



**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MECÁNICA**

PLANIFICACIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA SELECCIONADORA DE PALTAS EN BASE A CONFIABILIDAD

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL MECÁNICO**

PROF. GUÍA: FRANCISCO FUENTES SALCEDO

FRANCISCO ROMO BUSTOS

CURICÓ - CHILE

2021

CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su encargado Biblioteca Campus Curicó certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



UNIVERSIDAD DE TALCA
DIRECCIÓN
SISTEMA DE BIBLIOTECAS

UNIVERSIDAD DE TALCA
SISTEMA DE BIBLIOTECAS
CAMPUS CURICO

Curicó, 2022

AGRADECIMIENTOS

Es difícil poder mencionar a cada una de las personas que han sido parte en este largo camino profesional, profesores, asistentes de escuela, compañeros de carrera, etc. Pero si me quiero detener en agradecer a mis seres queridos que siempre estuvieron en el momento correcto para no decaer, a mis padres, hermanos y tía abuela son a quienes les debo mis más sinceros agradecimientos.

También quiero agradecer al apoyo incondicional que me ha brindado mi polola Melania, quien ha estado siempre a mi lado en gran parte de la etapa universitaria. Y además debo agradecer el compañerismo y amistad que surgió con mi colega Jorge.

DEDICATORIA

Esta dedicatoria va dirigida a mis padres quienes incansablemente estuvieron a mi lado apoyándome cada vez que los necesité, que me formaron con valores que hoy en día muy poco se ven en nuestra sociedad al igual que mis hermanos quienes estuvieron preocupados desde el inicio de mi formación.

*Dedicado a mis Padres
Eugenio Romo y Ana Bustos
Todo se los debo a ustedes*

RESUMEN

En la presente memoria de título se abordará un tema bien amplio y muy conocido dentro de la industria. Se trata de la elaboración de una planificación de mantenimiento a los componentes que han presentado fallas en una seleccionadora de paltas, por lo tanto, serán objeto de estudio para lograr obtener la frecuencia óptima de mantenimiento que deberán llevar a cabo. Dicho tema es vital dentro de una empresa que cuente con equipos industriales en uso continuo ya que permite la organización para un futuro cambio de componentes que ya cumplan con su vida útil. La necesidad surge por parte de los dueños de la máquina seleccionadora debido a que no se le realiza una mantención programada al equipo mencionado, es por ello por lo que surge la iniciativa de solucionarles esa problemática para que en un futuro se realice la mantención apropiada y así no volver a tener paradas por fallas sorpresivas de la máquina.

Se incorporará la literatura que sea de ayuda para desarrollar los objetivos, abordando lo que es el mantenimiento, análisis de confiabilidad, diagramas de dispersión, frecuencia de reemplazo de componentes, etc.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. ANTECEDENTES	2
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	2
1.3. SOLUCIÓN PROPUESTA	3
1.4. OBJETIVOS.....	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	3
1.5. RESULTADOS ESPERADOS	3
1.6. METODOLOGÍA	4
1.7. ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO	6
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	7
2.1. MANTENIMIENTO	8
2.1.1. Objetivo del Mantenimiento	8
2.1.2. Disponibilidad	10
2.1.3. Importancia del Mantenimiento	10
2.2. TIPOS DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL	11
2.2.1. Mantenimiento Correctivo.....	11
2.2.2. Mantenimiento Preventivo	13
2.2.3. Mantenimiento Predictivo	14
2.2.4. Mantenimiento Productivo Total (TPM).....	15
2.3. CONCEPTOS ASOCIADOS AL MANTENIMIENTO.....	16
2.3.1. Confiabilidad.....	16
2.3.2. Tiempo Medio para Fallar (MTTF).....	17
2.3.3. Tiempo Medio de Paradas (MDT).....	18
2.3.4. Tiempo Medio entre Fallas (MTBF).....	18

2.4.	MODELOS MATEMÁTICOS DE PROBABILIDAD DE FALLAS	19
2.4.1.	Modelo de Weibull para Confiabilidad	19
2.5.	SELECCIÓN DE ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO	20
2.6.	EXCELENCIA EN LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO	21
2.7.	VARIABLES DEL MANTENIMIENTO.....	21
2.8.	POLÍTICAS Y ACCIONES DE MANTENIMIENTO.....	22
2.9.	DIAGRAMA DE PARETO	23
2.10.	DIAGRAMA DE JACK-KNIFE	25
2.11.	ANÁLISIS DE MANTENCIONES	26
2.12.	FRECUENCIA ÓPTIMA DE MANTENIMIENTO	27
	CAPÍTULO 3. DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN A LA PROBLEMÁTICA.....	28
3.1.	RECOPIACIÓN DE DATOS HISTÓRICOS.....	29
3.2.	ESTIMACIÓN DE WEIBULL.....	29
3.3.	DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINA SELECCIONADORA.....	30
3.3.1.	Componentes Principales de la Seleccionadora.....	34
	CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	36
4.1.	SELECCIONADORA MP-20005	37
4.2.	AnÁLISIS DE FALLAS	37
4.3.	DETALLE DE CADA UNA DE LAS FALLAS	40
4.3.1.	Rodamiento 1	40
4.3.2.	Rodamiento 2.....	42
4.3.3.	Rodamiento 3.....	44
4.3.4	Rodamiento 4.....	46
4.3.5	Correa Dentada.....	48
4.3.6.	Engranaje	50
4.4.	ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO.....	52
4.5.	COSTOS CALCULADOS PARA CAMBIO PREVENTIVO Y CORRECTIVO..	54

4.5.1. Cambio de Rodamiento 1	54
4.5.2. Cambio de Rodamiento 2	55
4.5.3. Cambio de Rodamiento 3	56
4.5.4. Cambio de Rodamiento 4	57
4.5.5. Cambio de Correa	58
4.5.6. Cambio del Engranaje	59
4.6. PLANIFICACIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	60
DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	61
REFERENCIAS	63
ANEXO 1:	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Curva de la bañera. fuente: Matías Valenzuela, 2020	17
Figura 1.2: desglose del tiempo medio entre fallas. Fuente: Matías Valenzuela, 2020 ..	18
Figura 2.3: Curva de la bañera en modelo Weibull. Fuente: Matías Valenzuela, 2020 ...	19
Figura 2.4: Diagrama de Pareto. Fuente: "El Arte de Mantener", Rodrigo Pascual	24
Figura 2.5: Diagrama de Jack Knife. Fuente: "Análisis de fallas en equipos industriales", Gabriel Barrientos	25
Figura 2.6: Ejemplo de Mantenimiento Programada v/s No Programada	26
Figura 3.1: Máquina Seleccionadora. Fuente: Fotos entregadas por la Empresa.....	32
Figura 3.2: Máquina Seleccionadora. Fuente: Fotos entregadas por la Empresa.....	32
Figura 3.3: Rodillos Calibradores. Fuente: Fotos entregadas por la Empresa	33
Figura 3.4: Cinta Transportadora. Fuente: Fotos entregadas por la Empresa	33
Figura 3.5: Motor Eléctrico 1 HP. Fuente: Sodimac.cl.....	34
Figura 3.6: Cinta Transportadora. Fuente: Ingemaq	34
Figura 3.7: Rodamiento de Bolas. Fuente: SKF.cl.....	35
Figura 3.8: Polea y Correa Dentada. Fuente: Aliexpress.com	35
Figura 4.1: Planificación de Mantenimiento Preventivo. Fuente: Elaboración Propia ...	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Análisis de Pareto. Fuente: "El Arte de Mantener", Rodrigo Pascual	24
Tabla 3.1: Características Seleccionadora. Fuente: Elaboración Propia	31
Tabla 3.2: Tabla de Características del Motor. Fuente: Elaboración Propia	34
Tabla 3.3: Tabla de Características de la cinta. Fuente: Ingemaq.....	34
Tabla 4.1: Fallas de la Seleccionadora. Fuente: Elaboración Propia.....	37
Tabla 4.2: Datos para elaborar Diagrama de Pareto. Fuente: Elaboración Propia	37
Tabla 4.3: Tiempo entre fallas del Rodamiento 1. Fuente: Elaboración Propia.....	40
Tabla 4.4: Regresión Lineal del Rodamiento 1. Fuente: Elaboración Propia	41
Tabla 4.5: Parámetros de la Regresión de Weibull. Fuente Elaboración Propia	41
Tabla 4.6: Tiempo entre Falla Rodamiento 2. Fuente: Elaboración Propia	42
Tabla 4.7: Regresión Lineal del Rodamiento 2. Fuente: Elaboración Propia	43
Tabla 4.8: Parámetros de la Regresión de Weibull. Fuente: Elaboración Propia	43
Tabla 4.9: Tiempo entre Falla Rodamiento 3. Fuente: Elaboración Propia	44
Tabla 4.10: Regresión Lineal del Rodamiento 3. Fuente: Elaboración Propia	45
Tabla 4.11: Parámetros de la Regresión de Weibull. Fuente: Elaboración Propia	45
Tabla 4.12: Tiempo entre Falla Rodamiento 4. Fuente: Elaboración Propia	46
Tabla 4.13: Regresión Lineal del Rodamiento 4. Fuente: Elaboración Propia	47
Tabla 4.14: Parámetros de la Regresión de Weibull. Fuente: Elaboración Propia	48
Tabla 4.15: Tiempo entre fallas de la Correa Dentada. Fuente: Elaboración Propia.....	48
Tabla 4.16: Regresión Lineal de la Correa Dentada. Fuente: Elaboración Propia	49
Tabla 4.17: Parámetros de la Regresión de Weibull. Fuente: Elaboración Propia	49
Tabla 4.18: Tiempo entre fallas del Engranaje. Fuente: Elaboración Propia	50
Tabla 4.19: Regresión Lineal del Engranaje. Fuente: Elaboración Propia	51
Tabla 4.20: Parámetros de la Regresión de Weibull. Fuente: Elaboración Propia	51
Tabla 4.21: Valores de HH trabajada	53

Tabla 4.22: Costos de los Repuestos Nuevos. Fuente: Elaboración Propia	53
Tabla 4.23: Tiempos de duración en mantenimiento Preventivo y Correctivo. Fuente: Elaboración Propia.....	53
Tabla 4.24: Costo Mant. Preventivo del Rodamiento 1. Fuente: Elaboración Propia	54
Tabla 4.25: Costo Mant. Correctivo para el Rodamiento 1. Fuente: Elaboración Propia	54
Tabla 4.26: Costo Mant. Preventivo del Rodamiento 2. Fuente: Elaboración Propia	55
Tabla 4.27: Costo Mant. Correctivo del Rodamiento 2. Fuente: Elaboración Propia.....	55
Tabla 4.28: Costo Mant. Preventivo del Rodamiento 3. Fuente: Elaboración Propia	56
Tabla 4.29: Costo Mant. Correctivo del Rodamiento 3. Fuente: Elaboración Propia.....	56
Tabla 4.30: Costo Mant. Preventivo del Rodamiento 4. Fuente: Elaboración Propia	57
Tabla 4.31: Costo Mant. Correctivo del Rodamiento 4. Fuente: Elaboración Propia.....	57
Tabla 4.32: Costo Mant. Preventivo de Correa. Fuente: Elaboración Propia.....	58

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1: Diagrama de Pareto. Fuente: Elaboración Propia.....	38
Gráfico 4.2: Gráfica Ecuación de la Recta. Fuente Elaboración Propia	40
Gráfico 4.3: Confiabilidad Rodamiento 1. Fuente: Elaboración Propia.....	42
Gráfico 4.4: Gráfica Ecuación de la Recta. Fuente: Elaboración Propia	43
Gráfico 4.5: Confiabilidad Rodamiento 2. Fuente: Elaboración Propia.....	44
Gráfico 4.6: Gráfica Ecuación de la Recta. Fuente: Elaboración Propia	45
Gráfico 4.7: Confiabilidad Rodamiento 3. Fuente: Elaboración Propia.....	46
Gráfico 4.8: Gráfica Ecuación de la Recta. Fuente: Elaboración Propia	47
Gráfico 4.9: Confiabilidad Rodamiento 4. Fuente: Elaboración Propia.....	48
Gráfico 4.10: Gráfica Ecuación de la Recta. Fuente: Elaboración Propia	49
Gráfico 4.11: Confiabilidad Correa Dentada. Fuente: Elaboración Propia.....	50
Gráfico 4.12: Gráfica Ecuación de la Recta. Fuente: Elaboración Propia	51
Gráfico 4.13: Confiabilidad del Engranaje. Fuente: Elaboración Propia	52
Gráfico 4.14: Gráfico de Frecuencia de Cambio del Componente. Fuente: Elaboración Propia.	54
Gráfico 4.15: Gráfico de Frecuencia de Cambio del Componente. Fuente: Elaboración Propia.	55
Gráfico 4.16: Gráfico de Frecuencia de Cambio del Componente. Fuente: Elaboración Propia.	56
Gráfico 4.17: Gráfico de Frecuencia de Cambio del Componente. Fuente: Elaboración Propia.	57
Gráfico 4.18: Gráfico de Frecuencia de Cambio del Componente. Fuente: Elaboración Propia.	58
Gráfico 4.19: Gráfico de Frecuencia de Cambio del Componente. Fuente: Elaboración Propia.	59

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

La importancia de un buen mantenimiento no sólo conlleva un ahorro de costos en un determinado plazo de tiempo, sino que también aporta a la seguridad de los operadores, mantiene la continuidad del proceso y asegura la minimización de los tiempos de inactividad, genera una eficiencia energética y optimiza el rendimiento del equipo en uso con el fin de alargar su vida útil.

La motivación del presente tema surge debido a que el equipo de estudio no llevaba incorporada una guía para poder realizar una debida mantención a sus componentes y así no sufrir la paralización indefinida del equipo debido a una falla indeterminada producto de la falla de algún componente ya sea de carácter fortuito o por el fin de la vida útil del componente en cuestión.

1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad, dentro de una empresa es vital considerar como esencial el mantenimiento de los equipos encargados de la producción. Este mantenimiento es realizado por el área de mecánica quienes se encargan de la revisión de los equipos debido a que, a lo largo de su uso, los activos sufren deterioros que son propios de la operación a la que se ven sometidos, así como también debido al paso del tiempo sin ser revisados periódicamente, por lo que las reparaciones de componentes o el reemplazo completo de equipos son actividades que se encuentran ya contempladas como necesarias para el correcto desempeño del negocio.

Es fundamental que los equipos que mantienen un uso continuo sean revisados periódicamente, puesto que si el equipo falla se gastará tiempo en revisar donde se produjo la falla y luego saber cuál fue el componente que falló. Lo anterior genera un retraso en el proceso productivo por ende se traduce en pérdidas monetarias que en la mayoría de los casos pudo haber sido evitada con un plan de mantenimiento basado en la frecuencia óptima de cambio de los componentes que permitan dar a conocer cada cuánto tiempo la máquina debe ser inspeccionada, y cuando deben ser reemplazados sus componentes de acuerdo a la vida útil que indica el fabricante.

Es por lo mencionado anteriormente que surge la idea de realizar un plan de mantenimiento a los componentes que han presentado fallas en la seleccionadora de paltas de la empresa Agrícola y Comercializadora El Valle SPA, debido a que cuentan con el equipo operativo, pero sin una guía técnica para realizarle su correspondiente mantención. La seleccionadora fue adquirida el año 2017, y dentro de dicho tiempo ha tenido fallas en algunos de sus componentes y sólo han sido cambiados, por ende, es necesaria una mantención periódica del equipo.

1.3. SOLUCIÓN PROPUESTA

A partir de la problemática descrita en el párrafo anterior es que se ha decidido implementar una planificación de mantenimiento del tipo preventivo a los componentes que han presentado fallas en la seleccionadora de frutas con el objetivo de asegurar un óptimo funcionamiento del equipo sobre todo en temporada de alta demanda evitando así que ocurra un paro inesperado en la línea de producción y que además genere retrasos indeterminados, por ende, se busca que los tiempos de detención de la máquina sean mínimos.

Para poder realizar el plan de mantenimiento de carácter preventivo es necesario hacer un análisis de vida de los distintos componentes que ha presentado fallas en el equipo seleccionador a lo largo del tiempo. Se escoge el plan preventivo ya que la reparación y el reemplazo de componentes o de la máquina completa llevando a cabo la manera correctiva implica contar con más tiempo que al realizarlo del modo preventivo debido principalmente a la preparación que conlleva el mantenimiento (la disposición de los repuestos para realizar el mantenimiento, disposición de personal en caso de que la falla ocurra fuera de horario laboral, etc.)

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

“DISEÑAR UNA PLANIFICACIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA UNA SELECCIONADORA DE PALTAS EN BASE A CONFIABILIDAD BASADO EN INFORMACIÓN HISTÓRICA DE FALLAS Y ESTUDIO DE LAS VARIABLES EN LA PRODUCCIÓN”

1.4.2. Objetivos específicos

- Realización del estado del arte de acuerdo a lo que conlleva el mantenimiento y los tipos de mantenimiento.
- Realización de análisis de confiabilidad de acuerdo con información recopilada en el tiempo de uso del equipo.
- Definir costos asociados a los componentes de la máquina seleccionadora.
- Estimar frecuencia óptima de mantenimiento de carácter preventivo de los distintos componentes que incorpora el equipo.

1.5. RESULTADOS ESPERADOS

Con el desarrollo de esta memoria se quiere lograr obtener como primer resultado, un informe científico que contenga un análisis detallado de un tema tan amplio como es el mantenimiento, abordando el tema central de este informe que consiste en la

planificación de mantenimiento de los componentes que tuvieron fallas en la máquina seleccionadora y así obtener una programación de sus futuras mantenciones.

Para lograr llevar a cabo este informe de carácter científico, se debe comenzar por el desarrollo del primer objetivo específico para con ello lograr entender la importancia que tiene el mantenimiento dentro de la industria, así como también los distintos tipos de mantenimiento que se pueden implementar, también se espera presentar el objetivo fundamental que tiene el mantenimiento.

Posteriormente se espera llevar a cabo los siguientes objetivos específicos, en donde se debe presentar un análisis de confiabilidad de acuerdo con datos históricos de posibles paros para mantenimiento de la máquina, recopilados por parte de la empresa a cargo. Así también se espera realizar un análisis de los costos asociados a los componentes que se deben reemplazar periódicamente de acuerdo con las mantenciones a realizar.

Finalmente se espera realizar la frecuencia óptima para llevar a cabo las mantenciones de carácter preventivo del equipo, de acuerdo con la vida útil de los distintos componentes que incorpora el equipo.

1.6. METODOLOGÍA

Objetivo General: “Diseñar una planificación de mantenimiento preventivo para una seleccionadora de paltas en base a confiabilidad basado en información histórica de fallas y estudio de las variables en la producción”

Objetivos Específicos:

- ❖ **Realización del estado del arte de acuerdo a lo que conlleva el mantenimiento y los tipos de mantenimiento**
- **Actividades:**
 - Recopilación de información acerca del mantenimiento.
 - Objetivos del mantenimiento.
 - Importancia del mantenimiento.
 - Tipos de mantenimiento.
- **Recursos y tiempo:**
 - Microsoft Word, internet, libros, documentos, información de parte del profesor guía.
 - Para el desarrollo de este objetivo se contempla un tiempo de 3 semanas.
- **Resultados esperados:**
 - Estudio de todo lo que involucra el área de mantenimiento.
 - Conocer los objetivos principales del mantenimiento, así como también los tipos de mantenimiento que se usan en la industria.

❖ **Realización de análisis de confiabilidad de acuerdo con información recopilada en el tiempo de uso del equipo**

- Actividades:
 - Búsqueda de información respecto al análisis de sensibilidad y su importancia dentro del mantenimiento.
 - Recopilar información del equipo durante el tiempo de funcionamiento por parte de la empresa.
- Recursos y tiempo:
 - Computador, Microsoft Excel, internet, libros, información entregada por el profesor guía y datos del equipo por parte de la empresa.
 - El tiempo determinado para llevar a cabo este objetivo será de un mes y dos semanas.
- Resultados esperados:
 - Descripción del concepto de análisis de sensibilidad para abordarlo en este proyecto.
 - Interpretar los datos que entrega la empresa dueña de la máquina.

❖ **Definir costos asociados a los componentes de la máquina seleccionadora**

- Actividades:
 - Realizar cotizaciones de los componentes que están involucrados en cada mantención.
- Recursos y tiempo:
 - Computador, internet, Microsoft Excel, catálogos, información que entregue la empresa acerca de los componentes.
 - El tiempo determinado para llevar a cabo este objetivo es de un mes.
- Resultados esperados:
 - Obtener los costos por parte de los distribuidores en donde sean realizadas las cotizaciones.

❖ **Estimar frecuencia óptima de mantenimiento de carácter preventivo de los distintos componentes que incorpora el equipo**

- Actividades:

- De acuerdo con la realización de los objetivos anteriores se realizará una estimación de los tiempos necesarios para el mantenimiento óptimo de los componentes de la máquina seleccionadora.
- Recursos y tiempo:
 - Computador, Microsoft Word, datos que entregue la empresa y el profesor guía.
 - Para este objetivo se estimará un tiempo de dos meses.
- Resultados esperados:
 - Estimar cada cuánto tiempo será necesaria una mantención o el cambio de algún componente que incorpora la máquina seleccionadora.

1.7. ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO

A continuación, se mostrará la estructura general que presentará esta memoria:

En el capítulo inicial (capítulo I) se muestra una pequeña dedicatoria, agradecimientos y un breve resumen del tema a abordar en esta memoria. En los puntos siguientes como lo es la problemática que se quiere resolver, la motivación de estudio, los objetivos a estudiar, los alcances, los resultados a esperar, y la metodología a llevar a cabo, con la finalidad de generar una comprensión general de la temática tratada. En cuanto al capítulo II el cual corresponde al estado del arte o marco teórico del problema lo que se busca mostrar es la recopilación de la información de carácter científica e ingenieril suficiente para ir dando solución a la problemática presentada, en donde se partirá mencionando todo lo correspondiente al tema de mantenimiento, sus objetivos y los distintos tipos que pueden implementarse en la industria. Posteriormente continúa el capítulo III correspondiente a la obtención de datos experimentales, en este capítulo se presentarán datos de carácter histórico pertenecientes al equipo a estudiar, la estimación según Weibull y otras metodologías. Además, se mencionarán los componentes principales que incorpora el equipo. En el siguiente capítulo (IV) se muestra el análisis de resultados, en este apartado se darán a conocer los resultados obtenidos de acuerdo con el análisis de sensibilidad y a los datos que fueron recopilados en el capítulo anterior. Por último, y dando finalización a la memoria en el capítulo V, mediante lo desarrollado en los capítulos ya mencionados anteriormente, se logrará en este apartado presentar las conclusiones y discusiones necesarias para dar validez al estudio realizado.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. MANTENIMIENTO

El mantenimiento es especialmente importante en los bienes necesarios para la producción de bienes y servicios. De este modo, todos aquellos elementos que se requieren como parte de un proceso de producción económico se probarán regularmente para llegar a una conclusión sobre su mantenimiento. Así, por ejemplo, la maquinaria necesaria en una fábrica y de la que depende la producción, seguramente contará con personal para asegurar su correcto funcionamiento diario, realizando el mantenimiento necesario para que esta circunstancia se produzca de forma regular. (AEC, 2019)

Se puede hacer una distinción entre los diferentes tipos de mantenimiento con el fin de dar una idea general de las posibilidades que pueden existir. Así, podemos referirnos a un mantenimiento vinculado a la conservación, es decir, a un conjunto de actividades encaminadas a revertir el deterioro causado por el uso; al mantenimiento preventivo, que trata de prevenir problemas y deficiencias en el futuro; al mantenimiento correctivo, cuando se realizan tareas que tienden a reparar defectos y problemas que se producen en el bien considerado; y, por último, al mantenimiento vinculado a la actualización de alguna característica del equipo. (AEC, 2019)

En áreas críticas donde los equipos deben estar siempre operativos, existen protocolos y un alto grado de sofisticación en las tareas de mantenimiento. Esto sucede principalmente porque cualquier fracaso puede resultar en pérdidas económicas significativas, por lo que es preferible asumir los costos del personal dedicado especialmente a esa tarea. Para ayudar a cumplir estos objetivos, también puede haber software especializado disponible para ayudar a los técnicos a realizar sus tareas de conservación. (AEC, 2019)

2.1.1. Objetivo del Mantenimiento

El mantenimiento se define como el conjunto de actividades que intentan compensar la degradación causada por el tiempo y el uso en equipos e instalaciones. Los departamentos de mantenimiento, teniendo en cuenta esta definición, intentan asegurar cuatro objetivos básicos: disponibilidad, fiabilidad, vida útil y costo. Este artículo detalla estos cuatro objetivos y cómo una gestión adecuada del mantenimiento ayuda a lograr estos resultados. (AEC, 2019)

El objetivo fundamental del mantenimiento no es, contrariamente a lo que se cree y practica en muchos departamentos de mantenimiento, reparar urgentemente las averías que se producen. El área de mantenimiento de una industria tiene cuatro objetivos que deben fijar y dirigir su trabajo:

- La disponibilidad de una instalación se define como la proporción de tiempo que la instalación ha sido capaz de producir, independientemente de si ha producido

o no finalmente por razones que van más allá de su estado técnico. El objetivo de mantenimiento más importante es garantizar que la instalación pueda producir un cierto número mínimo de horas al año. Es un error pensar que el objetivo de mantenimiento es lograr la mayor disponibilidad posible (100%) ya que esto puede llegar a ser muy caro, no rentable. Por lo tanto, en general, basta con alcanzar el objetivo de disponibilidad a un coste determinado. (AEC, 2019)

Los principales factores a tener en cuenta en el cálculo de la disponibilidad son los siguientes:

- Número total de horas de producción.
 - Número de horas de indisponibilidad total para producir, que puede deberse a diferentes tipos de acciones de mantenimiento
 - Número de horas de indisponibilidad parcial, es decir, el número de horas que la planta está lista para producir, pero con una capacidad inferior a la nominal debido al estado deficiente de una parte de la instalación, que le impide trabajar a plena carga.
- La confiabilidad es un indicador que mide la capacidad de una planta para cumplir con su plan de producción planificado. En una instalación industrial, normalmente se refiere al cumplimiento de la producción planificada, y generalmente comprometida con los clientes internos o externos. El incumplimiento de este programa de carga puede dar lugar a sanciones económicas, de ahí la importancia de medir este valor y tenerlo en cuenta a la hora de diseñar la gestión del mantenimiento de una instalación. (AEC, 2019)

Hay dos factores que deben tenerse en cuenta al calcular este indicador:

- Horas de producción anuales, como se detalla en el apartado anterior.
 - Horas anuales de parada o reducción de carga debido exclusivamente a mantenimiento correctivo no programado.
- El tercer objetivo importante de mantenimiento es garantizar una larga vida útil de la instalación. En otras palabras, las plantas industriales deben estar en un estado de degradación según lo previsto, de modo que ni la disponibilidad ni la fiabilidad ni el coste de mantenimiento queden fuera de sus objetivos durante un largo período de tiempo, normalmente en consonancia con el período de amortización de la planta. La vida útil de una instalación industrial típica suele estar comprendida entre 20 y 30 años, durante los cuales los objetivos de rendimiento y mantenimiento de la planta deben estar siempre dentro de los valores preestablecidos. (AEC,2019)

- El último objetivo corresponde a la vida útil, Un mantenimiento mal gestionado, con una baja proporción de horas dedicadas a tareas preventivas, bajo presupuesto, falta de recursos y personal y basado en reparaciones provisionales, provoca la rápida degradación de cualquier instalación industrial. Es característico de las plantas mal gestionadas, ya que a pesar de que ha transcurrido poco tiempo desde su puesta en marcha inicial, el aspecto visual no se corresponde con su juventud. (AEC,2019)

2.1.2. Indisponibilidad

Se define el tiempo total de indisponibilidad TDT en unidades de tiempo de la siguiente manera: (Pablo Viveros-Rodrigo Mena, 2016)

$$TDT(y) = yT_i + \frac{cT_b}{y} \quad (2.1)$$

Donde:

T_i : Tiempo de detención necesario para la inspección

T_b : Tiempo de indisponibilidad por falla del equipo

c : Constante de criticidad, se evalúa de 1 a 5 donde 1 es la menor criticidad

y : Número de inspecciones por unidad de tiempo

TDT : tiempo total de indisponibilidad en unidades de tiempo

2.1.3. Importancia del Mantenimiento

En el mundo actual estamos acostumbrados a hacer uso de todo tipo de Dispositivos Tecnológicos, teniendo la aplicación de diferentes ciencias y disciplinas que buscan darnos una mejora en nuestro bienestar, acercándonos a los servicios y satisfaciendo nuestras necesidades básicas para el desempeño de diferentes campos, desde los medios de transporte hasta algo tan básico como tener acceso a la luz, gas y agua en el hogar. Como es de suponer, su uso genera desgaste y ciertos tipos de falla, perdiendo progresivamente el rendimiento y las cualidades que tenían en el momento en que se consideran “De Fábrica” por lo que con el transcurso de los años es necesario un cambio, siendo esta necesidad pasible de prolongarse en un periodo mayor si se tienen los cuidados necesarios. (AEC, 2019)

Es por lo anterior que es momento de considerar la palabra “MANTENIMIENTO”, que consiste en la realización periódica de diferentes tareas que buscan conservar de la mejor manera posible las condiciones que presenta un Artículo Tecnológico, pudiendo

ser realizadas periódicamente o teniendo la necesidad de ser realizadas por un tiempo o periodo de uso determinado. (AEC,2019)

Uno de los ejemplos más prácticos que facilita a entender este concepto es el caso de la maquinaria dentro de la industria, donde se realizan diferentes tareas de mantenimiento programadas de acuerdo a las horas de trabajo realizadas y a la vida útil de los componentes que están incorporados en el equipo, realizando cambios de aceite, el reemplazo de los filtros, cambio de rodamientos, correas, así como de diferentes repuestos y piezas que son vitales para la operación, de lo contrario pueden ocurrir fallas que se derivarán en daños que tienen un costo de reparación muy alto e incluso cayendo en el cambio de la máquina por completo. (AEC,2019)

Pero no sólo se debe considerar la realización de tareas de mantenimiento como la sustitución o cambio de una pieza en particular, sino que también se debe realizar comprobaciones y mediciones periódicas de los diferentes niveles que recomiende o sugiera el fabricante. (AEC, 2019)

2.2. TIPOS DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

2.2.1. Mantenimiento Correctivo

Es el conjunto de actividades de reparación y sustitución de elementos deteriorados por repuestos nuevos, sustituidos cuando aparece el fallo. Este sistema resulta aplicable en sistemas complejos, normalmente componentes electrónicos o en los que es imposible predecir los fallos y en los procesos que admiten ser interrumpidos en cualquier momento y durante cualquier tiempo, sin afectar la seguridad. También para equipos que ya cuentan con cierta antigüedad. (Belén Muñoz, Mantenimiento Industrial)

Tiene como inconvenientes, que la falla puede sobrevenir en cualquier momento, muchas veces, el menos oportuno, debido justamente a que en esos momentos se somete al bien a una mayor exigencia. Asimismo, fallas no detectadas a tiempo, ocurridos en partes cuyo cambio hubiera resultado de escaso costo, pueden causar daños importantes en otros elementos o piezas que se encontraban en buen estado de uso y conservación. Otro inconveniente es que se debe disponer de un capital importante invertido en piezas de repuesto. (Belén Muñoz, Mantenimiento Industrial)

A priori puede parecer una de las políticas de mantenimiento más económica, ya que cuenta con varias ventajas desde el punto de vista operacional, tales como: (Matías Valenzuela, 2020)

- **Mayor tiempo entre mantenciones:** La principal ventaja del mantenimiento correctivo es que permite que los equipos operen hasta que estos fallan, alargando el tiempo entre mantenciones.
- **Reducción del coste de las reparaciones:** Dado que este mantenimiento solo se produce cuando la máquina falla, los trabajos de reparación no suelen ser muy frecuentes. El único gasto se produce en el momento de la intervención, sin que la empresa tenga que destinar presupuesto a las actividades de prevención. Eso sí, a la larga puede salir más caro.
- **Más tiempo trabajando:** En ocasiones, la avería de la máquina no impide su funcionamiento, aunque, ciertamente, puede que lo haga por debajo del rendimiento normal.
- **Mejora en la gestión de compras:** Después de realizar el mantenimiento correctivo por causa de alguna avería, el equipo debe aportar la información resultante sobre la incidencia. Si se hace con inteligencia, esto va a servir para programar con tiempo la compra de los repuestos necesarios.
- **Carga de trabajo del personal:** El hecho de que el personal tenga que trabajar en buenas condiciones para que el mantenimiento sea efectivo suele provocar que se conformen equipos muy fiables, altamente especializados para poder afrontar sus tareas con seguridad.

A pesar de lo anterior, este tipo de mantenimiento cuenta con ciertas desventajas que lo hacen indeseable, sobre todo en una operación continua. Entre aquellas desventajas se encuentran: (Matías Valenzuela, 2020)

- **Pérdida de producción:** Obviamente, cuando la maquinaria de una planta de producción falla, todo el proceso se detiene. Por muy eficiente que sea el mantenimiento correctivo, la producción va a sufrir un retraso que afectará a la planificación desarrollada.
- **Alto costo por mano de obra:** Cuando la maquinaria comienza a actuar de manera incorrecta, la empresa debe destinar a una parte de sus trabajadores para repararla. La urgencia que suele existir, para que la producción no se retrase, provoca que, muchas veces, se deban pagar horas extras o, incluso, contratar a personal ajeno.
- **Atraso en planes de mantenimiento:** Aunque depende mucho del tamaño de la empresa, en muchas los técnicos de mantenimiento son escasos. Si, por una avería, deben dedicarse a hacer trabajos correctivos, el mantenimiento preventivo se ve retrasado.

- **Altos costos por compras de repuestos:** A pesar de que sería deseable, es casi imposible que la empresa tenga en almacenaje todos los repuestos que pueden llegar a ser necesarios para solventar una avería. Esta circunstancia obliga a que, ante la necesidad de una intervención correctiva, se tenga que comprar de urgencia. La necesidad puede hacer que no haya tiempo suficiente para comparar precios o para negociar con el proveedor y acabar adquiriendo una pieza más cara.

2.2.2. Mantenimiento Preventivo

Es el conjunto de actividades programadas de antemano, tales como inspecciones regulares, pruebas, reparaciones, etc., encaminadas a reducir la frecuencia y el impacto de los fallos de un sistema. (Belén Muñoz, Mantenimiento Industrial)

Dentro de las principales ventajas que presenta un enfoque preventivo se destacan las siguientes: (Belén Muñoz, Mantenimiento Industrial)

- **Reducción de fallas y tiempos muertos:** Al programar el mantenimiento del equipo previo a que éste presente una avería, se evita la falla en sí y también se reduce el tiempo en preparar el mantenimiento, ya sea en desconexiones eléctricas, traslado de equipos a terreno, etc.
- **Disminución de mantenimiento correctivo:** Cuando se ejecutan los planes de mantenimiento preventivo de manera correcta, se reduce la cantidad de intervenciones correctivas o inesperadas que deben realizarse.
- **Programación y preparación:** Al ser un mantenimiento planeado con anterioridad, es posible programarlo para ser realizado en ciertas fechas y crear un plan de mantenimiento.

Este tipo de mantenimiento también presenta ciertas desventajas, las cuales se mencionan a continuación: (Belén Muñoz, Mantenimiento Industrial)

- **Cambios innecesarios:** al alcanzarse la vida útil de un elemento se procede a su cambio, encontrándose muchas veces que el elemento que se cambia permitiría ser utilizado durante un tiempo más prolongado. En otros casos, ya con el equipo desmontado, se observa la necesidad de "aprovechar" para realizar el reemplazo de piezas menores en buen estado, cuyo coste es escaso frente al correspondiente de desmontaje y montaje, con el fin de prolongar la vida del conjunto. Estamos ante el caso de una anticipación del reemplazo o cambio prematuro.
- **Problemas iniciales de operación:** cuando se desmonta, se montan piezas nuevas, se monta y se efectúan las primeras pruebas de funcionamiento,

pueden aparecer diferencias en la estabilidad, seguridad o regularidad de la marcha.

- **Costo en inventarios:** el costo en inventarios sigue siendo alto, aunque previsible, lo cual permite una mejor gestión.
- **Mano de obra:** se necesitará contar con mano de obra intensiva y especial para períodos cortos, a efectos de liberar el equipo para el servicio lo más rápidamente posible.
- **Mantenimiento no efectuado:** si por alguna razón, no se realiza un servicio de mantenimiento previsto, se alteran los períodos de intervención y se produce una degeneración del servicio.

Por lo tanto, la planificación para la aplicación de este sistema consiste en, definir qué partes o elementos serán objeto de este mantenimiento, establecer la vida útil de los mismos, determinar los trabajos a realizar en cada caso y agrupar los trabajos según época en que deberán efectuarse las intervenciones. (Belén Muñoz, Mantenimiento Industrial)

2.2.3. Mantenimiento Predictivo

Es el conjunto de actividades de seguimiento y diagnóstico continuo (monitorización) de un sistema, que permiten una intervención correctora inmediata como consecuencia de la detección de algún síntoma de falla. (Belén Muñoz, Mantenimiento Industrial)

El mantenimiento predictivo se basa en el hecho de que la mayoría de las fallas se producen lenta y previamente, en algunos casos, arrojan indicios evidentes de una futura falla, bien a simple vista, o bien mediante la monitorización, es decir, mediante la elección, medición y de algunos parámetros relevantes que representen el buen funcionamiento del equipo analizado. Por ejemplo, estos parámetros pueden ser: la temperatura, la presión, la velocidad lineal, la velocidad angular, la resistencia eléctrica, los ruidos y vibraciones, la rigidez dieléctrica, la viscosidad, el contenido de humedad, de impurezas y de cenizas en aceites aislantes, el espesor de chapas, el nivel de un fluido, etc. (Belén Muñoz, Mantenimiento Industrial)

En otras palabras, con este método, se trata de seguir la evolución de las futuras fallas. Este tipo de mantenimiento tiene la ventaja de que el seguimiento permite contar con un registro de la historia de la característica en análisis, sumamente útil ante fallos repetitivos; puede programarse la reparación en algunos casos, junto con la parada programada del equipo y existen menos intervenciones de la mano de obra en mantenimiento. (Belén Muñoz, Mantenimiento Industrial)

Algunas ventajas del mantenimiento predictivo son: (Matías Valenzuela, 2020)

- **Diagnósticos precisos de condición de componentes:** El monitoreo continuo del componente permite saber de manera certera cuando este se encuentra próximo a una falla, por lo que no es necesario realizar cambios antes de que se presente la falla, generando un ahorro en repuestos.
- **Facilidad de programación del mantenimiento:** Debido al seguimiento que se realiza en los equipos y su evolución a lo largo del tiempo, esta estrategia permite programar las actividades de mantenimiento con anticipación y la preparación frente a posibles deterioros del equipo.
- **Gran cantidad de datos respecto a vida útil de equipos:** La implementación de mantenimiento predictivo genera gran cantidad de registros respecto a la condición de los equipos a lo largo de su operación, lo que permite hacer planes de acción en base a dicha información histórica.

Entre las desventajas que presenta el mantenimiento predictivo se encuentran las siguientes: (Matías Valenzuela, 2020)

- **Costo de implementación:** En general, los costos asociados a la implementación de una estrategia de mantenimiento predictivo suelen ser altos, independientemente si se trata de un monitoreo básico o un sistema de monitoreo de gran envergadura.
- **Necesidad de personal altamente calificado:** Ya sea para realizar inspecciones o para operar los instrumentos y equipos necesarios para ejecutar el monitoreo, debe considerarse personal que cuente conocimientos y experiencia con estrategia de mantenimiento.

2.2.4. Mantenimiento Productivo Total (TPM)

Este sistema está basado en la concepción japonesa del "Mantenimiento al primer nivel", en la que el propio usuario realiza pequeñas tareas de mantenimiento como: reglaje, inspección, sustitución de pequeñas cosas, etc., facilitando al jefe de mantenimiento la información necesaria para que luego las otras tareas se puedan hacer mejor y con mayor conocimiento de causa. (Belén Muñoz, Mantenimiento Industrial)

Donde:

- Mantenimiento: Para mantener siempre las instalaciones en buen estado
- Productivo: Esta enfocado a aumentar la productividad
- Total: Implica a la totalidad del personal, (no solo al servicio de mantenimiento)

2.3. CONCEPTOS ASOCIADOS AL MANTENIMIENTO

2.3.1. Confiabilidad

La confiabilidad se define como la probabilidad de que un bien funcione adecuadamente durante un período determinado bajo condiciones operativas específicas (por ejemplo, condiciones de presión, temperatura, velocidad, tensión o forma de una onda eléctrica, nivel de vibraciones, etc.) (Belén Muñoz, Mantenimiento Industrial)

Se define la variable aleatoria T como la vida del bien o componente. Se supone que T tiene una función $F(t)$ de distribución acumulada expresada por: (Belén Muñoz, Mantenimiento Industrial)

$$F(t) = P(T \leq t) \quad (2)$$

Donde:

$$F(t) : \geq 0$$

T : Tiempo de Falla

Además, existe la función $f(t)$ de densidad de probabilidades expresada por la ecuación:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (3)$$

La función de fiabilidad $R(t)$, también llamada función de supervivencia se define como:

$$R(t) = P(T > t) = 1 - F(t) \quad (4)$$

En otras palabras, $R(t)$ es la probabilidad de que un componente nuevo sobreviva más del tiempo t . Por lo tanto, $F(t)$ es la probabilidad de que un componente nuevo no sobreviva más del tiempo t . (Belén Muñoz, Mantenimiento Industrial)

La Tasa de falla, $\lambda(t)$, se define como el número de fallas por unidad de tiempo. Consideremos un grupo de N componentes, en un tiempo t se han producido un total k fallas. El tiempo acumulado, T , viene dado por $N \cdot t$ y la tasa de falla estimada viene dada por: (Belén Muñoz, Mantenimiento Industrial)

$$\lambda = \frac{k}{T} \quad (5)$$

Donde: λ : Tasa de Fallas y k : Fallas totales

A continuación, en la siguiente Figura se muestra la “curva de la bañera”, en la cual se muestra la variación de la tasa de falla de un componente a lo largo del tiempo, y permite caracterizar la falla según su ubicación en la curva.

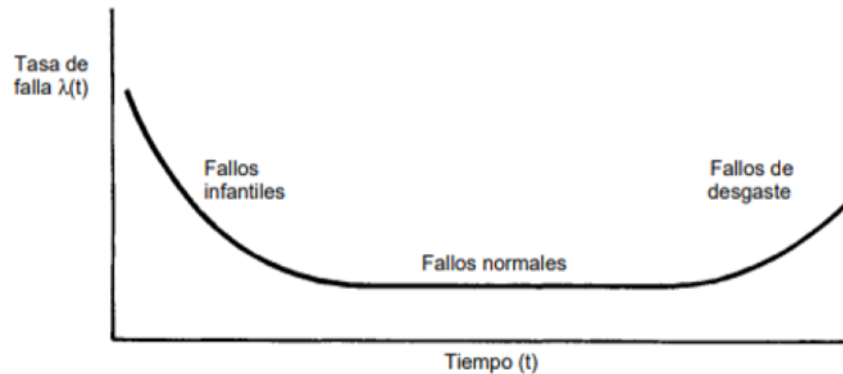


Figura 2.1: Curva de la bañera. fuente: Matías Valenzuela, 2020

- **Fallas tempranas o infantiles:** Se representan por la primera parte de la curva, las tasas de falla están asociadas con equipo nuevo y pueden ser causadas por partes faltantes, falta de capacitación de las personas que instalan el equipo, daño causado a los aparatos o dispositivos, o fallas por defectos de fabricación de las máquinas y por insuficiente asentamiento de las piezas o uniones. (Matías Valenzuela, 2020)
- **Fallas aleatorias o normales:** Este tipo de fallas son inesperadas y pueden surgir por sobrecargas o averías, causadas por factores externos que generan las fallas de las piezas. En esta zona de la curva se estima que los componentes estudiados pueden sufrir fallas de forma aleatoria en su funcionamiento. (Matías Valenzuela, 2020)
- **Fallas por desgaste u obsolescencia:** Se representan por la tercera parte de la curva y son las fallas debido a la obsolescencia del equipo ya sea por edad, fatiga, corrosión, abrasión, deterioro mecánico, hidráulico, o un bajo nivel de mantenimiento y reparación. (Matías Valenzuela, 2020)

2.3.2. Tiempo Medio para Fallar (MTTF)

Se define para un periodo determinado de tiempo en la vida de un componente como la razón entre el tiempo total acumulado y el número de fallas. Se calcula como la razón entre el tiempo total acumulado y el número de fallas. (Matías Valenzuela, 2020)

$$MTTF = \frac{k}{T} = \frac{1}{\lambda} \quad (6)$$

Donde:

k : Fallas totales

T : Tiempo total acumulado

λ : Tasa de Fallas

2.3.3. Tiempo Medio de Paradas (MDT)

Incluye el Tiempo Medio para Reparar (MTTR) que es función del diseño, herramientas disponibles, destreza y capacitación del personal, y del Tiempo Medio de Espera (MWT) que es función de la administración y el tiempo que se demore en detectar la falla. (Matías Valenzuela, 2020)

Otro parámetro útil es la tasa de reparación (μ). La cual es simplemente el tiempo medio para reparar expresado como una tasa: (Matías Valenzuela, 2020)

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \quad (7)$$

2.3.4. Tiempo Medio entre Fallas (MTBF)

A partir del MTTF y MTTR se define el concepto de Tiempo Medio Entre Fallas y corresponde a la suma entre el MTTR y el MTTF. (Matías Valenzuela, 2020)

En la siguiente Figura queda demostrado el tiempo medio entre fallas:



Figura 1.2: desglose del tiempo medio entre fallas. Fuente: Matías Valenzuela, 2020

2.4. MODELOS MATEMÁTICOS DE PROBABILIDAD DE FALLAS

2.4.1. Modelo de Weibull para Confiabilidad

Una de las distribuciones de probabilidad más utilizada para realizar análisis de confiabilidad es la distribución de Weibull, la cual es usada para modelar tasas de falla tanto crecientes como decrecientes. En este modelo la tasa de fallas se expresa como se observa a continuación: (Matías Valenzuela, 2020)

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (8)$$

Donde $\eta > 0, \beta > 0, t \geq 0$

Los parámetros que componen a la distribución de Weibull se definen a continuación:

- **Parámetro de forma β :** El parámetro de forma en la distribución de Weibull indica el comportamiento de la tasa de falla del equipo estudiado, ya que cuando $\beta < 1$, esto indica que la tasa de falla va disminuyendo con el tiempo, mientras que cuando $\beta = 1$, la tasa de falla del equipo es constante en el tiempo, y en el caso en que $\beta > 1$, esto indica que la tasa de falla del equipo va en aumento, es decir, este se encuentra en deterioro. (Matías Valenzuela, 2020)

Esto se encuentra directamente con la “curva de la bañera”, según como se observa en la figura 2.3: (Matías Valenzuela, 2020)

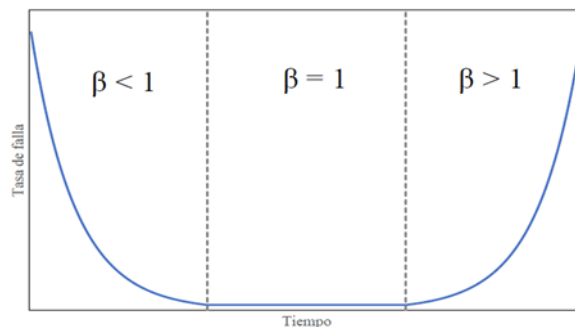


Figura 2.3: Curva de la bañera en modelo Weibull. Fuente: Matías Valenzuela, 2020

- **Parámetro de escala η :** El parámetro de escala es un indicador de la dispersión de la distribución. Cuando se realiza un análisis de confiabilidad, sin

importar cuál sea el parámetro de forma, cuando $t = \eta$ habrán fallado el 63,2% de las unidades estudiadas.

2.5. SELECCIÓN DE ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO

Para realizar la elección de la estrategia de mantenimiento se debe tener en cuenta, además del análisis de confiabilidad, la estructura que tienen los costos implicados tanto en el mantenimiento correctivo como en el preventivo. A continuación, se definen los costos que se deben considerar en cada uno de los casos: (Matías Valenzuela, 2020)

- **Costo de Intervención (Ci):** Incluye los gastos que deben realizarse por concepto de la intervención del equipo en sí, como por ejemplo la mano de obra interna y externa necesaria para realizar el trabajo, los repuestos en bodega o comprados con tal de llevar a cabo la mantención, y los materiales fungibles que hayan sido utilizados en el trabajo. (Matías Valenzuela, 2020)
- **Costo de Falla (Cf):** Corresponde a las pérdidas de utilidades originadas de la falla del equipo, lo que puede producir la detención de la operación, pérdida de materias primas, baja en la calidad del producto o pérdida de negocios.

Tomando en cuenta los costos anteriores, se define a continuación el costo de una intervención por mantenimiento preventivo y por mantenimiento correctivo:

- Para Mantenimiento Preventivo: el costo relacionado al mantenimiento preventivo se debe considerar el Costo de Intervención (Ci) y el Costo de Falla (Cf).

$$C_i = C_{i,p} + C_{f,p} \quad (9)$$

Donde:

C_p : Costo Preventivo

$C_{i,p}$: Costo de intervención en caso Preventivo

$C_{f,p}$: Costo de falla en caso Preventivo

- **Para Mantenimiento Correctivo:** Al igual que en el caso de la intervención preventiva, el costo de una intervención correctiva debido a una falla imprevista tiene dos componentes; el Costo de Intervención (Ci) más el Costo de Falla (Cf).

$$C_c = C_{i,c} + C_{f,c} \quad (10)$$

Donde:

C_c : Costo de mantenimiento correctivo

$C_{i,c}$: Costo de intervención Correctivo

$C_{f,c}$: Costo de falla en caso correctivo

Para comparar ambas estrategias de mantenimiento, se obtiene el costo total esperado por unidad de tiempo para el caso preventivo y el correctivo. Siendo t_p el tiempo entre intervenciones preventivas, en el caso del mantenimiento preventivo, el costo total esperado corresponde a: (Matías Valenzuela, 2020)

$$C_p = \frac{C_p R(t_p) + C_c [1 - R(t_p)]}{\int_0^{t_p} R(t) dt} \quad (11)$$

Mientras que el costo total esperado de un mantenimiento correctivo se obtiene de la siguiente ecuación: (Matías Valenzuela, 2020)

$$C_c = \frac{C_c}{\int_0^{\infty} R(t) dt} \quad (12)$$

2.6. EXCELENCIA EN LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO

La excelencia es hacer muchas cosas bien: eficiencia de la planta, calidad del producto, costos del mantenimiento v/s ganancias, nivel de servicio, rotación de inventario, alta confiabilidad de los activos, etc. (Marcelo Vidal, 2018)

Para alcanzar la excelencia, la organización primero debe comprender todos los elementos requeridos para alcanzar este estatus. En el mantenimiento es fundamental tener las bases fundadas en una estrategia coherente con las metas de la empresa y una política de recursos humanos, control, mejoramiento continuo y por último direccionarse hacia la excelencia en gestión de activos. (Marcelo Vidal, 2018)

2.7. VARIABLES DEL MANTENIMIENTO

Las distintas variables de importancia que repercuten en el desempeño de los sistemas de la empresa, entre ellas se encuentran: (Marcelo Vidal, 2018)

- **Fiabilidad:** es la probabilidad de que las instalaciones, máquinas o equipos, se desempeñan satisfactoriamente sin fallar, durante un período determinado, bajo condiciones específicas.

- **Disponibilidad:** es la proporción de tiempo durante la cual un sistema o equipo estuvo en condiciones de ser usado.
- **Mantenibilidad:** es la probabilidad de que una máquina, equipo o un sistema pueda ser reparado a una condición especificada en un período de tiempo dado, en tanto su mantenimiento sea realizado de acuerdo con ciertas metodologías y recursos determinados con anterioridad.
- **Seguridad:** está referida a la integridad del personal, instalaciones, equipos, sistemas, máquinas y sin dejar de lado el medio ambiente.
- Tiempo de entrega y el cumplimiento de los plazos previstos son variables que tienen también su importancia, y para el mantenimiento, el tiempo es un factor preminente.

2.8. POLÍTICAS Y ACCIONES DE MANTENIMIENTO

Las políticas se agrupan generalmente en cuatro formas: (Marcelo Vidal, 2018)

- **Intervenciones de mantenimiento correctivo:** intervenciones después que la falla ocurra. Ej.: espero que la falla ocurra y entonces remedio la situación tan pronto como sea posible.
- **Intervenciones de mantenimiento preventivo:** intervenciones que toman lugar antes que la falla ocurra. Ej.: ejecutar acciones regulares de mantenimiento, para evitar que modos de fallas den problemas.
- **Intervenciones de mantenimiento predictivo:** intervenciones que toman lugar si cierta condición es alcanzada. Ej.: cuando el monitoreo de la condición indique que un “signo vital” alcanzó el umbral de falla potencial se programa la intervención.
- **Intervenciones de mantenimiento detective:** se aplica a los aparatos que sólo necesitan trabajar cuando son requeridos y no se sabe cuándo ellos están en falla. Ejemplo.: hacer un chequeo periódico a los detectores de humo.

2.9. DIAGRAMA DE PARETO

El diagrama de Pareto corresponde a una herramienta utilizada en la toma de decisiones, permitiendo asignar un orden de prioridades a los problemas que se presentan, como por ejemplo en el caso del mantenimiento, las fallas en equipos y maquinarias. Es una representación gráfica de los datos obtenidos sobre un problema, que ayuda a identificar cuáles son los aspectos prioritarios que hay que tratar. También se conoce como “Diagrama ABC” o “Diagrama 20-80”. (José Manuel Domenech, 2018)

Su finalidad es visibilizar todos los problemas que se encuentran dentro de un campo de estudio y determinar cuáles son los más graves y, por consiguiente, cuales son aquellos que deben solucionarse con mayor urgencia.

El principio de Pareto indica que, en la mayoría de las situaciones, el 80% de los problemas son debido al 20% de las causas posibles para ese problema. En el caso del mantenimiento, se podría entender como que el 20% de las fallas en un proceso producen el 80% de los costos. Aunque estas proporciones no son siempre exactas, este principio se cumple en la mayoría de las situaciones. (José Manuel Domenech, 2018)

Para poder realizar el diagrama de Pareto, se debe tomar un horizonte de tiempo para llevar a cabo el análisis, y considerar los costos asociados al mantenimiento (intervenciones, fallas) o los tiempos de detención del proceso, por cada uno de los equipos. De esta manera, obtendremos en dos columnas la cantidad de fallas que se presentan por equipo, y los costos asociados a dichas fallas, como se observa en el ejemplo de la Tabla (2.1): (Matías Valenzuela, 2020)

A partir de esto podemos normalizar los costos asociados al mantenimiento y el número de fallas de cada equipo por su total, respectivamente. Luego, ordenándolos de manera decreciente según el costo normalizado, se obtiene un gráfico similar a la ilustrada en la Figura 2.4

i	TFS_i	n_i	$\sum TFS_i$	$\sum n_i$	$\frac{1}{TFS_T} \sum TFS_i$	$\frac{1}{n_T} \sum n_i$
11	160	4	160	4	21 %	4 %
10	150	5	310	9	41 %	10 %
1	100	4	410	13	54 %	14 %
8	80	2	490	15	65 %	16 %
9	55	3	545	18	72 %	19 %
3	50	4	595	22	79 %	24 %
7	40	12	635	34	84 %	37 %
2	32	15	667	49	88 %	53 %
6	30	8	697	57	92 %	61 %
14	20	8	717	65	95 %	70 %
4	19	14	736	79	97 %	85 %
13	10	8	746	87	99 %	94 %
12	5	3	751	90	99 %	97 %
5	4	3	755	93	100 %	100 %
Σ	755	93				

Tabla 2.1: Análisis de Pareto. Fuente: "El Arte de Mantener", Rodrigo Pascual

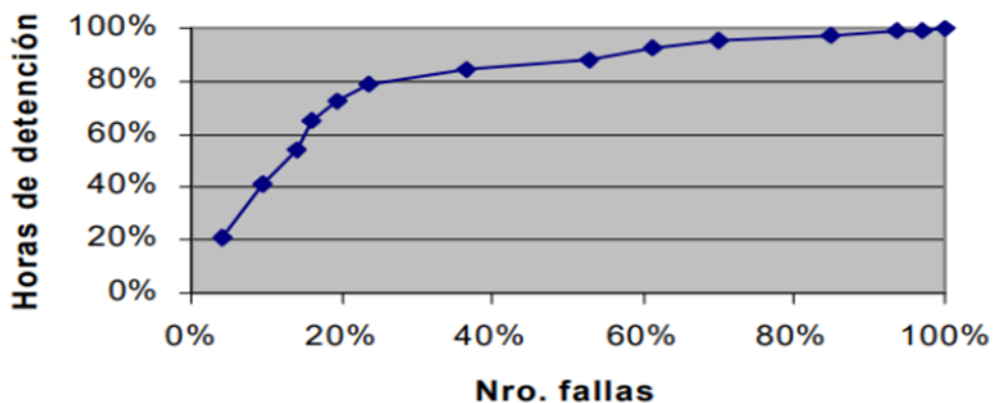


Figura 2.4: Diagrama de Pareto. Fuente: "El Arte de Mantener", Rodrigo Pascual

Esta curva se encuentra dividida en 3 zonas: A, B y C. En la zona A se encuentran aproximadamente el 20% de las fallas, que son aquellas que generan el 80% de los tiempos de detención del proceso, ubicando en este sector aquellas fallas que deben tratarse con urgencia ya que presentan la mayor cantidad de pérdidas dentro de la línea. Las decisiones más aplicadas en la solución de los problemas de la zona A corresponden a programación de mantenimiento preventivo, monitoreo de condición y nivel adecuado de stock de repuestos. En la zona B se concentran aproximadamente el 30% de las fallas, las que producen el 15% de los costos. En esta zona se concentrará el esfuerzo de mantención una vez se haya tratado todos los equipos pertenecientes a la zona A. Por último, en la zona C se concentran el 50% de las fallas que generan el 5% de los costos. En esta zona no se ejecutan tareas de mantenimiento

preventivo hasta una nueva evaluación de la situación de los equipos. (Matías Valenzuela, 2020)

2.10. DIAGRAMA DE JACK-KNIFE

El diagrama de Jack Knife, al igual que el diagrama de Pareto, es una técnica utilizada para la toma de decisiones en distintas áreas. Es un método para analizar el tiempo de indisponibilidad o inactividad de sistemas o equipos mediante el uso de diagramas de dispersión logarítmica, y utiliza como base el número de fallas y el tiempo medio de reparación (MTTR). (Matías Valenzuela, 2020)

Para obtener la información necesaria para generar el gráfico de dispersión, se debe contar con la cantidad de fallas por equipo y el tiempo de detención de la producción producto de dichas fallas, datos con los cuales se procede a calcular el MTTR para cada uno de los equipos como se observa a continuación:

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo de Detención}}{\text{N}^\circ \text{ de Fallas}} \quad (13)$$

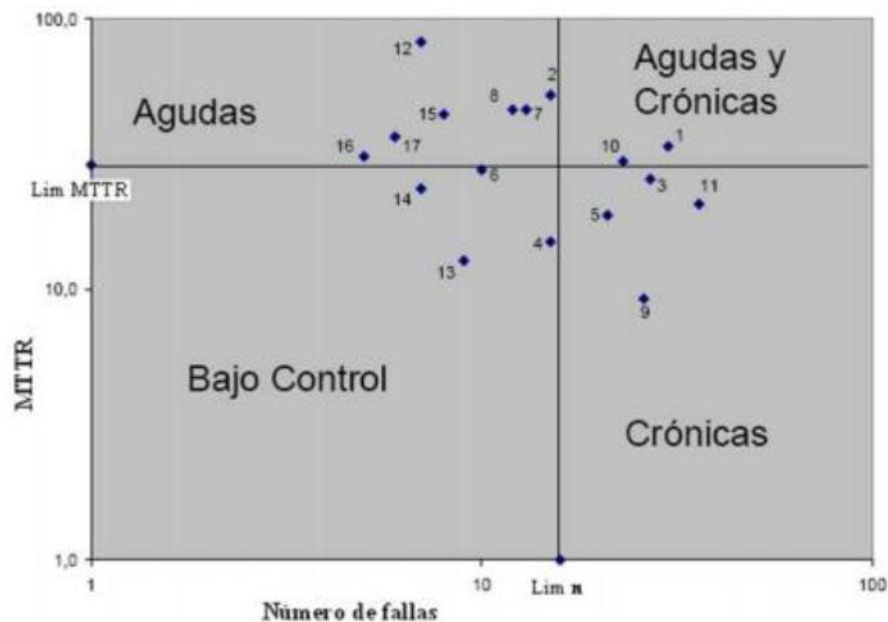


Figura 2.5: Diagrama de Jack Knife. Fuente: "Análisis de fallas en equipos industriales", Gabriel Barrientos

El gráfico generado mediante el análisis de Jack Knife se puede observar en la Figura 2.5, y puede ser estudiado en los cuatro cuadrantes presentes, que se explican a continuación: (Matías Valenzuela, 2020)

- **Cuadrante Crónico-Agudo:** Es aquel conjunto de mayor criticidad, donde se agrupan los equipos que poseen un alto número de fallas y un elevado tiempo medio de reparación (MTTR), es decir, una baja confiabilidad y mantenibilidad.
- **Cuadrante Crónico:** Corresponde al grupo donde se encuentran los equipos con alto número de detenciones y un bajo tiempo medio de reparación, por lo que tienen una baja confiabilidad.
- **Cuadrante Agudo:** Es aquel donde se agrupan los equipos que poseen un alto tiempo medio de reparación y un bajo número de fallas, por lo que cuentan con baja mantenibilidad.
- **Cuadrante Leve:** Es donde se agrupan los equipos con baja cantidad de fallas y un bajo tiempo medio de reparación.

Finalmente, se procede a graficar las curvas de iso-indisponibilidad, que se utilizarán para analizar de manera visual que equipos provocaron tiempos de detención mayores al tiempo indicado en la curva. Es decir, si un equipo se encuentra sobre la curva de iso-indisponibilidad que representa 3 horas de detención, dicho equipo tuvo fallas que produjeron un tiempo de detención mayor a 3 horas. (Matías Valenzuela, 2020)

2.11. ANÁLISIS DE MANTENCIONES

El análisis de mantenciones comienza estudiando la cantidad de imprevistos v/s las mantenciones programadas que presenta el equipo a mantener, lo cual lo representa a manera de ejemplo el siguiente gráfico: (Juan Figueroa, 2014)

**Mantenion Programada v/s No programada
(hrs)**

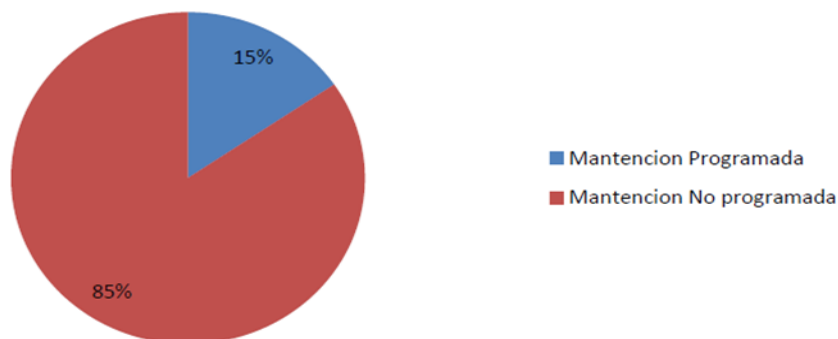


Figura 2.6: Ejemplo de Mantención Programada v/s No Programada

Según el gráfico existe un 15% de mantenciones programadas en comparación con un 85% de mantenciones imprevistas lo cual no es un indicador bueno ya que entre

mayor cantidad de imprevistos haya se pierden más horas de producción y aumentan los costos de mantención, ya que solo se le está aplicando en gran parte mantención correctiva y un mínimo porcentaje mantención preventiva. (Juan Figueroa, 2014)

2.12. FRECUENCIA ÓPTIMA DE MANTENIMIENTO

Si se considera que, tras cualquier intervención, correctiva o preventiva, el equipo o componente queda “tan bueno como nuevo” y al tiempo t como la edad del equipo o el tiempo transcurrido desde la última intervención; se puede determinar la frecuencia óptima de mantenimiento preventivo T_s minimizando la siguiente ecuación: (Pablo Viveros-Rodrigo Mena, 2016)

$$C_{t,p}(T_s) = \frac{C_{i,p}R(T_s) + (C_{i,c}C_f)(1-R(T_s))}{T_sR(T_s) + \int_0^{T_s} tf(t)dt} \quad (14)$$

Donde:

$C_{t,p}$: Costo total de mantenimiento por unidad de tiempo

$C_{i,c}$: Costo de intervención correctiva

C_f : Costo de ineficiencia por unidad de tiempo

$C_{i,p}$: Costo de intervención preventiva

$R(T_s)$: Confiabilidad de equipo o componente en el instante T_s

$f(t)$: función de densidad de probabilidad de fallas

CAPÍTULO 3. DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN A LA PROBLEMÁTICA

3.1. RECOPIACIÓN DE DATOS HISTÓRICOS

Para realizar la planificación de mantenimiento, se ha dispuesto por parte de la empresa a entregar los datos históricos que la máquina seleccionadora tiene hasta la actualidad en cuanto a las fallas mecánicas que pudo haber presentado, así como también los repuestos que han sido reemplazados. Estos datos son de vital relevancia para el desarrollo de la memoria y a continuación se pueden apreciar las funciones:

- Realizar gestión de fallas de equipos y componentes.
- Obtener datos de vida útil de componentes, para poder realizar gestión sobre sus repuestos.
- Desarrollar un flujo de mantenimiento tanto correctivo como preventivo.
- Conocer las cargas de trabajo reales asignadas a las distintas tareas que engloban la actividad del área de mantenimiento.
- Disponer de información respecto a la gestión del mantenimiento y planificación de manera rápida y certera.

En este trabajo de memoria, se abordará el análisis de los componentes que están incorporados en la seleccionadora de paltas.

3.2. ESTIMACIÓN DE WEIBULL

Para estimar los parámetros de la distribución de Weibull para nuestros datos, se utiliza el método gráfico. (Matías Valenzuela, 2020)

Siendo la tasa acumulada de falla $F(t)$:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (3.1)$$

Se realiza el cambio de variable: $x = \ln(t)$

$$y = \ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-F(t)}\right)\right) \quad (3.2)$$

$$\text{Se tiene que: } \ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-F(t)}\right)\right) = \beta \ln(t) - \beta \ln(\eta) \quad (3.3)$$

$$y = ax + b$$

Donde $a = \beta$ y $b = -\beta \ln(\eta)$

Los parámetros a y b se estiman por medio de una regresión lineal simple:

$$\hat{b} = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum(x_i - \bar{x})^2} \quad (3.4)$$

$$\hat{a} = \bar{y} - b\bar{x} \quad (3.5)$$

De donde se obtiene que:

$$\beta = \hat{a}$$

$$\eta = e^{\frac{\hat{b}}{\hat{a}}}$$

En caso de que se tengan n fallas, se sigue el siguiente procedimiento para realizar la estimación: (Matías Valenzuela, 2020)

- Los n registros de tiempo de falla se ordenan de menor a mayor y se les asigna un número de orden i de 1 a n.
- Se calcula para cada falla la función probabilidad de falla F(i). Si la población es pequeña F(i) se puede utilizar el método de rangos medianos:

$$F(i) = \frac{i-0,3}{n+0,4} \quad (3.6)$$

- Se tabulan los datos t_i, F_i
- Se realiza el cambio de variables definido anteriormente y se estiman los parámetros η y β por medio de una regresión lineal.

3.3. DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINA SELECCIONADORA

La máquina seleccionadora de paltas tiene como objetivo ofrecer una selección eficaz y eficiente de los productos ya sean paltas o cítricos, de forma irregular. Su selección mecánica de ajuste simple permite la modificación, ampliación o reducción de rangos de acuerdo con las necesidades del producto y a las distintas variedades. Al estar equipado con capachos de cavidad rectangular, lo convierte en el equipo más versátil de selección mecánica, donde es posible seleccionar los más variados productos que poseen características físicas compatibles con la capacidad del receptáculo. La finalidad de las líneas de procesamiento de paltas es simplificar los procesos industriales agilizando la producción y generar una fuerte contención en los costos.

A continuación, en la siguiente Tabla se dan a conocer las características técnicas de la seleccionadora:

Tipo	Características
Motor Eléctrico	Trifásico 380V/50 Hz
Velocidad Traslación	0.25 M/Seg
Material Ejes	Acero SAE 1045
Diámetro Cepillo	15"
Material Cinta	PVC
Material Capacho	Polipropileno
Contacto y Guardamotor	Si
Tipo de Fruta	Paltas, Manzanas, Kiwis, Cítricos

Tabla 3.1: Características Seleccionadora. Fuente: Elaboración Propia

- **Separación Unitaria:** Mediante la rotación de rodillos de silicona, las frutas van siendo separadas de acuerdo con su tamaño al momento de ir circulando sobre la cinta transportadora.
- **Traspaso:** El traspaso del producto, desde el rodillo de silicona al calibrador, es controlado por un cepillo superior de 14", que se encarga de reducir el golpe inicial, y, además, ubicar el fruto en su posición adecuada al interior del capacho.
- **Transporte:** Para el traslado, se utilizan cintas de PVC, que se encargan de contener transportar los frutos unitariamente, y que vayan siendo repartidas de acuerdo con su tamaño en cinco estaciones las cuales se encargan de recibir el producto luego de ser calibrado.
- **Entrega:** La entrega se realiza sobre bandejas de recepción inferior, que se encargan de recibir el fruto seleccionado.

Capítulo 3. Desarrollo de la solución a la problemática

A continuación, en las siguientes figuras, se puede apreciar la seleccionadora de altas a estudiar:



Figura 3.1: Máquina Seleccionadora. Fuente: Fotos entregadas por la Empresa



Figura 3.2: Máquina Seleccionadora. Fuente: Fotos entregadas por la Empresa



Figura 3.3: Rodillos Calibradores. Fuente: Fotos entregadas por la Empresa



Figura 3.4: Cinta Transportadora. Fuente: Fotos entregadas por la Empresa

3.3.1. Componentes Principales de la Seleccionadora

- **Motor Eléctrico:**



Figura 3.5: Motor Eléctrico 1 HP. Fuente: Sodimac.cl

Tipo	Características
Marca	Emaquip
Potencia	1 HP
Velocidad	2800 RPM
Tipo de Alimentación	Eléctrica/Trifásica

Tabla 3.2: Tabla de Características del Motor. Fuente: Elaboración Propia

- **Cinta Transportadora:** tiene por objetivo el traslado de la fruta en la seleccionadora con el fin de pasar con la fruta por el calibrador y así posteriormente caer en las bandejas receptoras de la fruta ya seleccionada.



Figura 3.6: Cinta Transportadora. Fuente: Ingemaq

Tipo	Características
Material	PVC
Velocidad de Avance	0.25 m/s

Tabla 3.3: Tabla de Características de la cinta. Fuente: Ingemaq

- **Rodamientos:** Los rodamientos soportan y guían elementos giratorios u oscilantes de las máquinas, por ejemplo, árboles, ejes o ruedas, y transfieren las cargas entre los componentes de la máquina. Ofrecen gran precisión y baja fricción y, por lo tanto, admiten velocidades de giro elevadas al tiempo que reducen el ruido, el calor, el consumo de energía y el desgaste. Los rodamientos son elementos rentables e intercambiables de las máquinas, que normalmente corresponden a los estándares de dimensiones nacionales o internacionales. (SKF.cl)



Figura 3.7: Rodamiento de Bolas. Fuente: SKF.cl

- **Correa Dentada:** La correa es una banda de caucho, nylon o goma con un estriado en su cara interior que posibilita su acoplamiento a las poleas fijadas a los elementos que deben moverse de manera sincronizada. (Motor.es, 2019)
- **Polea:** Una polea es una máquina simple, un dispositivo mecánico de tracción, que sirve para transmitir una fuerza. Además, formando conjuntos aparejos o polipastos sirve para reducir la magnitud de la fuerza necesaria para mover un peso. (Manuel Torres, 2014)



Figura 3.8: Polea y Correa Dentada. Fuente: Aliexpress.com

CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. SELECCIONADORA MP-20005

La seleccionadora de paltas adquirida por la empresa Agrícola y Comercializadora El Valle SPA ha presentado fallas en algunos de sus componentes, principalmente por la falta de mantención periódica lo que conlleva a que fallen rodamientos o engranajes por una falta de lubricación, por algún roce constante o incluso por un mal montaje.

Las fallas presentadas por el equipo se describen en la tabla 4.1:

Tipo de Falla	Cantidad
Rodamiento 1 (6208)	14
Rodamiento 2 (6208)	9
Rodamiento 3 (6206)	11
Rodamiento 4 (6206)	12
Correa Dentada	10
Engranaje	7

Tabla 4.1: Fallas de la Seleccionadora. Fuente: Elaboración Propia

4.2. ANÁLISIS DE FALLAS

Hasta el día de hoy la máquina seleccionadora de paltas ha presentado 63 fallas en período comprendido entre el 04-01-2017 a noviembre del presente año.

A continuación, en el gráfico 4.1 se puede observar un diagrama de Pareto que busca reflejar la frecuencia de las fallas de cada componente estudiado y el porcentaje acumulado de cada componente que falló. Así como también la tabla en donde están los datos que dan forma al diagrama.

Fallas	Frecuencia	%	Acumulado	% Acumulado
Rodamiento 1	14	22%	14	22%
Rodamiento 4	12	19%	26	41%
Rodamiento 3	11	17%	37	59%
Correa Dentada	10	16%	47	75%
Rodamiento 2	9	14%	56	89%
Engranaje	7	11%	63	100%
Total	63	100%		

Tabla 4.2: Datos para elaborar Diagrama de Pareto. Fuente: Elaboración Propia

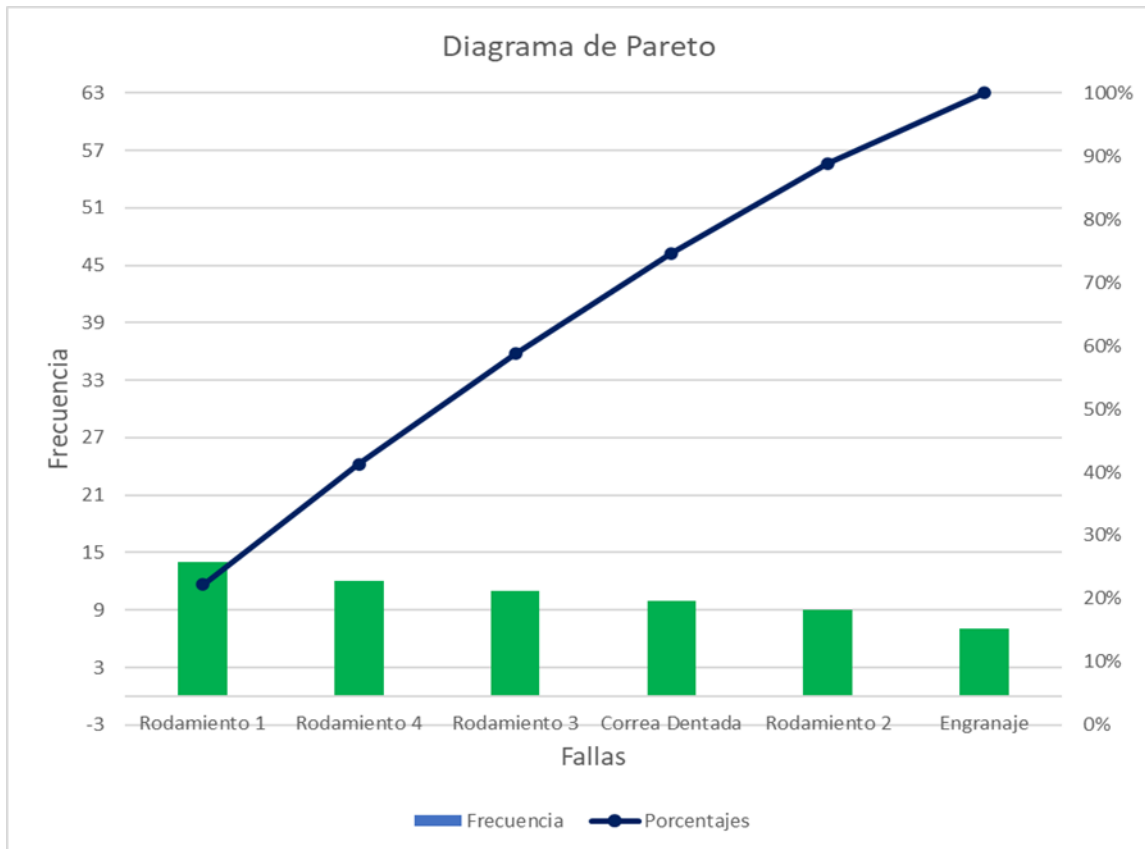


Gráfico 4.1: Diagrama de Pareto. Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar en la figura 4.1, cuatro de los componentes que produjeron fallas representan el 80% del total de fallas entre ellos el rodamiento 1, 4 y 3 además de la correa dentada. Mientras que el 20% de las fallas están representadas por el rodamiento 2 y el engranaje.

A partir de la información que se puede encontrar en el ANEXO 1, se logra elaborar un diagrama de Jackknife, lo que nos permitirá identificar a los equipos que necesitan un mayor tiempo medio para reparar (MTTR), y aquellos que presentan una mayor cantidad de fallas, de esta manera podremos clasificar si las fallas que se han producido en estos equipos son leves, crónicas, agudas o críticas.

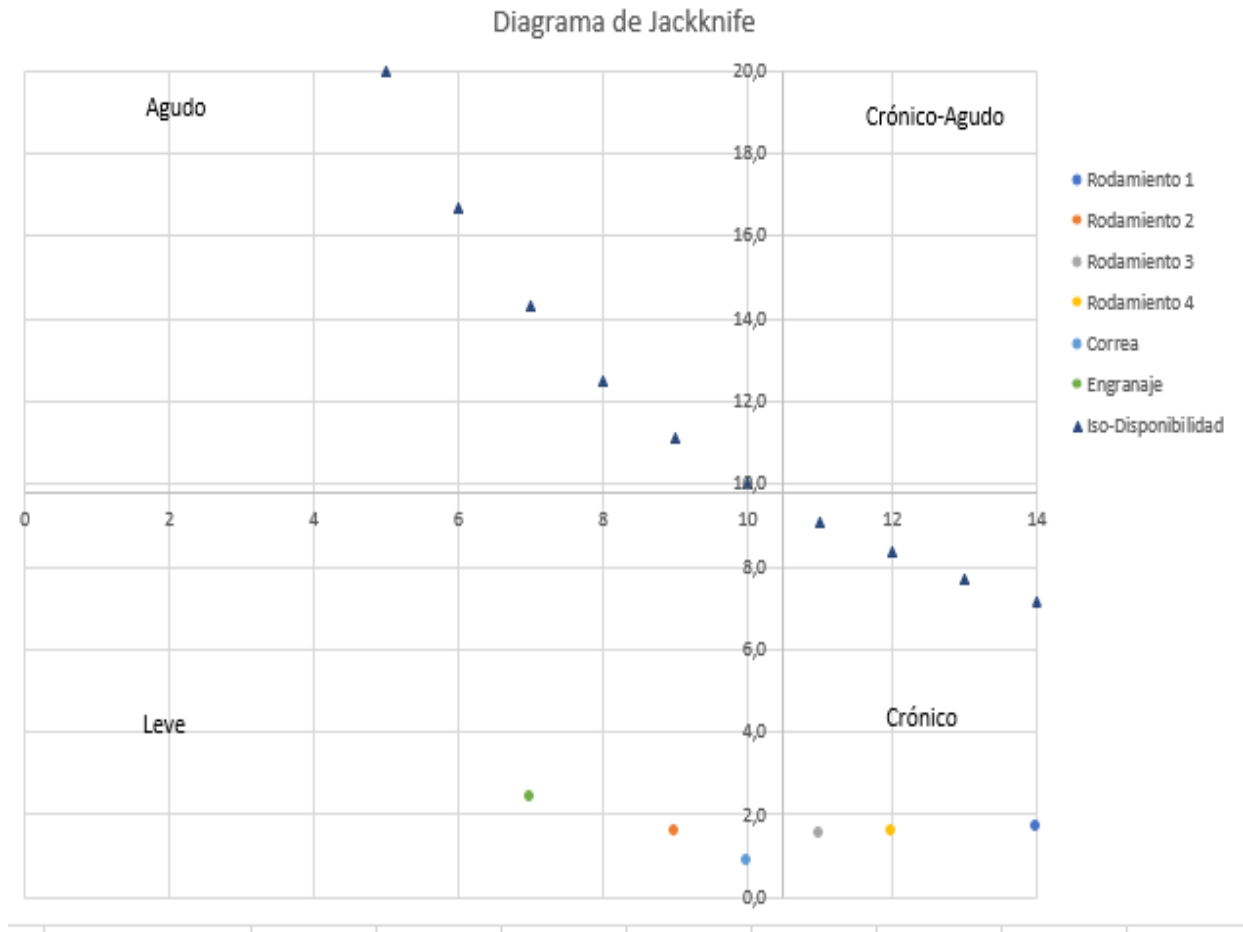


Figura 4.1: Diagrama de Jackknife. Fuente: Elaboración Propia

Gracias al gráfico de Jackknife podemos apreciar en qué fase de criticidad se encuentran los componentes a estudiar. En la fase crónica se encuentran el Rodamiento N°1, N°3 y N°4, en la fase leve se encuentran el Engranaje y el Rodamiento N°2, mientras que en el límite entre la fase leve y crónica se encuentra la Correa Dentada.

4.3. DETALLE DE CADA UNA DE LAS FALLAS

4.3.1. Rodamiento 1

Los tiempos de falla del rodamiento 1 se detallan en la tabla 4.3

Falla	Fecha	N° de Fallas	MTTF
Rodamiento 1	04-01-2017	0	Instalación
	25-06-2017	1	172
	12-11-2017	2	171
	21-02-2018	3	101
	09-07-2018	4	138
	12-10-2018	5	95
	16-01-2019	6	89
	09-08-2019	7	205
	15-12-2019	8	128
	14-03-2020	9	90
	21-05-2020	10	68
	28-09-2020	11	130
	07-01-2021	12	101
	02-05-2021	13	115
	14-10-2021	14	165

Tabla 4.3: Tiempo entre fallas del Rodamiento 1. Fuente: Elaboración Propia

A continuación, en el gráfico 4.2 se presenta la ecuación de la recta, para así poder obtener los parámetros R^2 , η y β los cuales son necesarios para la elaboración de la curva de confiabilidad del Rodamiento 1.

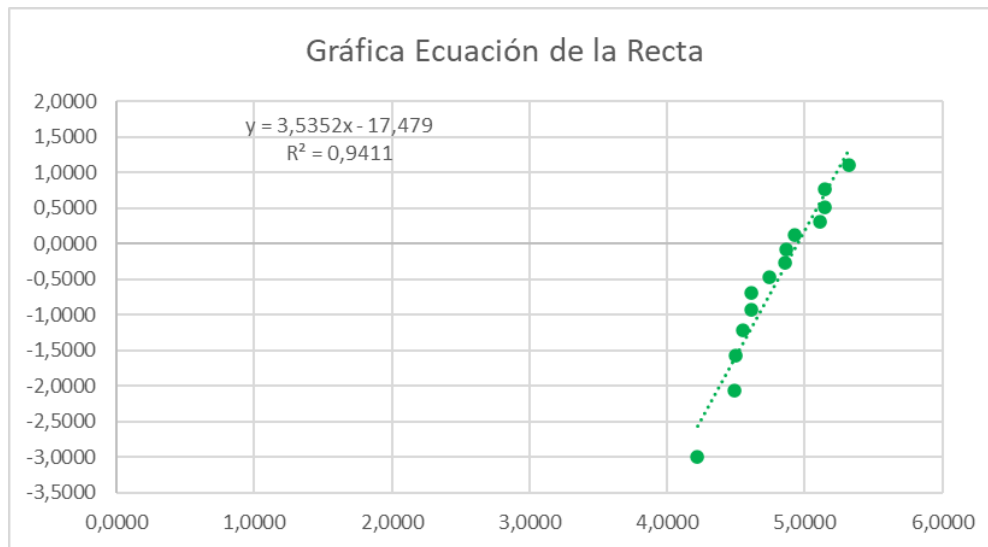


Gráfico 4.2: Gráfica Ecuación de la Recta. Fuente Elaboración Propia

A partir de los datos de la Tabla 4.3, se procede a realizar una regresión de Weibull sobre la información según lo mostrado en la Tabla 4.4, obteniendo como resultado los parámetros indicados en la Tabla 4.5

ID	MTTF	R(i)	X	Y
0		1		
1	68	0,9514	4,2195	-2,9991
2	89	0,8819	4,4886	-2,0744
3	90	0,8125	4,4998	-1,5720
4	95	0,7431	4,5539	-1,2141
5	101	0,6736	4,6151	-0,9286
6	101	0,6042	4,6151	-0,6854
7	115	0,5347	4,7449	-0,4684
8	128	0,4653	4,8520	-0,2677
9	130	0,3958	4,8675	-0,0761
10	138	0,3264	4,9273	0,1130
11	165	0,2569	5,1059	0,3067
12	171	0,1875	5,1417	0,5152
13	172	0,1181	5,1475	0,7592
14	205	0,0486	5,3230	1,1065

Tabla 4.4: Regresión Lineal del Rodamiento 1. Fuente: Elaboración Propia

β	3,5352
Constante	17,479
η	140,3690
R^2	0,9411

Tabla 4.5: Parámetros de la Regresión de Weibull. Fuente Elaboración Propia

Donde:

β : Parámetro de Forma

η : Parámetro de escala

R^2 : Parámetro de Localización (medida del grado de fiabilidad o bondad del ajuste del modelo)

Capítulo 4. Análisis de Resultados

Con los parámetros de Weibull mostrados en la Tabla 4.5, se genera el gráfico 4.3 donde se muestra la confiabilidad a lo largo del tiempo.

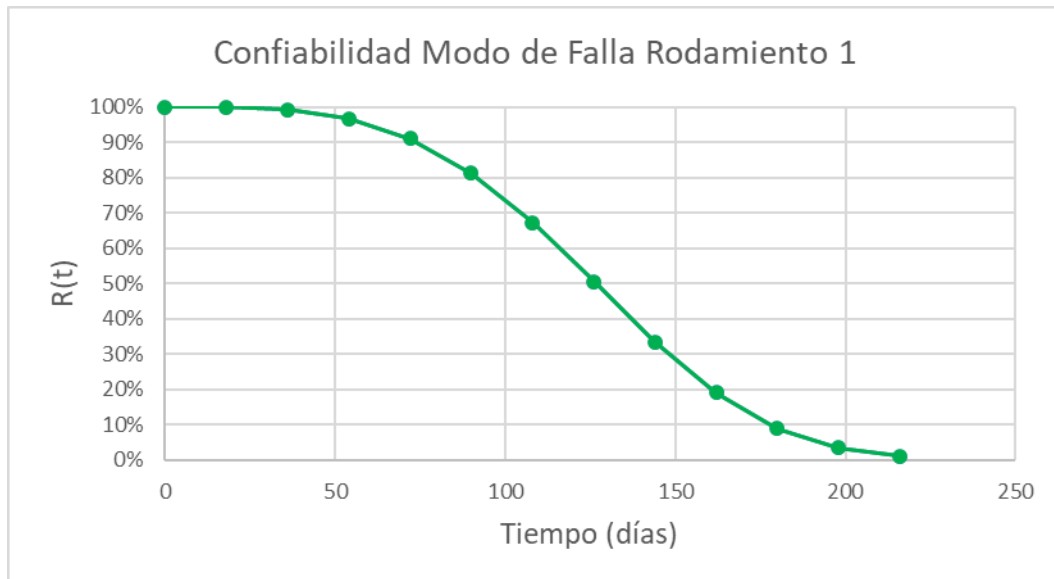


Gráfico 4.3: Confiabilidad Rodamiento 1. Fuente: Elaboración Propia

En la gráfica de confiabilidad se puede apreciar claramente como va disminuyendo la confiabilidad conforme se llega a alrededor de los 200 días de uso. específicamente en el día 198 existe tan solo un 3% de confiabilidad de que el Rodamiento N°1 no falle.

4.3.2. Rodamiento 2

Los tiempos de falla del rodamiento 1 se detallan en la tabla 4.6

Falla	Fecha	N° de Fallas	MTTF
Rodamiento 2	04-01-2017	0	Instalación
	02-01-2018	1	363
	27-09-2018	2	268
	15-04-2019	3	200
	20-11-2019	4	219
	12-03-2020	5	113
	15-08-2020	6	156
	14-12-2020	7	121
	20-04-2021	8	127
	10-11-2021	9	204

Tabla 4.6: Tiempo entre Falla Rodamiento 2. Fuente: Elaboración Propia

Capítulo 4. Análisis de Resultados

A continuación, en el gráfico 4.4 se presenta la ecuación de la recta, para así poder obtener los parámetros R^2 , η y β los cuales son necesarios para la elaboración de la curva de confiabilidad del Rodamiento 2.

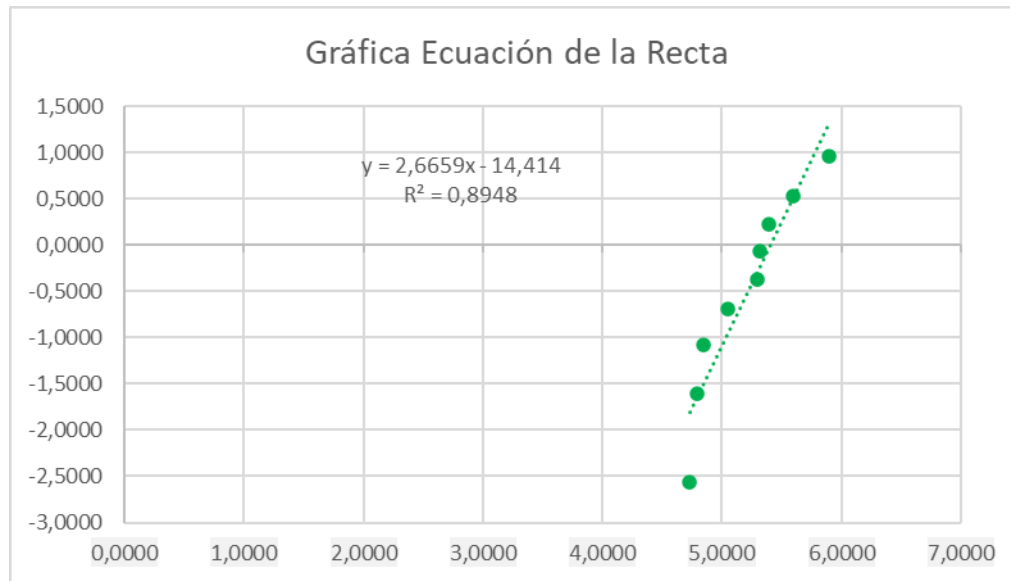


Gráfico 4.4: Gráfica Ecuación de la Recta. Fuente: Elaboración Propia

A partir de los datos de la Tabla 4.6, se procede a realizar una regresión de Weibull sobre la información según lo mostrado en la Tabla 4.7, obteniendo como resultado los parámetros indicados en la Tabla 4.8.

ID	MTTF	R(i)	X	Y
0		1		
1	113	0,9255	4,7274	-2,5589
2	121	0,8191	4,7958	-1,6120
3	127	0,7128	4,8442	-1,0829
4	156	0,6064	5,0499	-0,6927
5	200	0,5000	5,2983	-0,3665
6	204	0,3936	5,3181	-0,0700
7	219	0,2872	5,3891	0,2211
8	268	0,1809	5,5910	0,5365
9	363	0,0745	5,8944	0,9545

Tabla 4.7: Regresión Lineal del Rodamiento 2. Fuente: Elaboración Propia

β	2,6659
Constante	14,414
η	222,9181
R^2	0,8948

Tabla 4.8: Parámetros de la Regresión de Weibull. Fuente: Elaboración Propia

Capítulo 4. Análisis de Resultados

Con los parámetros de Weibull mostrados en la Tabla 4.8, se genera el gráfico 4.5 donde se muestra la confiabilidad a lo largo del tiempo.

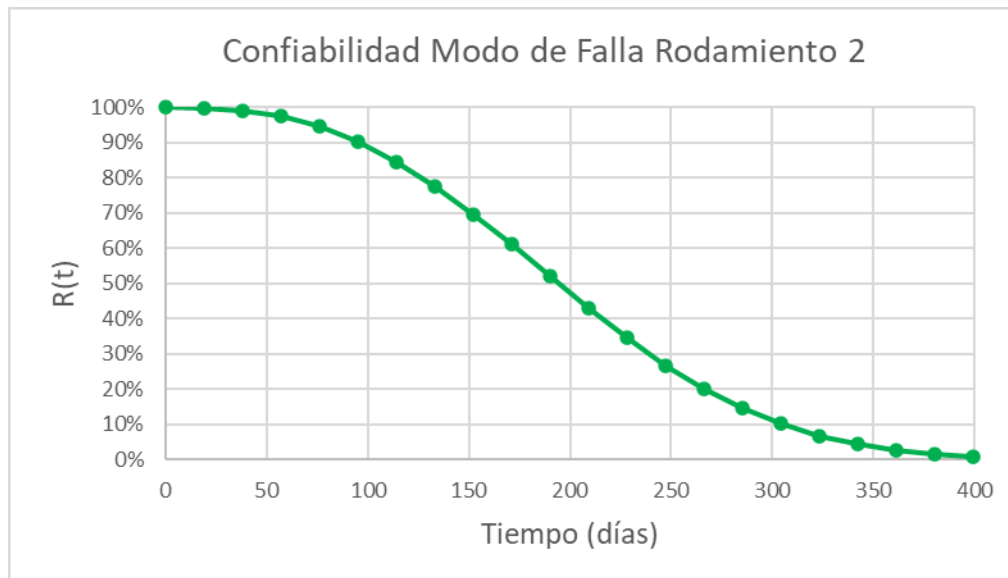


Gráfico 4.5: Confiabilidad Rodamiento 2. Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico 4.5 que se acaba de mostrar, nos podemos dar cuenta que la confiabilidad del Rodamiento N°2 comienza a disminuir drásticamente alrededor del día 285 de uso con una confiabilidad del 15%.

4.3.3. Rodamiento 3

Los tiempos de falla del rodamiento 1 se detallan en la tabla 4.9

Falla	Fecha	N° de Fallas	MTTF
Rodamiento 3	04-01-2017	0	Instalación
	10-09-2017	1	249
	05-03-2018	2	176
	20-10-2018	3	229
	10-02-2019	4	113
	14-09-2019	5	216
	20-12-2019	6	97
	12-04-2020	7	114
	10-09-2020	8	151
	27-12-2020	9	108
	15-04-2021	10	109
	18-10-2021	11	186

Tabla 4.9: Tiempo entre Falla Rodamiento 3. Fuente: Elaboración Propia

Capítulo 4. Análisis de Resultados

A continuación, en el gráfico 4.6 se presenta la ecuación de la recta, para así poder obtener los parámetros R^2 , η y β los cuales son necesarios para la elaboración de la curva de confiabilidad del Rodamiento 3.

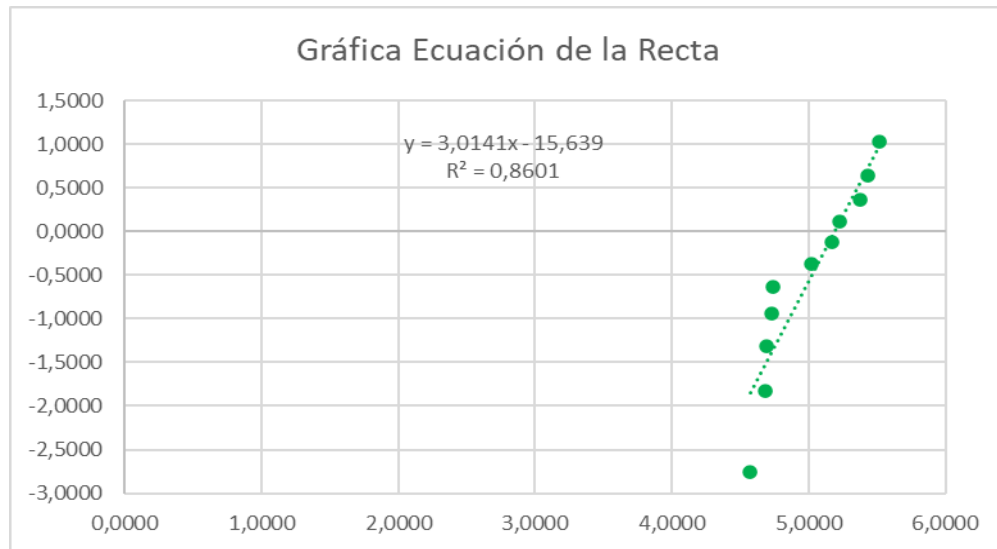


Gráfico 4.6: Gráfica Ecuación de la Recta. Fuente: Elaboración Propia

A partir de los datos de la Tabla 4.9, se procede a realizar una regresión de Weibull sobre la información según lo mostrado en la Tabla 4.10, obteniendo como resultado los parámetros indicados en la Tabla 4.11

ID	MTTF	R(i)	X	Y
0		1		
1	97	0,9386	4,5747	-2,7588
2	108	0,8509	4,6821	-1,8233
3	109	0,7632	4,6913	-1,3083
4	113	0,6754	4,7274	-0,9355
5	114	0,5877	4,7362	-0,6320
6	151	0,5000	5,0173	-0,3665
7	176	0,4123	5,1705	-0,1210
8	186	0,3246	5,2257	0,1180
9	216	0,2368	5,3753	0,3649
10	229	0,1491	5,4337	0,6434
11	249	0,0614	5,5175	1,0261

Tabla 4.10: Regresión Lineal del Rodamiento 3. Fuente: Elaboración Propia

β	3,0141
Constante	15,639
η	179,2199
R^2	0,8601

Tabla 4.11: Parámetros de la Regresión de Weibull. Fuente: Elaboración Propia

Con los parámetros de Weibull mostrados en la Tabla 4.11, se genera el gráfico 4.7 donde se muestra la confiabilidad a lo largo del tiempo.

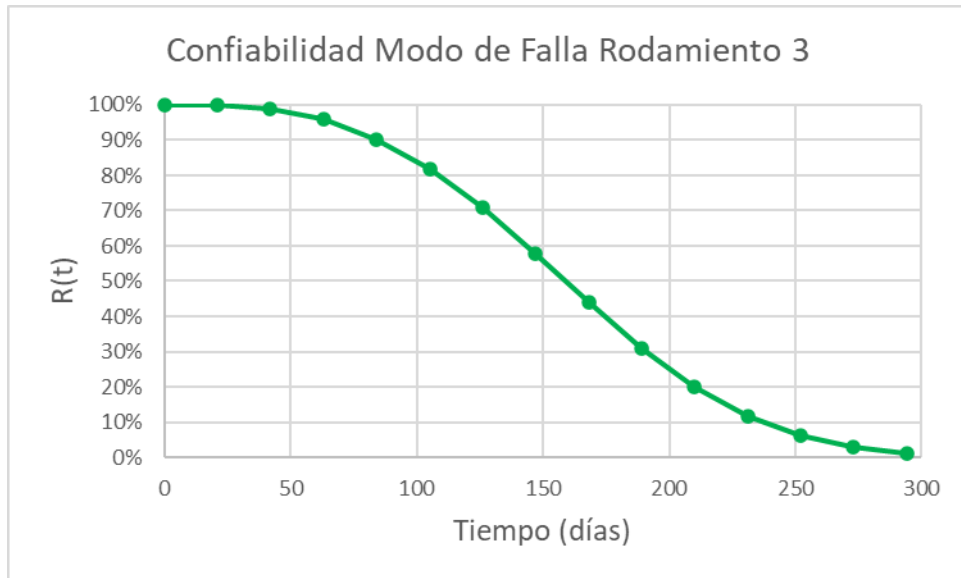


Gráfico 4.7: Confiabilidad Rodamiento 3. Fuente: Elaboración Propia

En la gráfica 4.7 se puede apreciar que la confiabilidad del Rodamiento N°3 disminuye en el día 252 con una confianza de que no falle el rodamiento del 6%.

4.3.4 Rodamiento 4

Los tiempos de falla del rodamiento 4 se detallan en la tabla 4.12

Falla	Fecha	N° de Fallas	MTTF
Rodamiento 4	04-01-2017	0	Instalación
	07-08-2017	1	215
	10-12-2017	2	125
	12-05-2018	3	153
	28-09-2018	4	139
	29-12-2018	5	92
	10-04-2019	6	102
	15-08-2019	7	127
	18-12-2019	8	125
	12-03-2020	9	85
	15-07-2020	10	125
	09-11-2020	11	117
	18-04-2021	12	160

Tabla 4.12: Tiempo entre Falla Rodamiento 4. Fuente: Elaboración Propia

Capítulo 4. Análisis de Resultados

A continuación, en el gráfico 4.8 se presenta la ecuación de la recta, para así poder obtener los parámetros R^2 , η y β los cuales son necesarios para la elaboración de la curva de confiabilidad del Rodamiento 4.

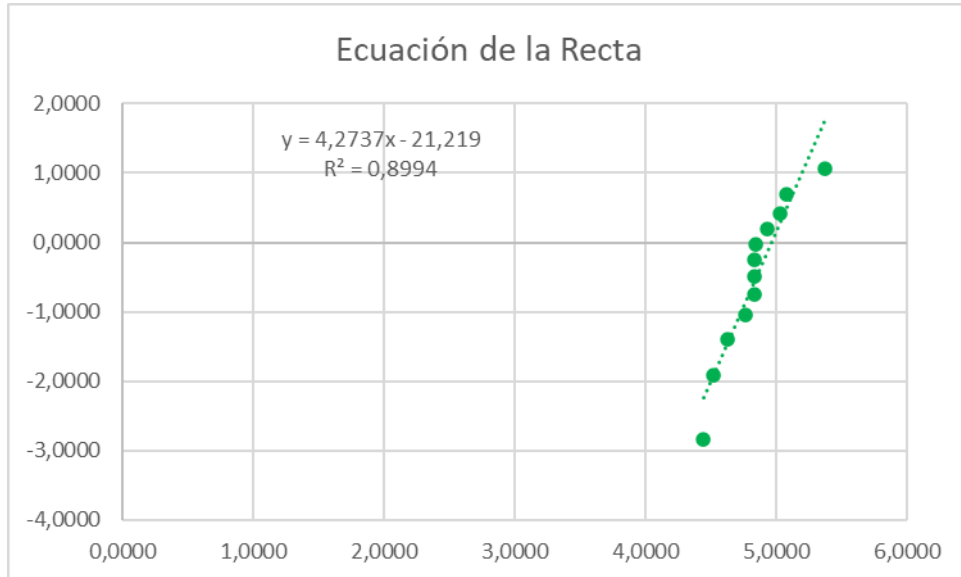


Gráfico 4.8: Gráfica Ecuación de la Recta. Fuente: Elaboración Propia

A partir de los datos de la Tabla 4.12, se procede a realizar una regresión de Weibull sobre la información según lo mostrado en la Tabla 4.13, obteniendo como resultado los parámetros indicados en la Tabla 4.14

ID	MTTF	R(i)	X	Y
0		1		
1	85	0,9435	4,4427	-2,8455
2	92	0,8629	4,5218	-1,9142
3	102	0,7823	4,6250	-1,4042
4	117	0,7016	4,7622	-1,0374
5	125	0,6210	4,8283	-0,7413
6	125	0,5403	4,8283	-0,4852
7	125	0,4597	4,8283	-0,2520
8	127	0,3790	4,8442	-0,0303
9	139	0,2984	4,9345	0,1901
10	153	0,2177	5,0304	0,4216
11	160	0,1371	5,0752	0,6867
12	215	0,0565	5,3706	1,0558

Tabla 4.13: Regresión Lineal del Rodamiento 4. Fuente: Elaboración Propia

Capítulo 4. Análisis de Resultados

β	4,2737
Constante	21,219
η	143,3112
R^2	0,8994

Tabla 4.14: Parámetros de la Regresión de Weibull. Fuente: Elaboración Propia

Con los parámetros de Weibull mostrados en la Tabla 4.14, se genera el gráfico 4.9 donde se muestra la confiabilidad a lo largo del tiempo.

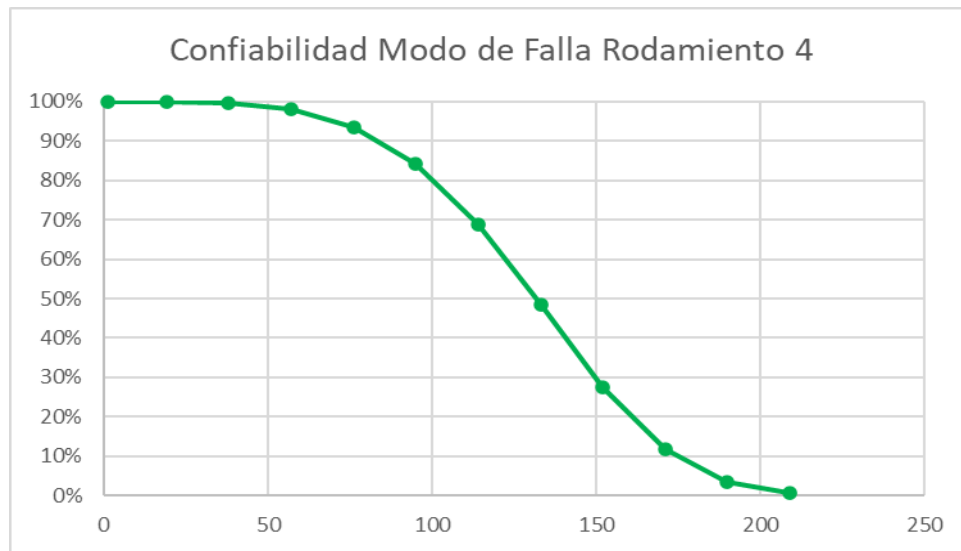


Gráfico 4.9: Confiabilidad Rodamiento 4. Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico 4.9 se puede apreciar como la confiabilidad de que falle el rodamiento N°4 comienza a disminuir en el día 190 con una confianza del 4%.

4.3.5 Correa Dentada

Los tiempos de falla de la correa están detallados en la tabla 4.15

Falla	Fecha	N° de Fallas	MTTF
Correa Dentada	04-01-2017	0	Instalación
	02-10-2017	1	271
	12-03-2018	2	161
	14-09-2018	3	186
	18-12-2018	4	95
	16-02-2019	5	60
	12-08-2019	6	177
	18-01-2020	7	159
	30-09-2020	8	256
	27-12-2020	9	88
	08-05-2021	10	132

Tabla 4.15: Tiempo entre fallas de la Correa Dentada. Fuente: Elaboración Propia

Capítulo 4. Análisis de Resultados

A continuación, en el gráfico 4.10 se presenta la ecuación de la recta, para así poder obtener los parámetros R^2 , η y β los cuales son necesarios para la elaboración de la curva de confiabilidad de la correa.

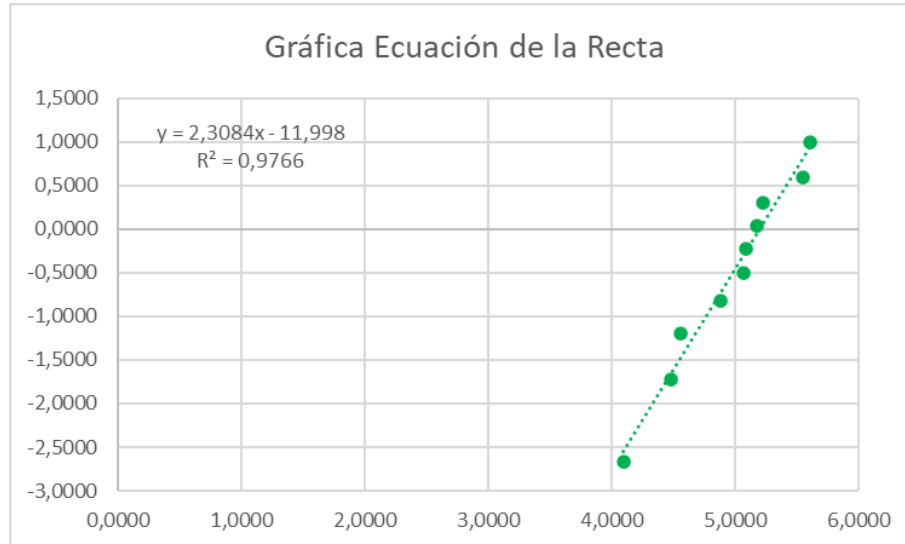


Gráfico 4.10: Gráfica Ecuación de la Recta. Fuente: Elaboración Propia

A partir de los datos de la Tabla 4.15, se procede a realizar una regresión de Weibull sobre la información según lo mostrado en la Tabla 4.16, obteniendo como resultado los parámetros indicados en la Tabla 4.17.

ID	MTTF	R(i)	X	Y
0		1		
1	60	0,9327	4,0943	-2,6638
2	88	0,8365	4,4773	-1,7233
3	95	0,7404	4,5539	-1,2020
4	132	0,6442	4,8828	-0,8217
5	159	0,5481	5,0689	-0,5086
6	161	0,4519	5,0814	-0,2304
7	177	0,3558	5,1761	0,0329
8	186	0,2596	5,2257	0,2990
9	256	0,1635	5,5452	0,5940
10	271	0,0673	5,6021	0,9927

Tabla 4.16: Regresión Lineal de la Correa Dentada. Fuente: Elaboración Propia

β	2,3084
Constante	11,998
η	180,8268
R^2	0,9766

Tabla 4.17: Parámetros de la Regresión de Weibull. Fuente: Elaboración Propia

Capítulo 4. Análisis de Resultados

Con los parámetros de Weibull mostrados en la Tabla 4.17, se genera el gráfico 4.11 donde se muestra la confiabilidad a lo largo del tiempo.

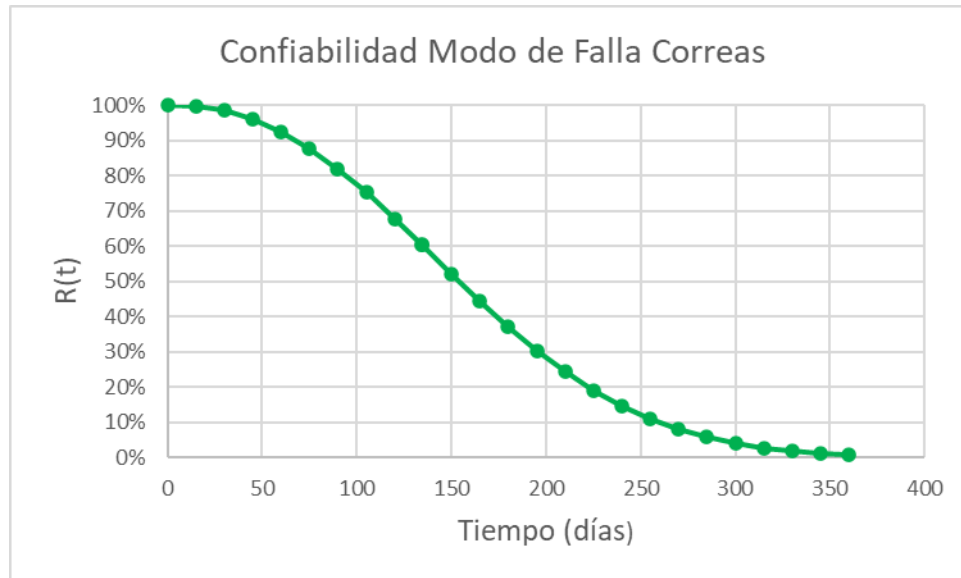


Gráfico 4.11: Confiabilidad Correa Dentada. Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico 4.11 se puede observar como la confiabilidad de la correa dentada va disminuyendo pronunciadamente a partir del día 270 con un 8% de confiabilidad.

4.3.6. Engranaje

Los tiempos de falla de la correa están detallados en la tabla 4.18

Falla	Fecha	N° de Fallas	MTTF
Engranaje	04-01-2017	0	Instalación
	21-01-2018	1	382
	15-12-2018	2	328
	06-04-2019	3	112
	18-11-2019	4	215
	05-02-2020	5	48
	14-10-2020	6	252
	07-01-2021	7	85

Tabla 4.18: Tiempo entre fallas del Engranaje. Fuente: Elaboración Propia

Capítulo 4. Análisis de Resultados

A continuación, en el gráfico 4.12 se presenta la ecuación de la recta, para así poder obtener los parámetros R^2 , η y β los cuales son necesarios para la elaboración de la curva de confiabilidad del Engranaje.

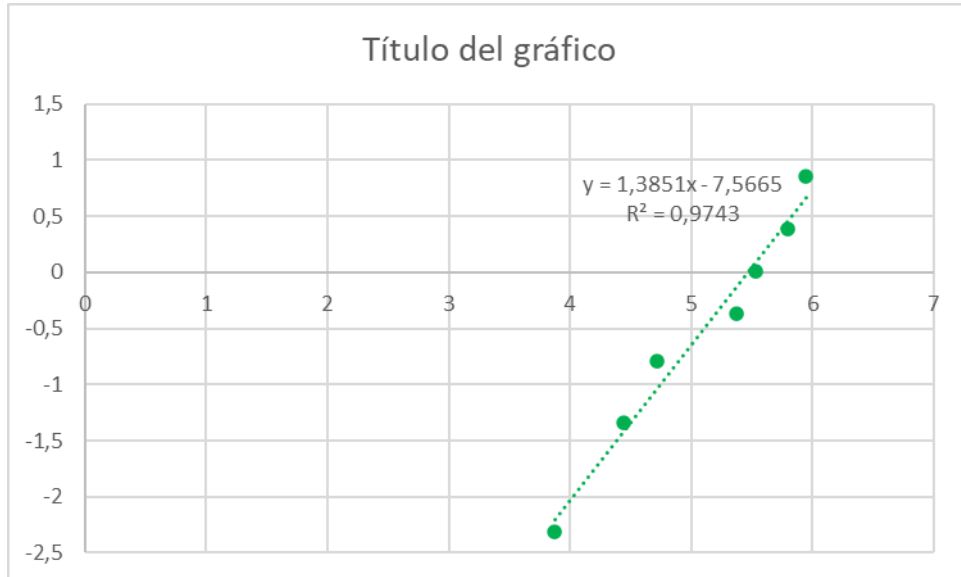


Gráfico 4.12: Gráfica Ecuación de la Recta. Fuente: Elaboración Propia

A partir de los datos de la Tabla 4.18, se procede a realizar una regresión de Weibull sobre la información según lo mostrado en la Tabla 4.19, obteniendo como resultado los parámetros indicados en la Tabla 4.20.

ID	MTTF	R(i)	X	Y
0		1		
1	48	0,09459459	3,871201	-2,30888
2	85	0,22972973	4,4426513	-1,343182
3	112	0,36486486	4,7184989	-0,78984
4	215	0,5	5,370638	-0,366513
5	252	0,63513514	5,5294291	0,0081946
6	328	0,77027027	5,7930136	0,3858417
7	382	0,90540541	5,9454206	0,8578795

Tabla 4.19: Regresión Lineal del Engranaje. Fuente: Elaboración Propia

β	1,3851
Constante	7,5665
η	235,752487
R^2	0,9743

Tabla 4.20: Parámetros de la Regresión de Weibull. Fuente: Elaboración Propia

Con los parámetros de Weibull mostrados en la Tabla 4.20, se genera el gráfico 4.13 donde se muestra la confiabilidad a lo largo del tiempo.

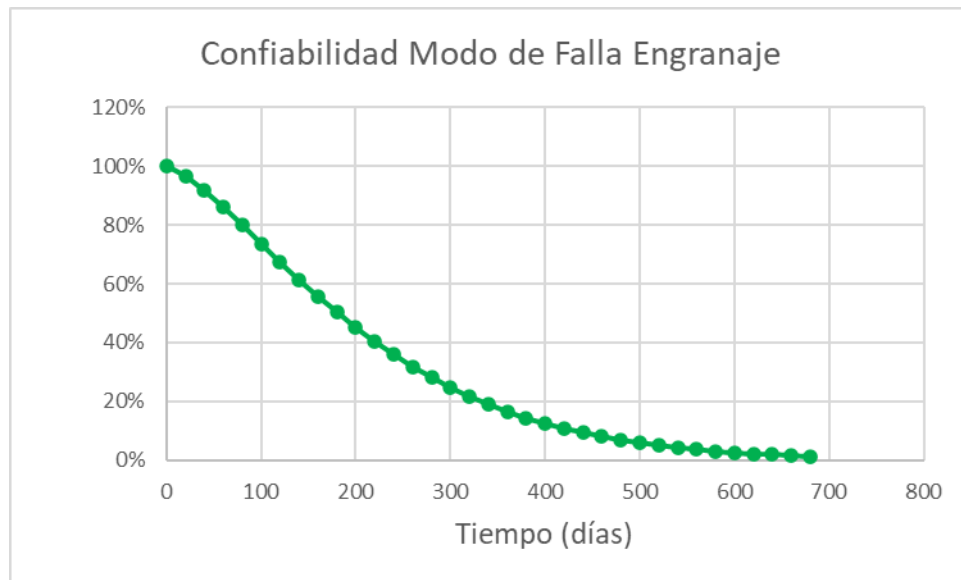


Gráfico 4.13: Confiabilidad del Engranaje. Fuente: Elaboración Propia

A partir del Gráfico 4.13 se puede apreciar como la confiabilidad del engranaje disminuye considerablemente a partir del día 460 con una confiabilidad del 8%.

4.4. ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO

Para determinar la estrategia de mantenimiento correcta a llevar a cabo, es necesario contar con el detalle de los costos que se encuentran relacionados a la mantención de la máquina seleccionadora, según como fueron definidos en el punto 2.5. “Selección de la Estrategia de Mantenimiento”

Para definir el costo de falla, tanto en el caso preventivo como correctivo, se considerará el valor de lo que se produce por hora, el cual corresponde a aproximadamente 500 kilos/h de paltas valorizado en aproximadamente \$1.400 (CLP) por kilo tanto en exportación como en mercado interno, por lo tanto, el valor total corresponde a \$700.000 (CLP/h).

En el caso del Costo de intervención, se considerará el costo de la mano de obra necesaria para realizar los trabajos. Para llevar a cabo estas mantenciones se utiliza mano de obra contratista, la cual es solicitada según necesidad por falla de la máquina, y siempre es cotizada por equipos de trabajo, los que se encuentran compuestos por un maestro mecánico y un ayudante. Los valores cancelados a las empresas

contratistas por cada HH trabajada por el equipo mecánico se pueden observar en la Tabla 4.21.

Cargo	Costo HH (CLP/h)
Mecánico	5.000
Ayudante	3.000
Total	8.000

Tabla 4.21: Valores de HH trabajada

A continuación, en la tabla 4.22 se dan a conocer los costos asociados a los repuestos necesarios para llevar a cabo los mantenimientos indicados anteriormente.

Repuesto	Costo (CLP)
Rodamiento 1	\$ 50.861
Rodamiento 2	\$ 25.074
Rodamiento 3	\$ 18.361
Rodamiento 4	\$ 20.737
Correa Dentada	\$ 29.900
Engranaje	\$ 35.890

Tabla 4.22: Costos de los Repuestos Nuevos. Fuente: Elaboración Propia

Para conocer determinar los costos de realizar mantenencias preventivas y correctivas, deben definirse los tiempos que demoran estas intervenciones actualmente. Estos tiempos se estimaron a partir de las duraciones de cada orden de trabajo generada para realizar las mantenencias, y se pueden observar en la Tabla 4.23 a continuación:

Tarea	Duración Preventivo (h)	Duración Correctivo (h)
Cambio de Rodamiento 1	5	9
Cambio de Rodamiento 2	4	8
Cambio de Rodamiento 3	4	7
Cambio de Rodamiento 4	6	10
Cambio de Correa Dentada	6	7
Cambio de Engranaje	7	11

Tabla 4.23: Tiempos de duración en mantenimiento Preventivo y Correctivo. Fuente: Elaboración Propia

Las diferencias entre las duraciones de intervención preventiva y correctiva son atribuidas al tiempo de preparación que se requiere antes de ejecutar el trabajo, como la desenergización de los equipos o zonas en las cuales se trabajará, el traslado de los repuestos desde bodega y pañol hacía el sector en donde se realizará la mantención.

4.5. COSTOS CALCULADOS PARA CAMBIO PREVENTIVO Y CORRECTIVO

4.5.1. Cambio de Rodamiento 1

Los costos calculados para el cambio del rodamiento 1 de manera preventiva se presentan en la tabla 4.24 a continuación:

Rodamiento 1 Nuevo (CLP)	\$ 50.861
Mano de obra (CLP)	\$ 40.000
Costo de falla (CLP)	\$3.500.000
Total Costo Preventivo	\$3.590.861

Tabla 4.24: Costo Mant. Preventivo del Rodamiento 1. Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 4.25 que se muestra a continuación se dan a conocer los costos del rodamiento 1 de manera correctiva.

Rodamiento 1 Nuevo (CLP)	\$ 50.861
Mano de obra (CLP)	\$ 72.000
Costo de falla (CLP)	\$6.300.000
Total Costo Correctivo	\$6.422.861

Tabla 4.25: Costo Mant. Correctivo para el Rodamiento 1. Fuente: Elaboración Propia

A continuación, en el siguiente Gráfico se muestra la curva del costo de mantenimiento en función del tiempo. Además, se puede observar cuando se debe realizar el cambio del rodamiento a los 120 días.

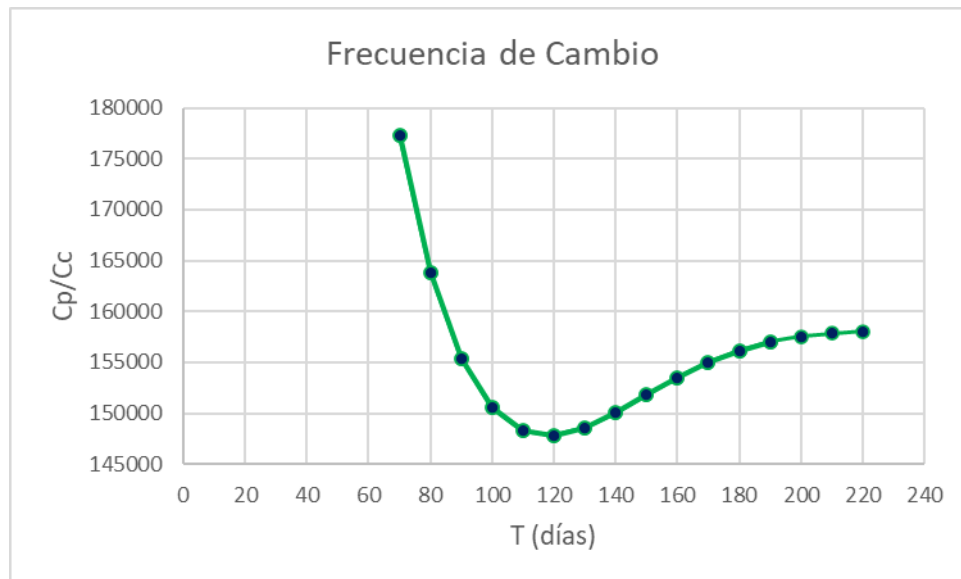


Gráfico 4.14: Gráfico de Frecuencia de Cambio del Componente. Fuente: Elaboración Propia

4.5.2. Cambio de Rodamiento 2

Los costos calculados para el cambio del rodamiento 2 de manera preventiva se presentan en la tabla 4.26 a continuación:

Rodamiento 2 Nuevo (CLP)	\$ 25.074
Mano de obra (CLP)	\$ 32.000
Costo de falla (CLP)	\$2.800.000
Total Costo Preventivo	\$2.857.074

Tabla 4.26: Costo Mant. Preventivo del Rodamiento 2. Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 4.27 que se muestra a continuación se dan a conocer los costos del rodamiento 2 de manera correctiva.

Rodamiento 2 Nuevo (CLP)	\$ 25.074
Mano de obra (CLP)	\$ 64.000
Costo de falla (CLP)	\$5.600.000
Total Costo Correctivo	\$5.689.074

Tabla 4.27: Costo Mant. Correctivo del Rodamiento 2. Fuente: Elaboración Propia

A continuación, en el siguiente Gráfico se muestra la curva del costo de mantenimiento en función del tiempo. Además, se puede observar cuando se debe realizar el cambio del rodamiento a los 200 días.

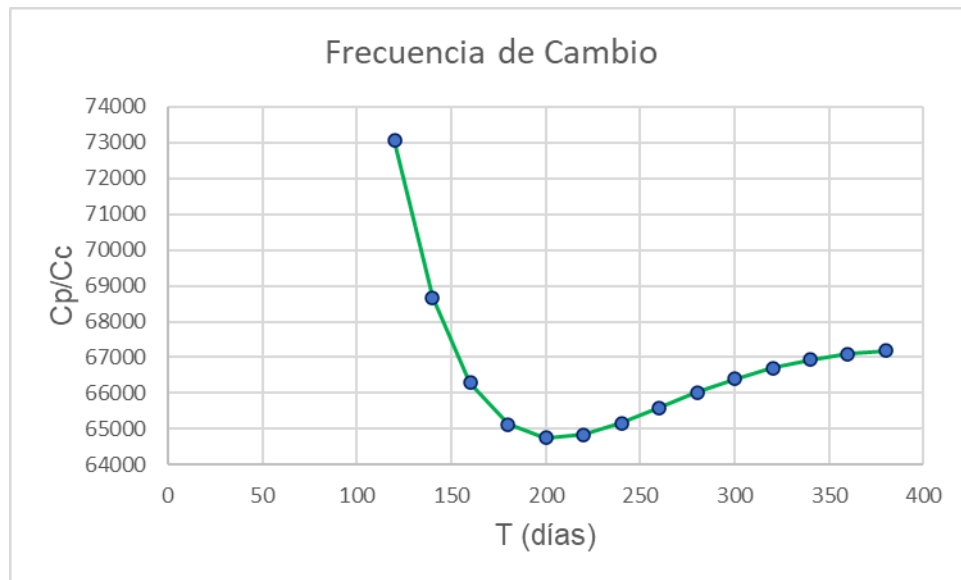


Gráfico 4.15: Gráfico de Frecuencia de Cambio del Componente. Fuente: Elaboración Propia

4.5.3. Cambio de Rodamiento 3

Los costos calculados para el cambio del rodamiento 3 de manera preventiva se presentan en la tabla 4.28 a continuación:

Rodamiento 3 Nuevo (CLP)	\$ 18.361
Mano de obra (CLP)	\$ 32.000
Costo de falla (CLP)	\$2.800.000
Total Costo Preventivo	\$2.850.361

Tabla 4.28: Costo Mant. Preventivo del Rodamiento 3. Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 4.29 que se muestra a continuación se dan a conocer los costos del rodamiento 3 de manera correctiva.

Rodamiento 3 Nuevo (CLP)	\$ 18.361
Mano de obra (CLP)	\$ 56.000
Costo de falla (CLP)	\$4.900.000
Total Costo Correctivo	\$4.974.361

Tabla 4.29: Costo Mant. Correctivo del Rodamiento 3. Fuente: Elaboración Propia

A continuación, en el siguiente Gráfico se muestra la curva del costo de mantenimiento en función del tiempo. Además, se puede observar cuando se debe realizar el cambio del rodamiento a los 180 días.

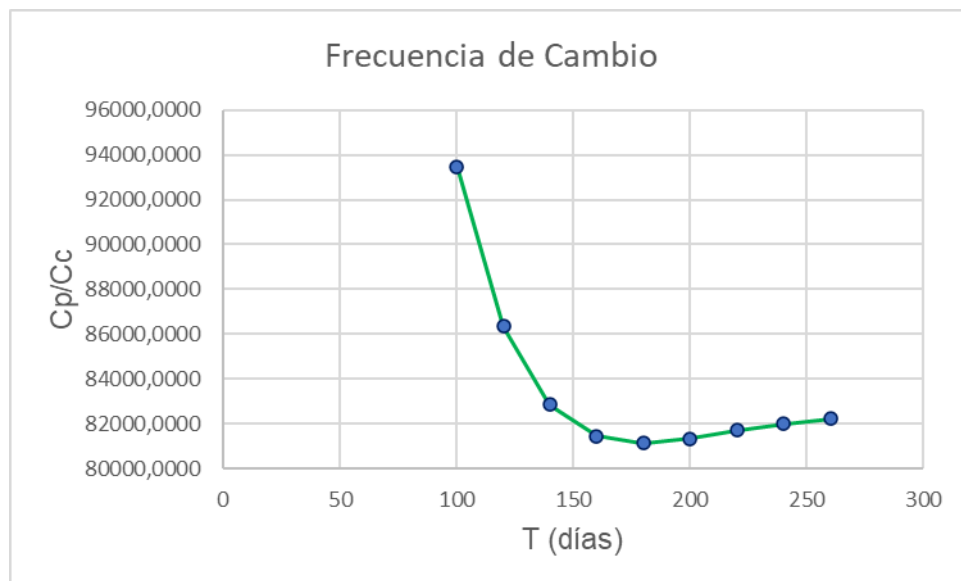


Gráfico 4.16: Gráfico de Frecuencia de Cambio del Componente. Fuente: Elaboración Propia

4.5.4. Cambio de Rodamiento 4

Los costos calculados para el cambio del rodamiento 4 de manera preventiva se presentan en la tabla 4.30 a continuación:

Rodamiento 4 Nuevo (CLP)	\$ 20.737
Mano de obra (CLP)	\$ 48.000
Costo de falla (CLP)	\$4.200.000
Total Costo Preventivo	\$4.268.737

Tabla 4.30: Costo Mant. Preventivo del Rodamiento 4. Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 4.31 que se muestra a continuación se dan a conocer los costos del rodamiento 4 de manera correctiva.

Rodamiento 4 Nuevo (CLP)	\$ 20.737
Mano de obra (CLP)	\$ 80.000
Costo de falla (CLP)	\$7.000.000
Total Costo Correctivo	\$7.100.737

Tabla 4.31: Costo Mant. Correctivo del Rodamiento 4. Fuente: Elaboración Propia

A continuación, en el siguiente Gráfico se muestra la curva del costo de mantenimiento en función del tiempo. Además, se puede observar cuando se debe realizar el cambio del rodamiento a los 110 días.

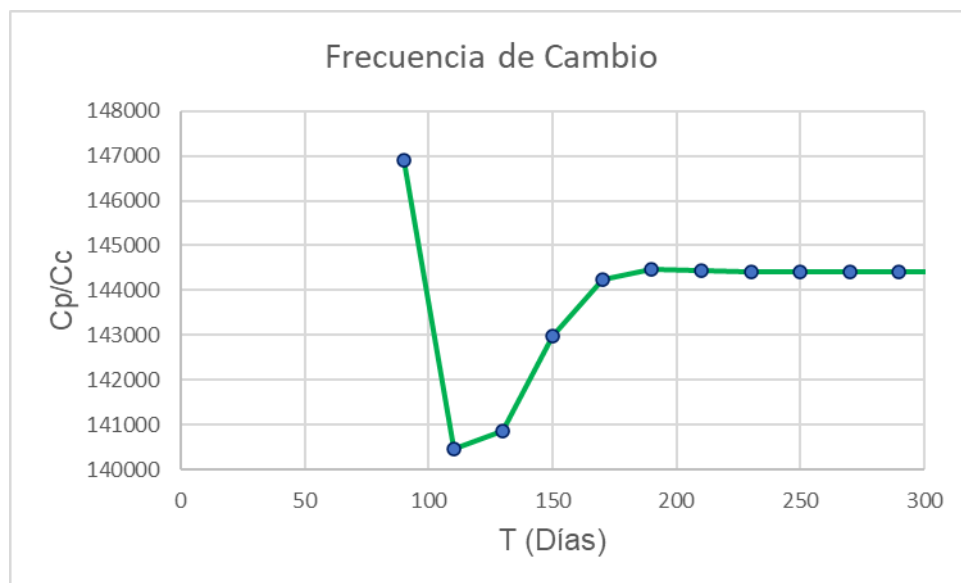


Gráfico 4.17: Gráfico de Frecuencia de Cambio del Componente. Fuente: Elaboración Propia

4.5.5. Cambio de Correa

Los costos calculados para el cambio de la correa de manera preventiva se presentan en la tabla 4.32 a continuación:

Correa Nueva (CLP)	\$ 29.900
Mano de obra (CLP)	\$ 48.000
Costo de falla (CLP)	\$4.200.000
Total Costo Preventivo	\$4.277.900

Tabla 4.32: Costo Mant. Preventivo de Correa. Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 4.33 que se muestra a continuación se dan a conocer los costos de correa de manera correctiva.

Correa Dentada Nueva	\$ 29.900
Mano de obra (CLP)	\$ 56.000
Costo de falla (CLP)	\$4.900.000
Total Costo Correctivo	\$4.985.900

Tabla 4.33: Costo Mant. Correctivo de Correa. Fuente: Elaboración Propia

A continuación, en el siguiente Gráfico se muestra la curva del costo de mantenimiento en función del tiempo. En este caso no se evidencia un punto mínimo por ende se optaría por el mantenimiento correctivo.

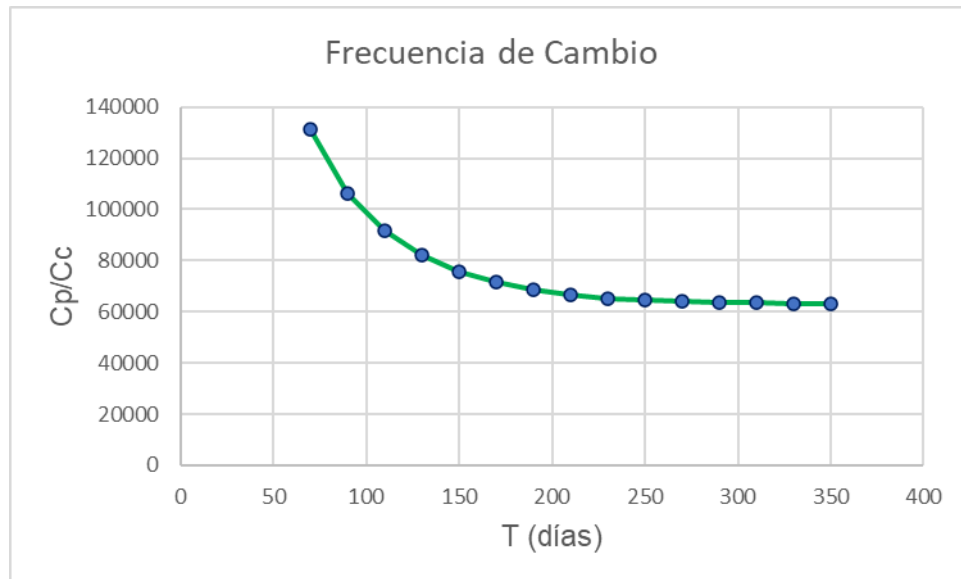


Gráfico 4.18: Gráfico de Frecuencia de Cambio del Componente. Fuente: Elaboración Propia

4.5.6. Cambio del Engranaje

Los costos calculados para el cambio del Engranaje de manera preventiva se presentan en la tabla 4.34 a continuación:

Engranaje Nuevo (CLP)	\$ 35.890
Mano de obra (CLP)	\$ 56.000
Costo de falla (CLP)	\$4.900.000
Total Costo Preventivo	\$4.991.890

Tabla 4.34: Costo Mant. Preventivo del Engranaje. Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 4.35 que se muestra a continuación se dan a conocer los costos del Engranaje de manera correctiva.

Engranaje Nuevo (CLP)	\$ 35.890
Mano de obra (CLP)	\$ 96.000
Costo de falla (CLP)	\$7.700.000
Total Costo Correctivo	\$7.831.890

Tabla 4.35: Costo Mant. Correctivo del Engranaje. Fuente: Elaboración Propia

A continuación, en el siguiente Gráfico se muestra la curva del costo de mantenimiento en función del tiempo. En este caso al igual que con la correa, no se evidencia un punto mínimo de falla por ende se optaría por el mantenimiento correctivo.

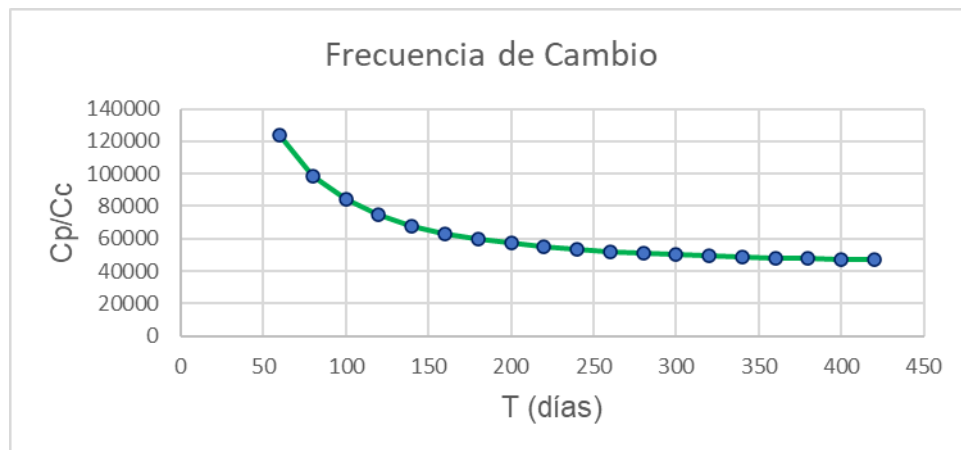


Gráfico 4.19: Gráfico de Frecuencia de Cambio del Componente. Fuente: Elaboración Propia

4.6. PLANIFICACIÓN EN BASE A UNA FRECUENCIA ÓPTIMA

A continuación, se puede observar en la Figura 4.1 una Planificación de Mantenimiento Preventivo sólo para los rodamientos N°1, N°2, N°3 y N°4 (los cuales presentaron fallas a lo largo del tiempo de vida de la máquina seleccionadora de paltas) ya que según las gráficas de costo de mantenimiento en función del tiempo reflejaron que eran los únicos a los cuales convenía realizarles mantenimiento preventivo. A los demás componentes habría que aplicarles mantenimiento correctivo.

De acuerdo con las gráficas de las curvas de los costos de mantenimiento en función del tiempo que se obtuvieron, las cuales arrojaron que para el rodamiento 1 se debe realizar el cambio a los 90 días. El rodamiento 2 se debe reemplazar cada 120 días, el rodamiento 3 se tendría que cambiar cada 100 días y el rodamiento 4 se debe reemplazar al paso de 130 días. De acuerdo a esto, se hizo una planificación anual para el reemplazo y lubricación de los componentes.

<i>Planificación Anual de Mantenimiento para Seleccionadora de Paltas MP-20005</i>												
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Actividades	31 Días	28 Días	31 Días	30 Días	31 Días	30 Días	31 Días	31 Días	30 Días	31 Días	30 Días	31 Días
Lubricación de Rodamientos (Mensual)	28-01-2022	28-02-2022	28-03-2022	28-04-2022	28-05-2022	28-06-2022	28-07-2022	28-08-2022	28-09-2022	28-10-2022	28-11-2022	28-12-2022
Cambio Rodamiento 1 (6208)/90 Días				30-04-2022				28-08-2022				26-12-2022
Cambio Rodamiento 2 (6208)/120 Días							19-07-2022					
Cambio Rodamiento 3 (6204)/100 Días						29-06-2022						26-12-2022
Cambio Rodamiento 4 (6204)/130 Días				20-04-2022				18-08-2022				06-12-2022

Figura 4.2: Planificación de Mantenimiento Preventivo. Fuente: Elaboración Propia

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

A partir del desarrollo de esta memoria en conjunto con los resultados obtenidos en el capítulo cuatro, es posible indicar que tanto el objetivo general como los objetivos específicos se han cumplido, ya que se logró utilizar la información recopilada como los conceptos de mantenimiento, confiabilidad, planes de mantenimiento, etc. Con el fin de llevarlos a la práctica en el análisis de los componentes de la Seleccionadora de Paltas MP-20005 de la Agrícola El Valle.

Para llevar a cabo todo lo anterior fue necesario estudiar la literatura para realizar análisis de confiabilidad y así escoger la que mejor se adecuara a la información que se había recopilado para desarrollar el estudio de componentes. En particular se utilizaron distintos métodos para definir la criticidad de las fallas, permitiendo así realizar un modelamiento de los elementos de la máquina a partir de datos que fueron entregados a disposición por parte de la empresa, los cuales fueron necesarios para establecer la frecuencia de reemplazo de los componentes a los cuales se les pudiera aplicar el método a partir del análisis de confiabilidad, ya que surgieron casos en donde la técnica de mantenimiento correctivo sigue siendo la recomendada luego de aplicarse el estudio técnico y económico.

La utilización de los diagramas de Pareto y Jackknife fueron esenciales para poder declarar la criticidad en la que se encontraban los componentes de la seleccionadora y también la relevancia dentro del funcionamiento de la MP-20005. Es por lo anterior que la categorización de las fallas según el tiempo en que estuvo no operativa la máquina.

Posteriormente, en la etapa de modelamiento de la vida de los distintos componentes a estudiar por medio de la distribución de Weibull, se puede lograr generar gráficas de confiabilidad y que resulta útil para la planificación de carácter preventivo en el equipo, además de permitir realizar un análisis de la vida útil de los componentes que se encuentran sometidos a un uso diario.

La comparación entre los costos totales tanto por parte del mantenimiento preventivo como correctivo nos permite evidenciar lo complejo que significa no efectuar mantenciones programadas y dejar que el equipo deje de producir por la falla de alguno de sus componentes, lo cual se traduce en pérdidas de carácter monetario bien relevantes y que a la larga se pueden evitar gracias a la planificación del mantenimiento de la seleccionadora. En el cálculo de costos para el cambio de los

Conclusiones

componentes se ve reflejado lo superior que es el costo del mantenimiento correctivo en comparación a los costos obtenidos por parte del mantenimiento preventivo.

Es por todo lo mencionado anteriormente y como se hizo hincapié al principio, el desarrollo de la memoria permite declarar el cumplimiento de los objetivos y resultados esperados que fueron descritos en la introducción de este documento.

REFERENCIAS

[1] Matías Valenzuela. *Planificación de Mantenimiento Preventivo. Universidad de Chile, 2020*

[2] Belén Muñoz. *Mantenimiento Industrial. Universidad Carlos III, Madrid.*

[3] Francisco Fuentes. *Apuntes Mantenimiento Industrial. Chile, 2020.*

[4] Asociación Española para la calidad (AEC). *Mantenimiento. España, 2019.*

[5] José Manuel Domenech. *Diagrama de Pareto. Curso de Estadística.*

[6] SKF.com.Products, Rolling, Bearings.

[7] Juan Carlos Figueroa. “ESTUDIO DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONFIABILIDAD ACORDE AL SISTEMA ASSET MANAGEMENT APLICADO A LA FLOTA DE BULLDOZER CAT D10T, MINERA ANGLO AMERICAN OPERACIÓN MANTOVERDE”. *Concepción, 2014.*

[8] Ingemaq. *Ingeniería en Maquinarias. Ingemaq.cl.*

[9] Marcelo Vidal, *Política del Mantenimiento, Clases de Mantenimiento. Chile, 2018*

[10] Francisco Fuentes Salcedo, *Diagramas de Dispersión. Chile, 2021*

[11] Pablo Viveros-Rodrigo Mena, *Capítulo Confiabilidad. 2016*

ANEXO 1:

Falla	Fecha	N° de Fallas	MTTF (días)	Tiempo de Reparación (hrs)
Rodamiento 1	04-01-2017	0	Instalación	Instalación
	25-06-2017	1	172	2,2
	12-11-2017	2	171	1,7
	21-02-2018	3	101	1,8
	09-07-2018	4	138	1,9
	12-10-2018	5	95	2
	16-01-2019	6	89	1,6
	09-08-2019	7	205	1,3
	15-12-2019	8	128	1,7
	14-03-2020	9	90	1,5
	21-05-2020	10	68	1,8
	28-09-2020	11	130	1,6
	07-01-2021	12	101	1,7
	02-05-2021	13	115	1,5
	14-10-2021	14	165	1,4
Rodamiento 2	04-01-2017	0	Instalación	0
	02-01-2018	1	363	1,8
	27-09-2018	2	268	1,9
	15-04-2019	3	200	1,7
	20-11-2019	4	219	1,6
	12-03-2020	5	113	1,8
	15-08-2020	6	156	1,5
	14-12-2020	7	121	1,3
	20-04-2021	8	127	1,2
	10-11-2021	9	204	1,5
Rodamiento 3	04-01-2017	0	Instalación	0
	10-09-2017	1	249	1,7
	05-03-2018	2	176	1,8
	20-10-2018	3	229	1,5
	10-02-2019	4	113	1,6
	14-09-2019	5	216	1,5
	20-12-2019	6	97	1,4

Anexos

	12-04-2020	7	114	1,3
	10-09-2020	8	151	1,4
	27-12-2020	9	108	1,5
	15-04-2021	10	109	1,4
	18-10-2021	11	186	1,6
Rodamiento 4	04-01-2017	0	Instalación	0
	07-08-2017	1	215	1,8
	10-12-2017	2	125	2
	12-05-2018	3	153	1,6
	28-09-2018	4	139	1,4
	29-12-2018	5	92	1,7
	10-04-2019	6	102	1,5
	15-08-2019	7	127	1,4
	18-12-2019	8	125	1,3
	12-03-2020	9	85	1,6
	15-07-2020	10	125	1,4
	09-11-2020	11	117	2
	18-04-2021	12	160	1,5
Correa Dentada	04-01-2017	0	Instalación	0
	02-10-2017	1	271	1,3
	12-03-2018	2	161	1,1
	14-09-2018	3	186	1
	18-12-2018	4	95	0,8
	16-02-2019	5	60	1,2
	12-08-2019	6	177	1
	18-01-2020	7	159	0,5
	30-09-2020	8	256	0,7
	27-12-2020	9	88	0,8
	08-05-2021	10	132	0,5
Engranaje	04-01-2017	0	Instalación	0
	21-01-2018	1	382	3
	15-12-2018	2	328	2,8
	06-04-2019	3	112	2,5
	18-11-2019	4	215	2,5
	05-02-2020	5	48	2
	14-10-2020	6	252	2,2
	07-01-2021	7	85	2

