar aceite hidraulico	AHT		MC		0:30:00	A01	0:30:00	0:30:00	0:30:00	0:30:00
Hidráulico	Unidad hidraulico	Chequear y corregir presion de trabajo	MEP	70 bar	MC		0:05:00	S04	1:00:00	1:00:00	1:00:00	1:00:00
Hidráulico	Circuito hidraulico	Chequear estado de mangueras y niples	MEP		MC		0:10:00	S12	0:40:00	0:40:00	0:40:00	0:40:00
Hidráulico	Circuito hidraulico	Chequear estanqueidad de conexiones hidráulicas	MEP		MC		0:10:00	A01	0:10:00	0:10:00	0:10:00	0:10:00
Hidráulico	Valvulas hidraulicas	Chequear estanqueidad de válvulas	MEP		MC		0:05:00	A01	0:05:00	0:05:00	0:05:00	0:05:00
Hidráulico	Unidad hidraulico	Limpiar filtro hidraulico	AHT		MC		0:40:00	S24	1:20:00	1:20:00	1:20:00	1:20:00
Hidráulico	Acumulador hidraulico	Chequear presión	MEP		MC		0:25:00	A01	0:25:00	0:25:00	0:25:00	0:25:00
Hidráulico	Sistema hidraulico	Controlar nivel de aceite hidráulico	MEP		GR		0:02:00	S12	0:08:00	0:08:00	0:08:00	0:08:00
Hidráulico	Motor hidraulico	Realizar limpieza y chequear estado	MEP		EL		0:25:00	S24	0:50:00	0:50:00	0:50:00	0:50:00
Electrónico	Sensores	Chequear estado sensor infrarrojo de presencia del piñón	AST		EL		0:10:00	S24	0:20:00	0:20:00	0:20:00	0:20:00
Electrónico	Sensores	Verificar estado sensor posición del cargador	AST		EL		0:10:00	S24	0:20:00	0:20:00	0:20:00	0:20:00
Electrónico	Sensores	Chequear estado sensor sujeción de piñón	AST		EL		0:10:00	S24	0:20:00	0:20:00	0:20:00	0:20:00
Mecánico	Bancada maquina	Controlar el nivel lubricante refrigerador	MEP		GR		0:02:00	S12	0:08:00	0:08:00	0:08:00	0:08:00

Fuente: Elaboración propia

3.4 DESCRIPCIÓN DE LAS MEJORAS PROPUESTAS

Tras un análisis detallado de las tareas, se realizaron modificaciones e incorporaciones en el plan de mantenimiento, con el objetivo mejorar el actual, para ello se hizo lo siguiente:

- Reducción de tiempos en la ejecución de las tareas, ya que algunas actividades de mantenimiento se pueden realizar en menor tiempo.
- Eliminación y modificación de tareas las cuales para la empresa no era conveniente realizar, debido a que requerían de tiempos de detención del equipo muy prolongadas, generando elevadas pérdidas de producción.
- Los tiempos de periodicidad (cada cuanto se realiza cada tarea) fueron modificados, según estudio realizado junto a los mecánicos por su experiencia y considerando el manual del fabricante.
- Se agregaron y corrigieron tareas, logrando que fueran más detalladas, debido a que su información no era lo suficientemente clara para quien las ejecutara.
- Se añadieron tareas preventivas para reducir las fallas habituales que presentaban los componentes más críticos, es decir, los que presentaron más fallas durante los años anteriores.

Debido a los puntos mencionados anteriormente, la propuesta del plan de mantenimiento se redujo 42 horas anuales aproximadamente (42:01:00 hrs) la ejecución de todas estas actividades preventivas, siendo así un total anual de 39:24:00 hrs. Por otra parte, el plan de mantenimiento actual tenía un tiempo total anual de la ejecución de estas actividades de 81:25:00 hrs.

Tabla 3-2, Descripción siglas periodicidad

AHT	PARADA SIN TENSIÓN	MEP	EN MARCHA EN PRODUCCIÓN
AST	PARADA CON TENSIÓN	MHP	EN MARCHA SIN PRODUCCIÓN

Fuente: Elaboración propia

3.5 IMPACTO EN LA DISPONIBILIDAD

Tanto en el área de mantenimiento como en el área de producción es fundamental mantener la disponibilidad de los equipos el mayor porcentaje o tiempo posible, con el objetivo de mantener los procesos productivos sin detenciones. Esto no siempre es logrado efectivamente, llevando a consecuencias adversas.

Actualmente la disponibilidad de la Fresadora creadora de dientes, Liebherr LC120 según años anteriores (2021, 2022 y 2023) es de un 92,43% con el plan de mantenimiento actual.

La optimización de mejora del plan de mantenimiento mediante RCM, propone una mejoría de un 4,63% de disponibilidad, dando como resultado final un 97,06%. Esto se traducirá en una menor frecuencia de fallas, además en una mayor capacidad para prever y mitigar posibles averías. Como resultado, se espera una reducción significativa de costos de mantenimiento, al mismo tiempo que se garantiza una mayor continuidad y eficiencia en los procesos productivos.

3.6 FACTIBILIDAD TÉCNICA – ECONÓMICA

La evaluación técnica y económica consiste en comparar los costos y tiempos del mantenimiento actual con aquellos involucrados en la propuesta del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad.

La aplicación de mejoras siempre implica cambios que deben tener en cuenta la infraestructura existente, los equipos disponibles, los recursos necesarios y cualquier posible limitación técnica.

Costos del plan de mantenimiento (RCM):

El implementar el plan de mantenimiento enfocado en RCM para los equipos Liebherr LC120, implica una serie de costos asociados que son minuciosamente evaluados. Dichos costos abarcan gastos relacionados al impacto que generan en la producción al detenerse cada equipo, además de los costos directos que esta falla presenta incluyendo el costo HH y el valor del repuesto al momento de ser necesario reemplazarlo.

A continuación, se muestran los costos asociados de la implementación RCM:

Tabla 3-3, Implementación del RCM (costos)

Acción a ejecutar	Frecuencia de aplicación	Numero de personas	HH - ejecución	Tarifa Especialidad	Insumos, Materiales, o servicios requeridos	PTTO ANUAL
Reemplazar sensor infrarrojo de presencia del piñón	2	1	1	\$ 14.444	\$ 180.000	\$ 208.889
Regular posición garras	2	1	0,5	\$ 11.111	\$ -	\$ 11.111
Reparar o refrabricar pallet	2	1	1	\$ 11.111	\$ 40.000	\$ 62.222
Reemplazar sensor de posición del cargador	2	1	1	\$ 14.444	\$ 30.000	\$ 58.889
Limpiar sensor de sujeción del piñón	3	1	1	\$ 14.444	\$ 5.000	\$ 48.333
Sustituir pernos fatigados	1	2	2	\$ 11.111	\$ 1.000	\$ 45.444
					TOTAL	\$ 434.889

Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior se muestran los costos totales por cada acción a ejecutar según el modo de falla presentado. En la tarifa de especialidad el costo proviene según el técnico que lo ejecute, entre los que pueden ser mecánico, metodista (\$11.111 por hora aproximadamente) o eléctrico (\$14.444 por hora aproximadamente), Asimismo en los insumos se proyecta el costo de todo lo necesario que se utiliza para llevar a cabo las actividades de mantenimiento.

Tabla 3-4, Actividad de mantenimiento

ACTIVIDAD DE MANTENIMIENTO: 1.1.1 REEMPLAZO		
SENSOR INFRARROJO DE PRESENCIA DEL PIÑÓN.		
<i>Realizado por: Eléctrico</i>		
Advertencia: Antes de cualquier intervención, detener y des energizar el equipo completamente verificando que todo se encuentre en orden para realizar el mantenimiento de manera segura y correcta.		
La seguridad del técnico y del operador es primordial, cada acción a ejecutar debe ser realizada con las herramientas y elementos de protección personal correspondientes.		
Paso 1: Detener, des energizar y colocar candados de seguridad en el equipo, ubicar el sensor infrarrojo el cual detecta la presencia del piñón.		
Paso 2: Desconectar conectores eléctricos provenientes del sensor y aflojar con llave allen de 4 mm los pernos que fijan el sensor al soporte.		
Paso 3: Retirar sensor y realizar limpieza de la zona, verificar estado de pernos y en caso de ser necesario reemplazarlos.		
Paso 4: Corroborar que el sensor nuevo sea el mismo que el dañado para proceder a reemplazarlo.		
Paso 5: Reubicar los conectores eléctricos provenientes del sensor, reposicionar el sensor sobre el soporte y a su vez colocar los pernos de fijación, asegurando su apriete con la llave allen de 4 mm.		
Paso 6: Inspeccionar correcta instalación, retirar candados de seguridad, energizar el equipo y dar inicio de ciclo, constatando el funcionamiento óptimo del sensor.		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-5, Actividad de mantenimiento

ACTIVIDAD DE MANTENIMIENTO: 1.1.2 REGULACIÓN		
POSICIÓN DE GARRAS.		
Realizado por: metodista		
Advertencia: Antes de cualquier intervención, detener y des energizar el equipo completamente “en caso de ser necesario” verificando que todo se encuentre en orden para realizar el mantenimiento de manera segura y correcta.		
La seguridad del técnico y del operador es primordial, cada acción a ejecutar debe ser realizada con las herramientas y elementos de protección personal correspondientes.		
Paso 1: Detener ciclo y poner en modo manual el equipo, verificar posición y estado de garras.		
Paso 2: Aflojar con llave de allen 6 mm los pernos que sostienen las garras e inspeccionar que se encuentran en buen estado.		
Paso 3: Regular posición de las garras en base a los parámetros recomendados por el fabricante, en caso de ser necesario verificar manualmente el correcto ajuste de posición.		

Paso 4: Una vez regulada la posición, proceder al ajuste de los pernos con llave allen de 6 mm de las garras.
Paso 5: Iniciar ciclo y volver al modo automático, verificando correcto desplazamiento horizontal de las garras.
Nota: En caso de alguna anomalía, volver a realizar el procedimiento de regulación.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-6, Actividad de mantenimiento

ACTIVIDAD DE MANTENIMIENTO: 1.1.3 REPARACIÓN DE PALLET.  Realizado por: Mecánico Advertencia: Antes de cualquier intervención, detener y des energizar el equipo completamente “en caso de ser necesario” verificando que todo se encuentre en orden para realizar el mantenimiento de manera segura y correcta. La seguridad del técnico y del operador es primordial, cada acción a ejecutar debe ser realizada con las herramientas y elementos de protección personal correspondientes. Paso 1: Detectar pallet dañado, detener ciclo y a su vez retirar piñón portado en el pallet. Paso 2: Retirar pallet y realizar limpieza de la zona, identificar la falla a reparar. Paso 3: Desensamblar pallet con llave allen de 4 mm. Paso 4: En caso de ser reparado por el mecánico reutilizar el pallet, por el contrario, si es necesario, enviar al taller kaisen (soldadura) para reparar o refabricar pallet nuevo que cumpla con los requisitos dados por el fabricante según plano. Paso 5: Ensamblar pallet con llave allen de 4 mm para su montaje. Paso 6: Reubicar el pallet en la cinta transportadora, corroborar que sostenga el piñón y cumpla su función correctamente. Paso 7: Una vez verificado el correcto funcionamiento, dar inicio de ciclo corroborando que no presente anomalías.
--

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-7, Actividad de mantenimiento

ACTIVIDAD DE MANTENIMIENTO: 1.2.1 REEMPLAZO SENSOR DE POSICIÓN DEL CARGADOR.  Realizado por: Eléctrico Advertencia: Antes de cualquier intervención, detener y des energizar el equipo completamente verificando que todo se encuentre en orden para realizar el mantenimiento de manera segura y correcta. La seguridad del técnico y del operador es primordial, cada acción a ejecutar debe ser realizada con las herramientas y elementos de protección personal correspondientes. Paso 1: Detener, des energizar y colocar candados de seguridad en el equipo, ubicar el sensor que detecta la posición del cargador.

Paso 2: Desconectar conectores eléctricos provenientes del sensor y aflojar con llave allen de 4 mm los pernos que fijan el sensor al soporte.
Paso 3: Retirar sensor y realizar limpieza de la zona, verificar estado de pernos y en caso de ser necesario reemplazarlos.
Paso 4: Corroborar que el sensor nuevo sea el mismo que el dañado para proceder a reemplazarlo.
Paso 5: Reubicar los conectores eléctricos provenientes del sensor, reposicionar el sensor sobre el soporte y a su vez colocar los pernos de fijación, asegurando su apriete con la llave allen de 4 mm.
Paso 6: Inspeccionar correcta instalación, retirar candados de seguridad, energizar el equipo y dar inicio de ciclo, constatando el funcionamiento óptimo del sensor.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-8, Actividad de mantenimiento

ACTIVIDAD DE MANTENIMIENTO: 1.2.2 LIMPIEZA SENSOR DE SUJECIÓN DEL PIÑÓN.		
Realizado por: Eléctrico		
Advertencia: Antes de cualquier intervención, detener y des energizar el equipo completamente verificando que todo se encuentre en orden para realizar el mantenimiento de manera segura y correcta.		
La seguridad del técnico y del operador es primordial, cada acción a ejecutar debe ser realizada con las herramientas y elementos de protección personal correspondientes.		
Paso 1: Detener ciclo y poner en modo manual el equipo, ubicar el sensor que detecta la sujeción del piñón.		
Paso 2: Desconectar conectores eléctricos provenientes del sensor y aflojar con llave allen de 4 mm los pernos que fijan el sensor al soporte.		
Paso 3: Retirar sensor y realizar limpieza de la zona, verificar estado de pernos y en caso de ser necesario reemplazarlos.		
Paso 4: Corroborar que el sensor se encuentre en buen estado y proceder a limpiarlo.		
Paso 5: Reubicar los conectores eléctricos provenientes del sensor, reposicionar el sensor sobre el soporte y a su vez colocar los pernos de fijación, asegurando su apriete con la llave allen de 4 mm.		
Paso 6: Inspeccionar correcta instalación, colocar el equipo en modo automático y dar inicio de ciclo, constatando el funcionamiento óptimo del sensor.		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-9, Actividad de mantenimiento

ACTIVIDAD DE MANTENIMIENTO: 1.2.3 SUSTITUCIÓN PERNOS FATIGADOS.		
<i>Realizado por: Mecánico</i>		
Advertencia: Antes de cualquier intervención, detener y des energizar el equipo completamente verificando que todo se encuentre en orden para realizar el mantenimiento de manera segura y correcta.		
La seguridad del técnico y del operador es primordial, cada acción a ejecutar debe ser realizada con las herramientas y elementos de protección personal correspondientes.		
Paso 1: Detener, des energizar y colocar candados de seguridad en el equipo, ubicar el/los pernos fracturados.		
Paso 2: Retirar con llave allen de 10 mm todos los pernos del componente y realizar limpieza de la zona, en caso de ser necesario repasar con machos de roscar el hilo.		
Paso 3: Verificar que la zona se encuentre en óptimas condiciones.		
Paso 4: Reubicar y ajustar con un torquímetro pernos de 10 mm a un ajuste de torque de 40 Nm por perno.		
Paso 5: Inspeccionar correcta instalación, retirar candados de seguridad, energizar el equipo y dar inicio de ciclo, constatando el funcionamiento óptimo.		

Fuente: Elaboración propia

3.7 ANALISIS TÉCNICO - ECONÓMICO DE RENTABILIDAD

Al analizar la prefactibilidad técnica y económica, se evidencian indicadores positivos que favorecen y respaldan la implementación de la propuesta del plan de mantenimiento en la empresa. Basado en aumentar la disponibilidad de las fresadoras, por lo que al basarse en los datos es posible implementar esta propuesta.

Puntos primordiales por considerar en esta evaluación técnica – económica son la reducción de tiempos fuera de servicio por mantenimientos no programados, además de la disminución de futuras fallas que afecten la producción. Estos indicadores favorecerán para evaluar la efectividad al implementar el RCM, con el objetivo de fortalecer la seguridad de los riesgos operativos asociados al equipo.

En la siguiente tabla se presenta la comparación de disponibilidad del equipo, con el plan de mantenimiento actual que posee la empresa y la propuesta del plan de mantenimiento mejorado:

Tabla 3-10, Comparativa de disponibilidad

Disponibilidad								
Equipo	Piñón	Nº de Fallas	Tiempo parada (min)	Tiempo disp.	MTBF	MTTR	Disponibilidad	
Cre 31	Loco Tercera	270	18462	243972	835,22	68,38	92,43%	Con Pmtto actual
		83	7177	243972	2852,95	86,47	97,06%	Con Pmtto mejorado
							4,63%	Diferencia

Fuente: Elaboración propia

Al analizar la tabla se puede evidenciar el porcentaje de mejora en la disponibilidad del equipo, esto se debe a que se reducirían las fallas más críticas ocurridas en los años anteriores y a su vez se reducen los tiempos de parada, dando como resultado una mejora en la disponibilidad del 4,63%.

A continuación, se evidencia la diferencia entre algunos indicadores de mantenimiento entre el plan de mantenimiento actual y el plan de mantenimiento propuesto. Cabe destacar que los valores presentados son estimaciones en ambos casos, al analizar dichos datos se identificarán los beneficios que obtendrá la empresa al implementar el plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Tabla 3-11, Comparativa de plan de mantenimiento

	Plan actual sin RCM	Propuesta plan mejorado con RCM componentes de media criticidad	Propuesta plan mejorado con RCM componentes alta y media criticidad	Propuesta plan mejorado con RCM todos los componentes criticos
N° de fallas esperadas	62	35	30	28
Tiempo fuera de servicio por falla (minutos)	4550	3187	2488	2392
Horas de ejecución del Pmtto	81,42	52,5	41	39,4
Porcentaje de planificación de actividades	44%	88%	97%	100%
Costo de ineficiencia Clp / año	\$ 21.936.767	\$ 15.364.898	\$ 11.996.192	\$ 11.534.924
Costo Pmtto Clp / año	\$ -	\$ 434.889	\$ 434.889	\$ 434.889
Costo total	\$ 21.936.767	\$ 15.799.787	\$ 12.431.081	\$ 11.969.813
Beneficio		\$ 6.136.980	\$ 9.505.686	\$ 9.966.954

Fuente: Elaboración propia

Como se observa anteriormente en la tabla, se proyecta el número de fallas al año dentro de la cual el equipo Liebherr LC120 presentó un total 270 fallas en los años 2021, 2022 y 2023, debido a esto los componentes críticos identificados presentaron 187 fallas en esos mismos años. En el plan actual presenta 62 fallas y un tiempo fuera de servicio de 4550 minutos, la cual es la división estimada de fallas al año de todos los componentes críticos (alta, media y baja criticidad).

A continuación, se proyectan tres propuestas distintas:

1. Enfocado en eliminar las fallas presentadas por los componentes de media criticidad, se reduce a 35 fallas y un tiempo fuera de servicio de 3187 minutos al año, ya que, de 270 fallas totales se eliminarían 165 fallas con el primer plan de mantenimiento propuesto dando un total de 105 fallas en los tres años, al realizar la división resulta que son 35 fallas esperadas al año. De igual manera se muestra la diferencia de horas de ejecución en un año presentando una diferencia significativa de disminución entre el plan actual de 81:25:00 hrs y la primera propuesta mejorada de 52:30:00 hrs. Además, se presenta un costo estimado con el plan de mantenimiento actual de \$21.936.767 por la pérdida de producción anual, si bien la información del monto al aplicar el costo de mantenimiento no se pudo obtener, de todas maneras, se puede ver el beneficio que se obtiene al implementar la propuesta enfocada en RCM.
2. Enfocado en eliminar las fallas presentadas por los componentes de alta y media criticidad, se reduce a 30 fallas y un tiempo fuera de servicio de 2488 minutos al año, ya que, de 270 fallas totales se eliminarían 181 fallas con el segundo plan de mantenimiento propuesto dando un total de 89 fallas en los tres años, al realizar la división resulta que son 30 fallas esperadas al año. De igual manera se muestra la diferencia de horas de ejecución en un año presentando una diferencia significativa de disminución entre el plan actual de 81:25:00 hrs y la segunda propuesta mejorada de 41:00:00 hrs. Además, se presenta un costo estimado con el plan de mantenimiento actual de \$21.936.767 por la pérdida de producción anual, si bien

la información del monto al aplicar el costo de mantenimiento no se pudo obtener, de todas maneras, se puede ver el beneficio que se obtiene al implementar la propuesta enfocada en RCM.

3. Enfocado en eliminar las fallas presentadas por todos los componentes críticos (alta, media y baja criticidad), se reduce a 28 fallas y un tiempo fuera de servicio de 2392 minutos al año, ya que, de 270 fallas totales se eliminarían 187 fallas con el tercer plan de mantenimiento propuesto dando un total de 83 fallas en los tres años, al realizar la división resulta que son 28 fallas esperadas al año. De igual manera se muestra la diferencia de horas de ejecución en un año presentando una diferencia significativa de disminución entre el plan actual de 81:25:00 hrs y la segunda propuesta mejorada de 39:24:00 hrs. Además, se presenta un costo estimado con el plan de mantenimiento actual de \$21.936.767 por la pérdida de producción anual, si bien la información del monto al aplicar el costo de mantenimiento no se pudo obtener, de todas maneras, se puede ver el beneficio que se obtiene al implementar la propuesta enfocada en RCM.

CONCLUSIÓN

Al utilizar la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) es primordial para comprender la criticidad de los equipos que se encuentran dentro de una empresa. Esto facilita la definición de actividades de mantenimiento orientadas a garantizar la funcionalidad del activo. Para optimizar el plan de mantenimiento, fue fundamental trabajar en conjunto con el equipo de mantenimiento de HORSE CHILE, integrado por el jefe de mantenimiento y los técnicos mantenedores. Mediante reuniones junto al equipo de mantenimiento e información que mantenían como el historial de fallas se recopiló lo necesario sobre el proceso productivo, fallas recurrentes, costos asociados a las fallas, repuestos a reemplazar o utilizar, entre otros.

Con estos datos, se determinaron los criterios de evaluación y se jerarquizó los activos Liebherr LC120 según su criticidad, identificando el activo “Cre 31” como el más crítico de la planta.

A través de un análisis de criticidad se identificaron los componentes que más inconvenientes presentaron, resultando que el cargador es el componente más crítico del equipo. Mediante el uso del FMECA fue fundamental para reconocer la función, fallas funcionales, modos de falla y sus impactos del componente crítico. Debido a esta información, se propusieron e implementaron mejoras en el plan de mantenimiento existente, permitiendo prevenir o mitigar fallas funcionales que podrían detener la producción.

El análisis FMECA evidenció que existían varios puntos que faltaban mejorar en el mantenimiento, destacando que existían actividades de mantenimientos los cuales no serían realizados por los técnicos debido a que requerían de mucho tiempo de parada lo cual para la empresa no era conveniente.

Una vez realizado el análisis técnico – económico comparando el plan de mantenimiento actual con la propuesta del plan de mantenimiento mejorada, da a conocer el beneficio económico de \$9.966.954 CLP aproximadamente, con un máximo de 28 fallas esperadas en un año, asimismo reduciendo significativamente las horas de aplicación del plan de mantenimiento, por lo que existe una disminución del tiempo fuera de servicio del equipo. Implementar el mantenimiento centrado en confiabilidad resulta completamente factible, mejorando los procesos de mantenimiento y generando grandes beneficios económicos para la empresa.

BIBLIOGRAFÍA

- MOUBRAY, John M. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. 2a ed. Florida: North Carolina, 28803, USA, 2004.
- BALDI G, Carlos. Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM (diapositiva). Viña del mar, Chile: Departamento de Mecánica, Curso Gestión de Activos. 2023.
- ISO 14224:2016, Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment, 1 - 272, Ginebra, Suiza (2016)
- SAE. JA1011. Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. París, Francia. 1999. 12p.
- SAE. JA1012. Una guía para la Norma de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC). París, Francia. 2002. 62p.
- DUQUE R. Pablo. Ingeniería del mantenimiento RCM (diapositiva). Viña del mar, Chile: Departamento de Mecánica, Curso Ingeniería de Mantenimiento. 2024.

ANEXOS

ANEXO A: PLAN DE MANTENIMIENTO AUTÓNOMO HORSE CHILE

Máquina									
Liebherr LC120									
N°	Elementos	Método	Criterio	Herramientas	Periodo				
					T	D	S		
1	Sistema de seguridad de puertas	Inspección visual	Observar que se encuentran en buen estado y en funcionamiento	Visual				x	
2	Parada de emergencia	Mover botón y realizar inspección visual	Botón no debe estar suelto, ni dañado (fisurado). El botón no debe tener ningún tipo de objeto que dificulte el acceso, visión y funcionamiento. La parada de emergencia debe tener su arandela de color amarilla con leyenda "PARADA DE EMERGENCIA"	Visual / Manual				x	
3	Pernos inviolables	Inspección visual	Observar que dispositivo tenga perno instalado	Visual				x	
4	Switch seguridad puertas	Inspección visual	Deben estar en buen estado y funcionando	Visual				x	
5	Nivel de aceite de cabezal	Inspección visual	Nivel dentro de rango MAX / MIN	Visual	x				
6	Parada de emergencia en el panel	Mover botón y realizar inspección visual	Botón no debe estar suelto, ni dañado (fisurado). El botón no debe tener ningún tipo de objeto que dificulte el acceso, visión y funcionamiento. La parada de emergencia debe tener su arandela de color amarilla con leyenda "PARADA DE EMERGENCIA"	Visual / Manual				x	
7	Armario eléctrico	Tratar de abrir puertas	Verificar que se encuentren cerrados y bloqueados	Visual / Manual				x	
8	Aire acondicionado	Inspección visual	Temperatura en rango de 20 - 40 °C	Visual				x	
9	Unidad aceite de corte	Inspección visual	Nivel dentro de rango MAX / MIN	Visual	x				
10	Unidad de lubricación	Inspección visual	Nivel dentro de rango verde	Visual	x				
11	Unidad de refrigeración	Inspección visual	Nivel dentro de rango verde	Visual	x				
12	Mirilla unidad hidráulica	Inspección visual	Nivel dentro de rango verde	Visual	x				
13	Presión neumática	Inspección visual	Presión dentro de rango verde (4 y 8 bar)	Visual	x				
14	Vaso de unidad neumática	Inspección visual	Nivel dentro de rango verde	Visual				x	
15	Protecciones de la máquina	Inspección visual / manual	Deben estar fijas correctamente y en buenas condiciones. Las protecciones deben tener todos sus pernos de fijación	Visual / Manual				x	

ANEXO B: PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO ACTUAL

HORSE CHILE

			Conjunto: xxx						Designación: xxx						Instrucción: SCOBCR39					
												Sustitución piezas								
Subconjunto (20 C. Maxi)	Elemento (20 C. Maxi)	Operación a efectuar (60 C. Maxi)	Tiempo previsto (hh:mm:ss)	Periodicidad (3C.)	Estado máquina (3C.)	Valores límites (10 C. Maxi)	Herramienta (20 C. Maxi)	Gama (O/N)	Siste. Condi.	Cantidad y designación / ref. Prov. (40 C. Maxi)	Número MABEC (10 C.)	Nº gama (10 C. Maxi)	Nº intervención (10 C.)	AM (1 C.)	MP (1 C.)	Especialidad (2 C.)				
Electrico	Tablero electrico	Chequear estado y realizar limpieza	0:15:00	A01	AHT			N	S				A01ELAHT		X	EL				
Electrico	Tablero electrico	Chequear estado de conexiones electricas	0:30:00	A01	AHT			N	S				A01ELAHT		X	EL				
Electrico	Tablero electrico	Medir termografia	0:10:00	A01	MEP			N	S				A01ELMEP		X	EL				
Electrico	Tablero electrico	Reapretar borneras, conectores y conexio	0:20:00	A01	AHT			N	S				A01ELAHT		X	EL				
Electronico	Tablero electrico	Cambiar batería suministro electricidad	0:01:00	A01	AST			N	S				A01ENAST		X	EN				

Mecanico	Carro axial	Cambio de aceite	0:30:00	A01	AHT	4 l		N	S				A01GRAHT		X	GR
Mecanico	Bancada maquina	Cambiar el lubricante refrigerador	0:30:00	A01	AHT	700 l		N	S				A01GRAHT		X	GR
Hidraulico	Unidad hidraulico	Cambio de filtro hidraulico	0:30:00	A01	AHT			N	S				A01MCAHT		X	MC
Hidraulico	Unidad hidraulico	Cambio de aceite hidraulico	0:30:00	A01	AHT	116 l		N	S				A01MCAHT		X	MC
Mecanico	Engrase circulacion	Cambiar la unidad filtrante	0:30:00	A01	MHP			N	S				A01MCMHP		X	MC
Mecanico	Inter. manometrico	Ajustar acuerdo a manual sistema fluidos	0:30:00	A01	MEP			N	S				A01MCMEP		X	MC
Mecanico	Fil espiral/raspador	Comprobar el juego de los cojinetes (vib	0:15:00	A01	AHT			N	S				A01MCAHT		X	MC
Mecanico	Fil espiral/raspador	Limpia filtro	0:15:00	A01	AHT			N	S				A01MCAHT		X	MC
Mecanico	Fil espiral/raspador	Cambiar conjunto de juntas	0:15:00	A01	AHT			N	S				A01MCAHT		X	MC
Mecanico	Sistema hidr / neum	Chequear estanqueidad de los bloques de	0:10:00	A01	AHT			N	S				A01MCAHT		X	MC
Mecanico	Bancada maquina	Chequear estado y tension cadena de tran	0:15:00	A01	AHT	15-oct		N	S				A01MCAHT		X	MC

Mecanico	Accionamiento mesa	Comprobar estanqueidad del cilindro hidr	0:05:00	A01	MEP			N	S				A01MCMEP		X	MC
Mecanico	Conveyor	Lubricar el husillo de rosca de bolas	0:10:00	A01	AHT			N	S				A01MCAHT		X	MC
Mecanico	Conveyor	Lubricar las barras de guia	0:10:00	A01	AHT			N	S				A01MCAHT		X	MC
Mecanico	Accionamiento radial	Revisar las correas dentadas en previsio	0:20:00	A01	AHT			N	S				A01MCAHT		X	MC
Mecanico	Accionamiento radial	Revisar la tension de la correa dentada	0:30:00	A01	AHT			N	S				A01MCAHT		X	MC
Electronico	Tablero electrico	Cambiar la bateria de la ncu	0:10:00	A03	AST			N	S				A03ENAST		X	EN
Electronico	Tablero electrico	Cambiar la bateria de la pcu	0:10:00	A06	AHT			N	S				A06ENAHT		X	EN
Hidraulico	Circuito hidraulico	Sustituir mangueras hidraulicas	1:20:00	A06	AHT			N	S				A06MCAHT		X	MC
Electronico	Sensores	Apretar y reemplazar elementos inoperati	0:15:00	S04	AST			N	S				S04ENAST		X	EN
Mecanico	Fil espiral/raspador	Chequear estanqueidad	0:15:00	S04	MEP			N	S				S04MCMEP		X	MC

Mecanico	Fil espiral/raspador	Limpiar las tuberías	0:15:00	S04	AHT			N	S				S04MCAHT		X	MC
Electrico	Parada emergencia	Chequear funcionamiento	0:05:00	S04	MEP			N	S				S04ELMEP		X	EL
Electrico	Puertas de acceso	Chequear que maquina no inicie ciclo con	0:05:00	S04	MEP			N	S				S04ELMEP		X	EL
Neumatico	Electrovalvulas	Apretar conectores electrovalvulas	0:05:00	S04	AHT			N	S				S04ELAHT		X	EL
Electrico	Chapas de seguridad	Rev estado y realizar prueba de func	0:05:00	S04	MHP			N	S				S04ELMHP		X	EL
Electrico	Parada de emergencia	Rev fijación a tablero, enclavamiento mecánico de activación	0:10:00	S04	AST			N	S				S04ELAST		X	EL
Electrico	Parada de emergencia	Reapriete de conexiones y rev canalización de cableado	0:10:00	S04	AST			N	S				S04ELAST		X	EL
Electrico	Parada de emergencia	Verif de cableado completo sin cortes ni exposición a golpes	0:10:00	S04	AST			N	S				S04ELAST		X	EL
Electrico	Parada de emergencia	Confirmación de activación de parada de emergencia en plc	0:10:00	S04	AST			N	S				S04ELAST		X	EL
Electronico	Sensores	Limpiar lente y ajustar sensores	0:15:00	S04	AST			N	S				S04ENAST		X	EN

Electronico	Tablero electrico	Realizar copias de seguridad software	0:20:00	S04	AST			N	S				S04ENAST		X	EN
Electronico	Hmi y pantallas	Chequear estado de funcionamiento y lim	0:05:00	S04	AST			N	S				S04ENAST		X	EN
Neumatico	Unidad neum. (frt)	Realizar purgado vaso decantador de agua	0:05:00	S04	MEP	-		N	S				S04MCMEP		X	MC
Neumatico	Unidad neum. (frt)	Chequear presion de trabajo(bar)	0:05:00	S04	MEP	4,5 a 6		N	S				S04MCMEP		X	MC
Neumatico	Circuito neumatico	Chequear estado de mangueras y racor	0:05:00	S04	MEP			N	S				S04MCMEP		X	MC
Neumatico	Circuito neumatico	Chequear y corregir posibles fugas	0:05:00	S04	MEP			N	S				S04MCMEP		X	MC
Hidraulico	Unidad hidraulico	Chequear y corregir presion de trabajo	0:05:00	S04	MEP	70 bar		N	S				S04MCMEP		X	MC
Hidraulico	Circuito hidraulico	Chequear estado de mangueras y niples	0:10:00	S04	MHP			N	S				S04MCMHP		X	MC
Hidraulico	Circuito hidraulico	Chequear estanqueidad de conexiones hydr	0:10:00	S04	MEP			N	S				S04MCMEP		X	MC
Hidraulico	Electrovalvulas	Apretar conectores electrovalvulas	0:05:00	S04	AHT			N	S				S04MCAHT		X	MC

Hidraulico	Valvulas hydraulicas	Chequear estanqueidad de valvulas	0:05:00	S04	MEP			N	S				S04MCMEP		X	MC
Mecanico	Fil espiral/raspador	Comprobar si el filtro esta desgastado y	0:15:00	S04	AHT			N	S				S04MCAHT		X	MC
Mecanico	Carro axial	Chequear nivel de aceite dentro de rango	0:02:00	S04	MEP			N	S				S04MCMEP		X	MC
Mecanico	Puertas de acceso	Controlar integridad juntas de goma en l	0:10:00	S04	MHP			N	S				S04MCMHP		X	MC
Mecanico	Conveyor	Controlar y lubricar las chapas deslizan	0:05:00	S04	AHT			N	S				S04MCAHT		X	MC
Mecanico	Pallet porta pieza	Control estado (posible desgaste)	0:10:00	S04	MHP			N	S				S04MTMHP		X	MT
Mecanico	Apoyo pieza	Controlar alabeo	0:10:00	S04	MHP			N	S				S04MTMHP		X	MT
Mecanico	Disp. toma pieza	Controlar centraje	0:10:00	S04	MHP			N	S				S04MTMHP		X	MT
Mecanico	Garra toma pieza	Controlar estado (desgaste)	0:10:00	S04	MHP			N	S				S04MTMHP		X	MT
Mecanico	Arbol porta fresa	Controlar estado (posible desgaste)	0:10:00	S04	MHP			N	S				S04MTMHP		X	MT

Mecanico	Suple porta fresa	Controlar estado (posible desgaste)	0:10:00	S04	MHP			N	S				S04MTMHP		X	MT
Mecanico	Desbardadores	Controlar estado y desgaste de cuchillos	0:10:00	S04	MHP			N	S				S04MTMHP		X	MT
Mecanico	Separadores guias	Chequear estado y remover virutas	0:25:00	S12	MHP			N	S				S12MCMHP		X	MC
Mecanico	Purificador de aire	Limpiar purificador electrostatico de ai	0:45:00	S12	AHT			N	S				S12MCAHT		X	MC
Electrico	Motores electricos	Medir consumo de motores	0:20:00	S24	MEP	I < in		N	S				S24ELMEP		X	EL
Electrico	Motores electricos	Realizar termografia a motores	0:15:00	S24	MEP			N	S				S24ELMEP		X	EL
Electrico	Motores electricos	Chequear estado de aspas y giro libre v	0:15:00	S24	AHT			N	S				S24ELAHT		X	EL
Electrico	Motores electricos	Controlar los motores con respecto a rui	0:15:00	S24	MEP			N	S				S24ELMEP		X	EL
Electrico	Motores electricos	Compruebe el apriete de las clavijas de	0:15:00	S24	AHT			N	S				S24ELAHT		X	EL
Electrico	Motores electricos	Chequear estado de conexiones electricas	0:15:00	S24	AHT			N	S				S24ELAHT		X	EL

Electrico	Panel de control	Limpiar, corregir danos y reemplazar luc	0:20:00	S24	AST			N	S				S24ELAST		X	EL
Electronico	Tablero electrico	Apretar y limpiar conexiones de comunica	0:30:00	S24	AST			N	S				S24ENAST		X	EN
Electronico	Tablero electrico	Chequear estado y funcionamie nto cables	0:30:00	S24	AST			N	S				S24ENAST		X	EN
Neumatico	Unidad neum. (frit)	Cambiar elemento filtrante	0:15:00	S24	AHT			N	S				S24MCAHT		X	MC
Hidraulico	Unidad hidraulico	Limpieza filtro hidraulico	0:30:00	S24	AHT			N	S				S24MCAHT		X	MC
Mecanico	Maquina	Chequear dispositivos de sujecion cables	0:10:00	S24	AHT			N	S				S24MCAHT		X	MC
Mecanico	Extractor de viruta	Chequear estado y tension cadena de tran	0:10:00	S24	AHT			N	S				S24MCAHT		X	MC

ANEXO C: TABLA DIAGRAMA DE PARETO COMPONENTES MECÁNICOS

Componentes mec.	Producto	% Rel	% Rel Acu
Cargador	2096	17,4%	17,4%
Garra	1871	15,6%	33,0%
Pinza	1760	14,6%	47,6%
Eje	1306	10,9%	58,5%
Porta pieza	1109	9,2%	67,7%
Pallet	740	6,2%	73,8%
Fresa	679	5,6%	79,5%
Tirante	670	5,6%	85,0%
Contrasoporte	631	5,2%	90,3%
Desbarbador	325	2,7%	93,0%
Filtro	185	1,5%	94,5%
Cinta transportadora	148	1,2%	95,8%
Pivote	135	1,1%	96,9%
Contrapunta	122	1,0%	97,9%
Programación CNC	111	0,9%	98,8%
Módulo	76	0,6%	99,4%
Sinfín	67	0,6%	100%
	12031	100%	

ANEXO D: TABLA DIAGRAMA DE PARETO COMPONENTES ELÉCTRICOS/ELECTRÓNICOS

Componentes electr.	Producto	% Rel	% Rel Acu
Sensor garra	1278	48,2%	48,2%
Sensor pieza	371	14,0%	62,2%
Sensor cargador	317	11,9%	74,1%
Sensor pallet	249	9,4%	83,5%
Motor contrapunta	180	6,8%	90,3%
Encendido	100	3,8%	94,0%
Sensor contrapunta	60	2,3%	96,3%
Toma pieza	53	2,0%	98,3%
Sensor desbarbador	45	1,7%	100%
	2653	100%	

ANEXO E: TABLA DIAGRAMA DE PARETO COMPONENTES DE LUBRICACIÓN

Componentes lub. ▾	Producto ▾	% Rel ▾	% Rel Acu ▾
Nivel aceite corte	187	55,0%	55,0%
Sist. hidráulico	100	29,4%	84,4%
Nivel aceite	53	15,6%	100%
	340	100%	

ANEXO F: TABLA DETALLADA DE CÁLCULO ÍNDICE DE CRITICIDAD

Componente Crítico ▾	FF ▾	TR ▾	ISHA ▾	CO ▾	IF ▾	IC ▾	Criticidad ▾
Cargador	3	2	2	4	3	33	
Garra	3	2	1	3	3	27	
Pinza	3	2	1	3	3	27	
Porta pieza	3	2	1	2	3	24	
Eje	2	2	3	3	3	22	
Fresa	2	2	3	2	3	20	
Sensor garra	2	2	2	3	3	20	
Pallet	3	1	1	2	2	18	
Tirante	2	2	1	2	3	16	
Sensor pieza	2	1	2	2	3	16	
Sensor cargador	2	1	2	2	3	16	
Sensor pallet	2	1	2	2	3	16	
Equipo de frio	2	2	2	2	2	16	
Extractor	2	1	3	2	2	16	
Nivel aceite corte	2	1	2	1	2	12	
Sist. hidráulico	1	2	2	1	3	8	