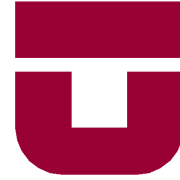


INGENIERÍA CIVIL INDUSTRIAL



UNIVERSIDAD DE TALCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL INDUSTRIAL

PROYECTO DE TÍTULO

**“PROPUESTA DE MEJORA AL PLAN DE  
MANTENIMIENTO DE LÍNEA DE PROCESOS  
DOYPACK PARA EMPRESA SURFRUT LTDA.”**

**AUTOR:**

PABLO IGNACIO SANTELICES ELGUETA

**PROFESORA GUÍA:**

MYRIAM RAQUEL GAETE GAETE

CURICÓ – CHILE  
ENERO DE 2022

## 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.



Two circular official stamps and handwritten signatures in blue ink. The left stamp is from the 'DIRECCIÓN SISTEMA DE BIBLIOTECAS' of the 'UNIVERSIDAD DE TALCA'. The right stamp is from the 'SISTEMA DE BIBLIOTECAS CAMPUS CURICO' of the 'UNIVERSIDAD DE TALCA'.

Curicó, 2022

# RESUMEN EJECUTIVO

En el presente informe, se realiza una propuesta de mejora al plan de mantenimiento de la empresa Agroindustrial Surfrut Ltda., ubicada en Romeral, Curicó. Región del Maule, Chile. El objetivo de esta propuesta de mejora es aumentar la disponibilidad de una de sus líneas de procesos, específicamente, la línea *Doypack*, dedicada a producir *sachets* de puré de fruta.

En primer lugar, se expone la empresa en donde se desarrolla el proyecto, proporcionando sus principales características, como, por ejemplo, los inicios de la empresa, el rubro al que se dedica, su estructura organizacional, etc. En este mismo apartado, es presentada la problemática de la empresa, que se define como el desconocimiento de la confiabilidad de la línea, lo cual trae consecuencias al no poder tomar decisiones con información de calidad para implementar mejoras al plan de mantenimiento y aumentar la disponibilidad de la línea. En respuesta a esta problemática, se presenta el objetivo general del proyecto junto con los objetivos específicos y, asimismo, los resultados tangibles esperados.

Luego, se presentan todos los conocimientos, teóricos y técnicos, que serán necesarios para llevar a cabo, de buena forma, el proyecto. Es aquí donde se muestran los pilares en los que se basa el proyecto, se utilizan, en general, conceptos asociados al mantenimiento, por ejemplo, confiabilidad, tipos de mantenimiento, tasas de fallo, modelos de fiabilidad, etc. Por otro lado, también se define la metodología a utilizar con el fin de desarrollar una propuesta para la empresa.

De este punto en adelante, el proyecto es dividido en cuatro etapas, la etapa de diagnóstico, en donde se utilizan diversas herramientas para conocer el estado actual de la empresa. La etapa de medir, en donde se conocerán los parámetros relevantes para la línea. La etapa de análisis, en donde se trabajan los datos y se comienza a ver el ápice de la propuesta de mejora. Por último, la etapa de mejora, en donde, se agrega el apartado de la evaluación de impactos, en esta etapa, ya se provee a la empresa de la propuesta de mejora desarrollada y, además, se analizan los beneficios y costos que tendría implementar la propuesta de mejora. Por último, se realizan las conclusiones respectivas a los resultados obtenidos.

**Palabras clave:** mantenimiento, Weibull, fiabilidad.

**Pablo Ignacio Santelices Elgueta (Psantelices17@alumnos.otalca.cl)**  
**Estudiante de Ingeniería Civil Industrial – Universidad de Talca**  
**Enero de 2022**

*Dedicado a mis padres,  
quienes, cada día, me apoyaron incondicionalmente. . .*

# **AGRADECIMIENTOS**

A todos aquellos que formaron parte, de una u otra forma, de este proceso educativo y aportaron a mi crecimiento como persona: compañeros, profesores y a las amistades que se formaron en el camino.

A mis padres, Estrella Elgueta y Carlos Santelices, quienes me brindaron confianza y apoyo incondicional durante este recorrido.

A Sebastián Moya y Carmen Gloria Valerio, quienes llegaron por mera casualidad a mi vida y pasaron a ser parte de mí.

A mi profesora guía Myriam Gaete, que tuvo siempre la mejor disposición a ayudarme durante esta experiencia. Gracias por las palabras de ánimo, la compañía hasta altas horas de la noche y los consejos que, de seguro, me harán un mejor profesional.

A la Universidad, por darme las herramientas para desarrollar exitosamente este proyecto y prepararme para mi futuro.

A mis mascotas, Lulú, Emma y Kyra.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN EJECUTIVO .....	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	5
GLOSARIO.....	5
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN .....	6
1.1. Lugar de aplicación.....	7
1.1.1. Estructura organizacional .....	8
1.2. Problemática .....	8
1.3. Objetivo general.....	10
1.4. Objetivos específicos .....	10
1.5. Resultados tangibles esperados.....	10
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO Y METODOLOGÍA .....	11
2.1. Probabilidades.....	12
2.2. Distribuciones de probabilidad .....	12
2.2.1. Conceptos generales .....	12
2.2.2. Distribución Weibull .....	13
2.2.3. Distribución Gamma .....	14

2.3.	Conceptos generales de mantenimiento.....	16
2.3.1.	Mantenimiento.....	16
2.3.2.	Tipos de mantenimiento .....	17
2.3.3.	Elementos reparables y no reparables .....	18
2.3.4.	Confiabilidad .....	19
2.3.5.	Tasa de fallos ( <i>Failure rate</i> , $\lambda$ ).....	19
2.3.6.	Función de tasa de fallos ( <i>Hazard rate function</i> , $h(t)$ ).....	20
2.3.7.	Evolución de la tasa de fallos .....	22
2.3.8.	Tiempo medio entre fallas (MTBF) .....	24
2.3.9.	Tiempo medio hasta la falla (MTTF) .....	24
2.3.10.	Tiempo medio de reparación (MTTR).....	25
2.4.	Modelos de confiabilidad.....	25
2.4.1.	Modelo Weibull.....	25
2.5.	Otros modelos de confiabilidad .....	26
2.5.1.	Modelo Normal ( $N\mu, \sigma$ ).....	27
2.5.2.	Modelo Exponencial ( $EXP\lambda$ ) .....	27
2.6.	Modelo de costo - riesgo.....	28
2.7.	Análisis FODA .....	29
2.7.1.	Análisis interno.....	30
2.7.2.	Análisis externo .....	30
2.8.	Metodologías .....	31
2.8.1.	Six Sigma: DMAIC .....	32
2.8.2.	Ciclo de Deaming (PDSA) .....	33
2.8.3.	Calidad total: trilogía de Juran .....	35
2.8.4.	Elección de metodología .....	36
2.9.	Etapas del proyecto.....	37

---

2.9.1.	Etapa I: Definir .....	37
2.9.2.	Etapa II: Medir.....	37
2.9.3.	Etapa III: Analizar .....	38
2.9.4.	Etapa IV: Evaluar y mejorar .....	38
CAPÍTULO	3:	DIAGNÓSTICO
.....	.....	39
3.1.	Formalización de procesos actuales.....	40
3.2.	Procedimiento departamento de mantención: Plan de mantención industrial (PC 10001).....	40
3.2.1.	Nomenclatura general.....	40
3.2.2.	Responsabilidades de cada cargo .....	41
3.2.3.	Organigrama área mantenimiento .....	42
3.2.4.	Planificación y programación de actividades de mantenimiento .....	43
3.2.5.	Metas de mantenimiento.....	45
3.3.	El proceso productivo .....	45
3.4.	Datos de falla .....	46
3.5.	Datos de repuestos .....	47
3.6.	Análisis interno de la empresa .....	48
3.6.1.	Análisis 4C .....	48
3.6.2.	Análisis 4P.....	49
3.7.	Análisis externo de la empresa .....	49
3.7.1.	Análisis PESTEL.....	50
3.8.	Análisis FODA .....	51
3.8.1.	Fortalezas.....	51

3.8.2.	Debilidades .....	52
3.8.3.	Amenazas.....	52
3.8.4.	Oportunidades.....	52
3.9.	Análisis FODA área de mantenimiento .....	52
3.9.1.	Fortalezas.....	53
3.9.2.	Debilidades .....	53
3.9.3.	Amenazas.....	53
3.9.4.	Oportunidades.....	53
3.10.	Conclusiones análisis FODA y etapa de diagnóstico.....	54
<b>CAPÍTULO 4: VERIFICACIÓN Y ESTUDIO DE LA INFORMACIÓN</b>		
		56
4.1.	Análisis de base de datos actual.....	57
4.1.1.	Datos de falla .....	57
4.1.2.	Datos de repuestos .....	58
4.2.	Disponibilidad de la línea .....	59
4.3.	Plan de mantenimiento envasadora Gualapack.....	59
4.4.	Cálculo de parámetros Weibull.....	60
4.4.1.	Parámetros envasadora Gualapack .....	61
4.5.	Confiabilidad envasadora Gualapack .....	62
4.6.	Intercambio óptimo de repuestos .....	63
4.6.1.	Intercambio óptimo distribuidor de <i>sachet</i> .....	63
4.6.2.	Intercambio óptimo cargador largo/corto .....	64
4.6.3.	Intercambio óptimo enrosgador .....	65
4.6.4.	Intercambio óptimo dosificador .....	66



4.6.5.	Intercambio óptimo sensor .....	67
4.6.6.	Resumen intervenciones envasadora Gualapack.....	68
4.7.	Calendario de mantenencias .....	69
4.8.	Propuesta de mejora: toma de datos .....	73
4.8.1.	Planilla de fallas .....	73
4.8.2.	Planilla de repuestos .....	74
<b>CAPÍTULO 5: EVALUACIÓN DE IMPACTOS</b>		
.....		75
5.1.	Costos.....	76
5.1.1.	Costos de mano de obra.....	76
5.1.2.	Costos cambio de repuesto .....	76
5.1.3.	Costos parada de línea .....	77
5.1.4.	Costo total mantenimiento preventivo Gualapack.....	77
5.1.5.	Costo total mantenimiento correctivo Gualapack .....	78
5.1.6.	Otros costos asociados.....	78
5.2.	Beneficios .....	78
5.2.1.	Disponibilidad de la línea.....	78
5.2.2.	Producción.....	79
5.3.	Análisis Costos – Beneficios .....	79
5.4.	Impacto ambiental.....	80
5.4.1.	Repuestos.....	80
5.4.2.	Transporte.....	81
5.5.	Análisis de sensibilidad .....	81
5.5.1.	Caso uno: disminución del 15% en tiempos de intervención preventiva.....	81
5.5.2.	Caso dos: aumento del 15% en tiempos de intervención preventiva .....	82

CONCLUSIONES.....	83
BIBLIOGRAFÍA.....	85
ANEXOS.....	88

## **ÍNDICE DE ILUSTRACIONES**

Ilustración 1: Exportaciones Surfrut.....	7
Ilustración 2: Organigrama Surfrut .....	8
Ilustración 3: Evolución del mantenimiento industrial .....	16
Ilustración 4: Tasa de fallos contante .....	21
Ilustración 5: Tasa de fallos creciente .....	21
Ilustración 6: Tasa de fallos decreciente.....	22
Ilustración 7: Curva de la bañera.....	23
Ilustración 8: Curvas modelo costo - riesgo .....	29
Ilustración 9: Ciclo DMAIC.....	33
Ilustración 10: Ciclo PDSA .....	33
Ilustración 11: Gestión de la calidad total .....	35
Ilustración 12: Organigrama mantenimiento.....	42
Ilustración 13: Flujo de procesos línea <i>doypack</i> .....	46

Ilustración 14: Plan Mtto. Bombas dosificadoras.....	60
Ilustración 15: Plan Mtto. motorreductor cadena .....	60
Ilustración 16: Plan Mtto. alimentación nitrógeno .....	60
Ilustración 17: Plan mantenimiento enero .....	70
Ilustración 18: Plan mantenimiento febrero .....	70
Ilustración 19: Plan mantenimiento marzo .....	70
Ilustración 20: Plan mantenimiento abril.....	70
Ilustración 21: Plan mantenimiento mayo .....	71
Ilustración 22: Plan mantenimiento junio.....	71
Ilustración 23: Plan mantenimiento julio.....	71
Ilustración 24: Plan mantenimiento agosto .....	71
Ilustración 25: Plan mantenimiento septiembre .....	72
Ilustración 26: Plan mantenimiento octubre .....	72
Ilustración 27: Plan mantenimiento noviembre.....	72
Ilustración 28: Plan mantenimiento diciembre.....	72

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Función de densidad de distribución Weibull .....	14
Ecuación 2: Función de distribución acumulada Weibull.....	14

Ecuación 3: Función de densidad gamma .....	15
Ecuación 4: Función de distribución acumulada para la distribución gamma .....	15
Ecuación 5: Probabilidad de falla de componentes en un intervalo de tiempo definido.....	19
Ecuación 6: Cálculo de tasa de fallos según horas de funcionamiento .....	20
Ecuación 7: Función de tasa de fallos .....	20
Ecuación 8: Cálculo de tiempo medio entre fallas .....	24
Ecuación 9: Cálculo formal del tiempo medio entre fallas .....	24
Ecuación 10: Cálculo de tiempo medio hasta la falla.....	25
Ecuación 11: Cálculo tiempo medio de reparación .....	25
Ecuación 12: Función de confiabilidad, modelo Weibull .....	26
Ecuación 13: Tasa de fallos, modelo Weibull .....	26
Ecuación 14: Tasa media de fallos, modelo Weibull .....	26
Ecuación 15: Función de confiabilidad, modelo normal .....	27
Ecuación 16: Tasa de fallos, modelo normal.....	27
Ecuación 17: Tiempo medio entre fallas, distribución normal.....	27
Ecuación 18: Función de confiabilidad, modelo exponencial.....	27
Ecuación 19: Tasa de fallos, modelo exponencial.....	28
Ecuación 20: Tiempo medio entre fallas, modelo exponencial.....	28

Ecuación 21: Huella de carbono ..... 81

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Componentes análisis FODA ..... 30

Tabla 2: Matriz de importancia relativa ..... 32

Tabla 3: Matriz multicriterio elección metodología ..... 36

Tabla 4: PC 10.001 ..... 40

Tabla 5: Nomenclaturas utilizadas en Surfrut ..... 41

Tabla 6: Actividades plan anual de mantenimiento..... 43

Tabla 7: Actividades plan mensual de mantenimiento ..... 44

Tabla 8: Actividades plan semanal de mantenimiento – Parte 1 ..... 44

Tabla 9: Actividades plan semanal de mantenimiento – Parte 2 ..... 45

Tabla 10: Actividades metas de mantenimiento..... 45

Tabla 11: Confiabilidad línea productiva ..... 59

Tabla 12: Parámetros envasadora Gualapack ..... 62

Tabla 13: Resumen tiempos de reemplazo y cantidad anual de reemplazo ..... 68

Tabla 14: Propuesta recambio de componentes ..... 69

Tabla 15: Costos mano de obra ..... 76

Tabla 16: Costos asociados al cambio de repuestos ..... 77

Tabla 17: Costos paradas de producción .....	77
Tabla 18: Costo mantenimiento preventivo envasadora Gualapack .....	77
Tabla 19: Costos mantenimiento correctivo envasadora Gualapack.....	78
Tabla 20: Disponibilidad mediante propuesta de mejora .....	79
Tabla 21: Beneficios mantención preventiva .....	80
Tabla 22: Costos anuales - Caso 1 .....	82
Tabla 23: Costos anuales - Caso 2.....	82

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Fallas eléctricas y mecánicas, periodo enero – septiembre, años 2020 y 2021.....	9
Gráfico 2: Tasa de fallos distribuidor de sachet .....	62
Gráfico 3: Confiabilidad modos de fallo .....	62
Gráfico 4: Análisis riesgo - costo distribuidor de <i>sachet</i> .....	64
Gráfico 5: Análisis riesgo - costo cargador largo/corto.....	65
Gráfico 6: Análisis riesgo - costo enroscador.....	65
Gráfico 7: Análisis riesgo - costo dosificador .....	66
Gráfico 8: Análisis riesgo - costo sensores.....	67

# ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Campana de Gauss.....	88
Anexo 2: Curvas de densidad Weibull .....	88
Anexo 3: Curva de la bañera para componentes mecánicos .....	89
Anexo 4: Columnas agregadas planilla toma de datos .....	89
Anexo 5: Listas desplegables planilla toma de datos .....	89

# GLOSARIO

**MTBF:** tiempo medio entre fallas (*mean time between failures*)

**MTTR:** tiempo medio para reparar (*mean time to repair*)

***Business to business:*** hace referencia a las transacciones comerciales entre empresas, específicamente, la relación fabricante – distribuidor.

**Confiabilidad:** se define como la probabilidad de que un equipo, sistema, máquina o componente, realice la función para la cual fue diseñado en un periodo de tiempo definido.

**Disponibilidad:** la disponibilidad representa el porcentaje de tiempo que el equipo, sistema o máquina está realmente operativo.

**Curva de la bañera:** gráfica sumamente utilizada en confiabilidad, la cual, representa los fallos de un sistema, durante su periodo de vida útil.

**Mantenimiento:** es la acción que tiene por objetivo arreglar o preservar un determinado equipo, sistema, máquina o componente.



# **CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN**

*En el siguiente capítulo, se presentan la introducción del proyecto, se presenta la empresa donde será realizado el trabajo, se especifican los objetivos, el alcance del proyecto y los resultados tangibles esperados de este*

## 1.1. Lugar de aplicación

El proyecto de título se sitúa en la empresa Agroindustrial Surfrut Ltda., la cual es una empresa privada fundada en el año 1945 bajo la premisa de cultivadora, procesadora y envasadora de cerezas frescas, si bien, aun cultivan la gran mayoría de sus materias primas, la gama de productos se ha diversificado en gran medida en comparación a los inicios de la empresa. Actualmente, se encarga de producir fruta deshidratada (tipo *snack*), colados de fruta individuales, puré de fruta, fruta en conserva, entre otros productos.

Las oficinas comerciales están ubicadas en Av. Hernando de Aguirre 1915, Providencia, Región Metropolitana, por otra parte, sus plantas procesadoras se ubican en Av. Ramón Freire 1390, Romeral, Región del Maule.

En cuanto a sus ventas, la mayoría de estas son gracias a exportaciones, si bien, tienen ventas al interior de Chile, el principal ingreso se percibe gracias a los clientes de fuera del país. En la Ilustración 1, se observa la red de exportaciones de Surfrut.

**Ilustración 1: Exportaciones Surfrut**

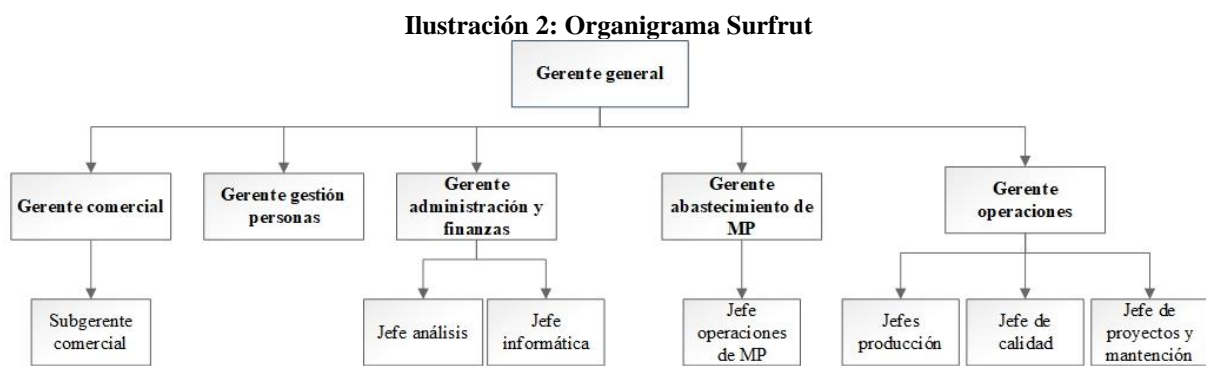


Fuente: (Surfrut, 2021)

### 1.1.1. Estructura organizacional

La estructura organizacional de la empresa está dividida en siete gerencias: gerencia general, gerencia comercial, gerencia de gestión de personas, gerencia de administración y finanzas, gerencia de abastecimiento de materias primas y gerencia de operaciones.

El proyecto se realiza en el área perteneciente a la gerencia de operaciones, trabajando específicamente con el jefe de proyectos y mantenimiento. El organigrama de la empresa se muestra a continuación, en la Ilustración 2.



Fuente: Información entregada por Surfrut Ltda.

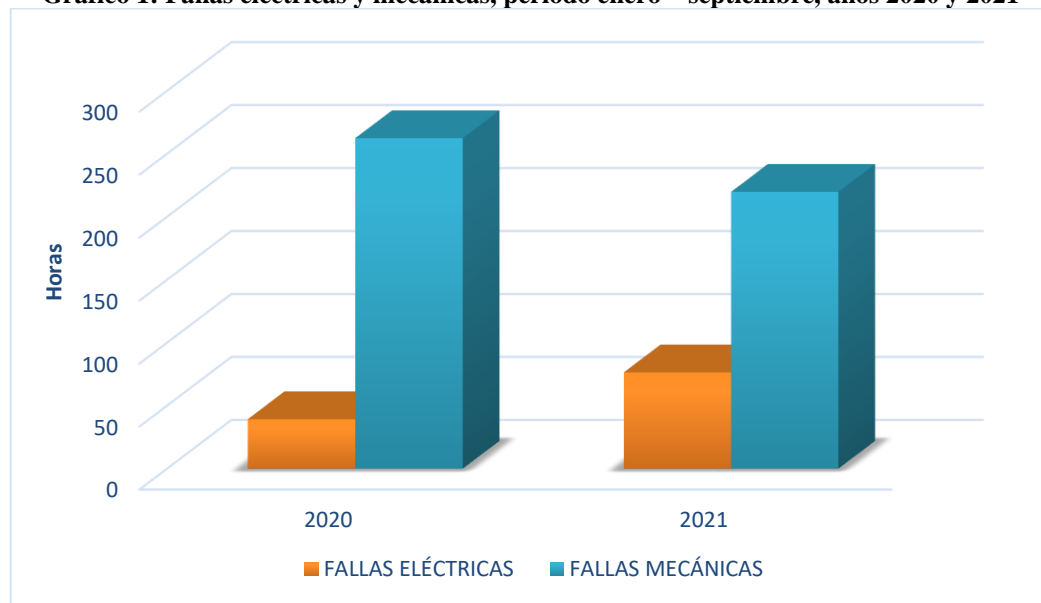
## 1.2. Problemática

La problemática radica en la inexistencia de estudios de confiabilidad para las líneas de proceso de la empresa y los vacíos de información que existen en consecuencia a esto. Hoy en día, no se sabe cuándo es probable que una máquina falle y, por ende, no se toman medidas de mantenimiento preventivo al respecto.

En el Gráfico 1, se observa una comparativa entre los años 2020 y 2021 (periodos entre enero a septiembre) de las principales detenciones no programadas. Se observa que, a septiembre de 2020, la totalidad de detenciones debido a fallas eléctricas era de aproximadamente 40 horas, por otra parte, desde enero a septiembre de 2021, casi se ha duplicado esa cifra, llegando a un total de 76,4 horas por detenciones eléctricas. Es de suma urgencia para la correcta ejecución del proceso productivo, conocer el porqué de esta situación

y tomar medidas preventivas que ayuden a disminuir los tiempos de detención. Lo que se pretende realizar con el estudio de confiabilidad es generar una herramienta que ayude en la toma de decisiones para alimentar el programa de mantenimiento de la empresa, de forma que, se pueda identificar las máquinas críticas que requerirán mayor atención por parte del área de mantenimiento. Además, junto con generar información íntegra al plan de mantenimiento, se realizará el cruce de información con la bodega de mantenimiento, permitiendo gestionar de mejor manera el *stock* de componentes asociados a máquinas críticas.

**Gráfico 1: Fallas eléctricas y mecánicas, periodo enero – septiembre, años 2020 y 2021**



*Fuente: elaboración propia en base a información proporcionada por Surfrut Ltda.*

Por otra parte, al estudiar los datos que posee la empresa, se detecta que en las planillas donde se registran los fallos, existen vacíos de información, no se registra qué máquina o qué parte de la línea es exactamente es la que falla, sino, el fallo como tal, muchas veces, indicando solamente el componente que falla. Esto, en cuanto a la toma de decisiones es un problema, pues, al analizar los datos, no se puede realizar de forma correcta la relación entre fallas y maquinarias que se desea desarrollar. Además, se debe mencionar que las planillas se centran en la máquina envasadora Gualapack que, si bien, es el corazón del proceso, le resta la importancia que merecen los demás sistemas participantes en la línea productiva.

### **1.3. Objetivo general**

Diseñar un sistema de información que permita ayudar a la toma de decisiones de la empresa, mediante el estudio de la confiabilidad de las maquinarias.

### **1.4. Objetivos específicos**

- Diagnosticar la situación actual para conocer las oportunidades de mejora, mediante el estudio de datos históricos de la empresa.
- Generar métricas que satisfagan los requerimientos para el cálculo de la confiabilidad de la línea, mediante herramientas estadísticas.
- Diseñar sistema de información que permita calcular la confiabilidad de la línea para proponer mejoras al plan de mantenimiento actual, utilizando planillas de Excel.
- Elaborar evaluación económica y ambiental, mediante un flujo de caja incremental, análisis cualitativos y cuantitativos para conocer el impacto de la propuesta de mejora.

### **1.5. Resultados tangibles esperados**

Los resultados tangibles esperados del proyecto son:

- El diseño de un sistema de información que permita el cálculo de la confiabilidad de la línea.
- Informe sobre el análisis de la confiabilidad de la línea y propuesta de mejora al plan de mantenimiento actual.
- Entregar nuevas planillas de fallos y repuestos que entreguen información de calidad para la toma de decisiones.
- Manual para la aplicación de estudio de confiabilidad a otras líneas productivas.

# **CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO Y METODOLOGÍA**

*En este capítulo se establecen todas las bases conceptuales y lógico – matemáticas necesarias para el correcto desarrollo del proyecto, asimismo, se estudian diversas metodologías que mejor se adapten al tipo de proyecto.*

## 2.1. Probabilidades

La teoría de la probabilidad es el área de las matemáticas encargada de estudiar fenómenos o experimentos aleatorios. Entendiéndose por experimento aleatorio aquel fenómeno que, cuando se repite más de una vez y bajo las mismas características iniciales, el resultado obtenido no siempre será el mismo. Uno de los ejemplos más comunes de dichos experimentos es el lanzamiento de un dado, en donde el conjunto de todos los resultados posibles es denominado como espacio muestral, el cual se denotará por la letra E, por otra parte, se denomina evento a cualquier subconjunto dentro del espacio muestral, para ejemplificar, el espacio muestral del lanzamiento de un dado es  $E = \{1,2,3,4,5,6\}$  y se puede definir un conjunto  $z = \{1,3,5\}$ , el cual corresponde a la probabilidad de obtener un número impar. Si al lanzar el dado, el resultado es uno, tres o cinco, el evento z ocurre, en caso contrario, se dice que el evento z no ocurrió (Rincón, 2007).

## 2.2. Distribuciones de probabilidad

En este apartado, se exponen las bases conceptuales necesarias para entender las distribuciones, asimismo, se detalla la distribución Weibull, que es la distribución más utilizada en la industria para realizar análisis de confiabilidad.

### 2.2.1. Conceptos generales

A continuación, se definen conceptos generales para la utilización y el entendimiento de las distribuciones de probabilidad.

- **Variable aleatoria discreta:** una variable aleatoria es discreta cuando su conjunto es finito, o bien, pueden ser numeradas en una lista según la cantidad de elementos que posee, por ejemplo, el conjunto  $\{1, 2, 3, \dots, n\}$  es discreto porque es numerable y finito, asimismo, el conjunto de los números naturales  $\mathbb{N}$ , es infinito pero numerable, por ende, discreto (Devore, 2008).

- **Variable aleatoria continua:** las variables aleatorias continuas, toman todos los posibles valores dentro de un intervalo  $(a, b) \in \mathbb{R}$  (Devore, 2008).
- **Función de densidad de probabilidad:** sea  $X$  una variable aleatoria continua, entonces, una función de densidad de probabilidad (PDF, por sus siglas en inglés), de  $X$  será una función  $f(x)$ , tal que, si se toma un intervalo  $[a, b]$  cualquiera, con  $a \leq b$  se cumple que  $P(a \leq X \leq b)$  viene dada por la integral  $\int_a^b f(x)dx$ . En otras palabras, la probabilidad de que  $X$  asuma un valor en el intervalo  $[a, b]$  es el área bajo la curva que se forma al graficar la función de densidad en el intervalo mencionado (Devore, 2008).
- **Función de distribución acumulada:** por otra parte, la función de distribución acumulada ( $F(x)$ ) es, simplemente, el resultado de la integral de la función de densidad de probabilidad ( $F(x) = \int_a^b f(x)dx$ ).

### 2.2.2. Distribución Weibull

La familia de distribuciones Weibull fue descrita por primera vez en el año 1937, gracias al físico sueco Waloddi Weibull, quien demostró, con bases empíricas que el esfuerzo al que se someten los materiales puede ser perfectamente modelado mediante la utilización de esta distribución. Asimismo, ha sido ampliamente utilizada para calcular los tiempos de fallos de una gran variedad de componentes electrónicos (Román, 2008); es una distribución continua y triparamétrica, lo que significa que, está completamente definida por tres parámetros, el parámetro de forma, de escala y de localización, que son definidos a continuación.

- **Parámetro de forma ( $\alpha$ ):** El parámetro de forma define el perfil de la distribución gráfica. Cuando  $\alpha = 1$ , la función de densidad pasa a comportarse como una función exponencial (con  $\lambda = 1/\beta$ ).
- **Parámetro de escala ( $\beta$ ):** diferentes valores del parámetro  $\beta$  alargarán o aplanarán la gráfica en dirección al eje  $x$
- **Parámetro de localización ( $\delta$ ):** indica el tiempo en que se genera la distribución.



En el Anexo 2, se puede ver una representación gráfica del parámetro de escala y el parámetro de forma.

Se dice que una variable aleatoria  $X$  distribuye de forma Weibull con parámetros  $\alpha, \beta$  y  $\delta$  ( $\alpha, \beta > 0$ ;  $-\infty < \delta < \infty$ ) si su función de probabilidad es equivalente a la descrita en la Ecuación 1.

**Ecuación 1: Función de densidad de distribución Weibull**

$$f(x; \alpha, \beta, \delta) = \begin{cases} \frac{\alpha}{\beta^\alpha} (x - \delta)^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x-\delta}{\beta}\right)^\alpha} & \text{para } x \geq \delta \geq 0 \\ 0 & \text{para } x < 0 \end{cases}$$

Fuente: (Devore, 2008).

La función de distribución acumulativa de una variable que distribuye Weibull con parámetros  $\alpha, \beta$  y  $\delta$  ( $\alpha, \beta > 0$ ;  $-\infty < \delta < \infty$ ) es mostrada en la Ecuación 2.

**Ecuación 2: Función de distribución acumulada Weibull**

$$F(x; \alpha, \beta, \delta) = \begin{cases} 1 - e^{-\left(\frac{x-\delta}{\beta}\right)^\alpha} & \text{para } x \geq \delta \geq 0 \\ 0 & \text{para } x < 0 \end{cases}$$

Fuente: (Devore, 2008).

Por último, mencionar el cálculo de la media y la varianza, donde ambos vienen en función de la distribución gamma,  $\mu = \beta\Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)$  para el caso de la media y  $\sigma^2 = \beta^2 \left\{ \Gamma\left(1 + \frac{2}{\alpha}\right) - \left[ \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) \right]^2 \right\}$  para la varianza (Devore, 2008).

### 2.2.3. Distribución Gamma

La distribución Gamma, presentada por primera vez por el matemático Leonard Euler en los años 1730 y 1731 (Arroyo, Bravo, & Muñoz, 2014), es una distribución normalmente utilizada para representar variables aleatorias continuas con asimetría positiva, es decir, variables que contienen una mayor cantidad de eventos a la izquierda de la media que a la derecha, también utilizada para la modelar el comportamiento de aquellos experimentos en donde está presente el tiempo. Se define por los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$ , de los cuales depende su forma gráfica y su

escala respectivamente. La distribución gamma de una variable aleatoria  $X$  está denotada por  $X \approx \Gamma(\alpha, \beta)$  (Barrios, 2019).

Se dice que una variable aleatoria continua distribuye según la función gamma de parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  positivos mayores que cero, si su función de densidad queda descrita por la Ecuación 3.

**Ecuación 3: Función de densidad gamma**

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\beta x}, & x > 0 \end{cases}$$

*Fuente: (Román, 2008).*

Asimismo, su función de distribución queda descrita en la Ecuación 4.

**Ecuación 4: Función de distribución acumulada para la distribución gamma**

$$F(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-\beta t} dt, & x > 0 \end{cases}$$

*Fuente: (Román, 2008).*

Como último punto, su media se calcula mediante la división del parámetro  $\alpha$  con el parámetro  $\beta$  ( $E(x) = \alpha/\beta$ ) y su varianza, mediante el cociente entre  $\alpha$  y  $\beta$  al cuadrado ( $E(x) = \alpha/\beta^2$ ). A continuación, se mencionan las principales características de la función gamma, las cuales son necesarias para el cálculo de dicha función.

- $\Gamma(1) = 1$ .
- $\Gamma(\alpha) = (\alpha - 1)\Gamma(\alpha - 1), \alpha > 1$ .
- $\Gamma(\alpha + 1) = \alpha!$  para todo  $\alpha \in \mathbb{N}$ .
- $\Gamma\left(\frac{1}{2}\right) = \sqrt{\pi}$

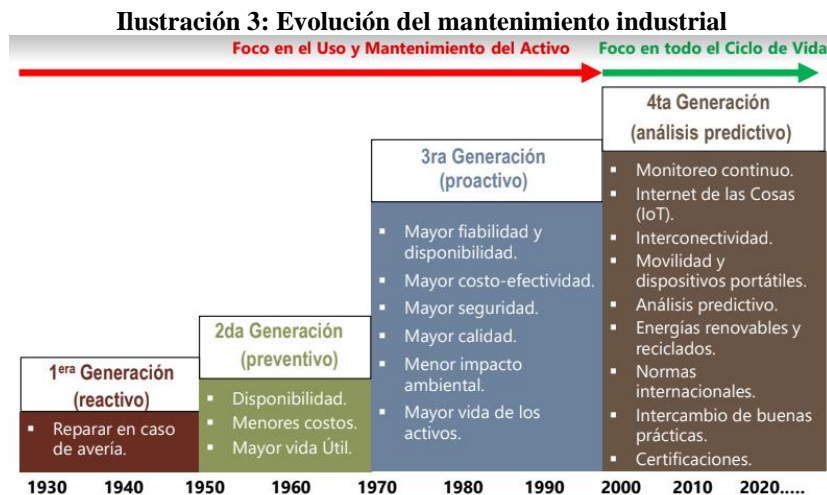
## 2.3. Conceptos generales de mantenimiento

A continuación, se definen las bases conceptuales generales y necesarias a la hora de hablar de mantenimiento.

### 2.3.1. Mantenimiento

Si bien, existen variadas definiciones sobre mantenimiento, en términos generales, el mantenimiento se define como la serie de acciones a realizar para asegurar la continua utilización de equipos, máquinas, componentes e infraestructura para los fines que fueron diseñados (Pérez, 2021). Un mantenimiento realizado adecuadamente, tiende a prolongar la vida útil del activo, reduciendo el número de fallos y, de esta forma, lograr obtener un rendimiento aceptable durante más tiempo.

Durante muchos años, el mantenimiento era del tipo correctivo, solamente se realizaba mantención al momento de la falla, este tipo de mantenimiento fue mutando a través de los años debido a las nuevas necesidades de la industria, hasta culminar en lo que hoy se conoce como mantenimiento de cuarta generación, también llamado, mantenimiento predictivo. En la Ilustración 3, se observa el ciclo evolutivo del mantenimiento a través de los últimos 90 años.



### 2.3.2. Tipos de mantenimiento

Como se menciona en el punto anterior, existen cuatro tipos de mantenimiento, los cuales, son descritos a continuación.

- **Mantenimiento correctivo o reactivo:** El mantenimiento correctivo, es aplicado al momento en que se presenta la falla, ya sea, total o parcial del sistema u equipo. El objetivo del mantenimiento correctivo es dejar el equipo funcionando en el menor tiempo posible, de forma de no afectar el proceso productivo. Hoy en día, muchas empresas siguen realizando este tipo de mantenimiento, ya sea, por falta de conocimiento, personal poco calificado o presupuesto asignado al mantenimiento (Pérez, 2021). Las principales desventajas de basar la estrategia de mantenimiento solamente en el mantenimiento correctivo es que no se sabe cuándo aparecerá una falla, se genera un alto inventario de repuestos y el proceso productivo se vuelve poco fiable al no saber la disponibilidad de la línea.
- **Mantenimiento preventivo:** como lo indica su nombre, el mantenimiento preventivo fue pensado para prever y anticiparse a los fallos de los elementos, componentes, maquinarias y equipos (Pérez, 2021). Generalmente se realiza mediante la utilización de calendarios que indican cuándo se debe realizar mantenimiento a una máquina en específico, ya sea, para cambiar un componente que es probable que falle, o bien, para realizar mantenimientos rutinarios. El principal objetivo de este mantenimiento es incrementar en la mayor medida posible la disponibilidad de la línea productiva.
- **Mantenimiento proactivo:** El mantenimiento proactivo, se define como una filosofía de mantenimiento la cual tiene por objetivo detectar y corregir aquellas causas que generen deterioro y conduzcan a futuras fallas. Una vez se detecten dichas causas, se debe hacer todo lo posible para eliminarlas, puesto que, de no hacerlo, la vida útil de la máquina se verá mermada considerablemente (Trujillo, 2002).
- **Mantenimiento predictivo:** el mantenimiento predictivo tiene en cuenta y monitorea diversos indicadores de las máquinas, en donde se asocian los parámetros físicos al desgaste de la maquinaria. Junto con este monitoreo, se generan valores de alarma y de

actuación para aquellas variables que se cree importante medir y gestionar. De esta forma, se pretende predecir fallas o anomalías futuras de una máquina. En otras palabras, monitoreando a las máquinas, se intenta seguir la evolución de los fallos futuros (Muñoz, 2019).

### **2.3.3. Elementos reparables y no reparables**

Esta distinción es de suma importancia, puesto que, para el posterior análisis estadístico será necesario saber a qué tipo elemento va enfocado el análisis, ya que, dependiendo del elemento, se definirá el camino a seguir en cuanto a técnicas y herramientas enfocadas en confiabilidad. Dicho esto, a continuación, se definen ambos conceptos.

- **Elementos reparables:** son aquellos que en conjunto o partes de los componentes son susceptibles a ser reparadas, ejemplo de estos son computadores, aviones, maquinarias pesadas, etc. Hasta cierto punto, los elementos reparables están compuestos de elementos no reparables (Sierra & Calvo, 2018).
- **Elementos no reparables:** se definen como elementos no reparables, todos aquellos que, ya sea por su naturaleza, porque son de fácil reemplazo o son baratos no son sometidos a ningún tipo de reparación y, simplemente, son reemplazados por una pieza nueva o funcional. Uno de los ejemplos más común de este tipo de elementos es una ampolleta, puesto que, nadie se plantea repararla en caso de fallo, simplemente se reemplaza por otra que esté funcional (Sierra & Calvo, 2018).

Como se menciona al inicio, es de vital importancia realizar esta distinción, puesto que, para los elementos reparables, se habla de tiempo medio entre fallos (MTBF) y para el caso de los elementos no reparables, se hablará de tiempo medio hasta el fallo (MTTF) (Sierra & Calvo, 2018).

De la misma forma anterior, lo mismo ocurre con la tasa de fallos, para el caso de los elementos reparables se hablará del ratio de ocurrencia de fallos (ROCOF), mientras que para

los no reparables se utilizará la función de tasa de fallos (*Hazard rate function*) (Sierra & Calvo, 2018).

### 2.3.4. Confiabilidad

La confiabilidad o fiabilidad, uno de los conceptos clave de este estudio, se define como la probabilidad de que un activo funcione de acuerdo con las especificaciones para las que fue diseñado durante un periodo de tiempo determinado, bajo condiciones operativas específicas (Muñoz, 2019).

Se tiene una variable aleatoria  $T$ , la cual hace referencia a la vida del componente, máquina u elemento en estudio. La variable aleatoria tiene una función de distribución acumulada  $F(T)$  expresada por  $F(t) = P(T \leq t)$ , donde  $P$ , es la probabilidad de que un componente falle antes del tiempo  $t$  (Muñoz, 2019).

Por otra parte, se tiene la función de fiabilidad o de supervivencia, la cual es denotada por  $R(T)$  y se define como  $R(t) = P(T > t) = 1 - F(t)$ . Entonces,  $R(T)$  se define como la probabilidad de que un componente sobreviva más del tiempo  $t$  (Muñoz, 2019).

Por último, la probabilidad de que un componente falle entre un instante  $t$  y  $t + s$  se define como se muestra a continuación, en la Ecuación 5.

**Ecuación 5: Probabilidad de falla de componentes en un intervalo de tiempo definido**

$$P(t \leq T \leq t + s | T > s) = \frac{P(t \leq T \leq t + s)}{P(T > t)} = \frac{F(t + s) - F(t)}{R(t)}$$

Fuente: (Muñoz, 2019)

### 2.3.5. Tasa de fallos (*Failure rate*, $\lambda$ )

La tasa de fallos (del inglés *failure rate*), viene dada por el parámetro  $\lambda$ , siendo este el modo más básico de definir la confiabilidad de un sistema y es definida como el número total de fallas dentro de una población de elementos que se espera ocurran en un intervalo de tiempo

determinado y condiciones establecidas (Sierra & Calvo, 2018). Un ejemplo de este cálculo se ve a continuación en la Ecuación 6.

**Ecuación 6: Cálculo de tasa de fallos según horas de funcionamiento**

$$\lambda_h = \frac{\text{número de fallos}}{\text{número de horas en funcionamiento}}$$

Fuente: (Sierra & Calvo, 2018)

En el ejemplo mostrado, se ve el número de fallas por hora de funcionamiento, cabe mencionar que este es solo una forma de medir la tasa de fallo, ya que, esta dependerá del objeto en medición.

### 2.3.6. Función de tasa de fallos (*Hazard rate function*, $h(t)$ )

La función de riesgo o función de tasa de fallos (*Hazard rate function*), no es posible definirla de acuerdo con su interpretación física, sin embargo, para valores de  $t$  pequeños, se puede definir como la probabilidad de que el componente falle en un intervalo de tiempo infinitamente pequeño ( $dt$ ) en el momento en que el instante  $t$  estuvo operativo (Sierra & Calvo, 2018).

La función de tasa de fallos es fundamental en el análisis de confiabilidad, lo común es que el comportamiento de fallos de equipos sea estudiado y descrito en término de la función de tasa de fallos.

Si la Ecuación 5, se divide por el parámetro  $s$  y se aplica el límite de  $s$  con tendencia a cero, queda lo siguiente:

**Ecuación 7: Función de tasa de fallos**

$$h(t) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{s} \cdot \frac{F(t+s) - F(t)}{R(t)}$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$$

Fuente: (Sierra & Calvo, 2018).

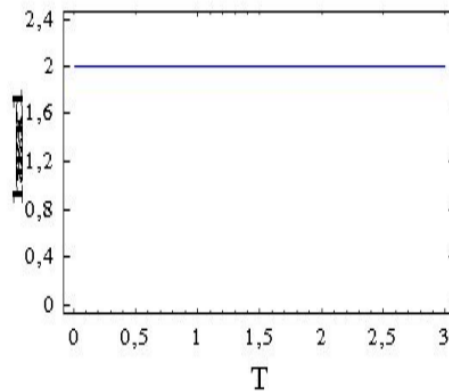
La tasa de fallos ( $\lambda$ ) descrita anteriormente y la función de tasa de fallos expresada en la Ecuación 7, se utilizan comúnmente en el desarrollo de proyectos enfocados en la confiabilidad. Sin embargo, existe entre ellas una diferencia concluyente, su instantaneidad. A fin de

ejemplificar,  $\lambda$  puede ser equivalente a la velocidad media en el recorrido de un automóvil (que en determinados puntos irá a mayor velocidad y en otros, a una velocidad menor), por otro lado,  $\lambda(t)$  sería el equivalente a la velocidad instantánea, que, en el ejemplo del recorrido del automóvil, sería la velocidad que marca el velocímetro en un instante de tiempo dado (Sierra & Calvo, 2018).

La tasa de fallo y su evolución es fundamental a la hora de decidir cómo se comporta un proceso. Dependiendo del fenómeno en estudio, se pueden encontrar funciones constantes, crecientes o decrecientes. Entonces, los distintos procesos se definirán según la curvatura de su tasa de fallos sea creciente (*Increasing failure rate, IFR*), decreciente (*Decreasing failure rate, DFR*) o constante (Villagarcía, 2014).

- **Tasa de fallo constante:** indica que la probabilidad de que el equipo falle instantáneamente es la misma en cualquier momento de la vida del componente, por ende, la tasa de fallo constante no tiene memoria (ver Ilustración 4).

**Ilustración 4: Tasa de fallos contante**

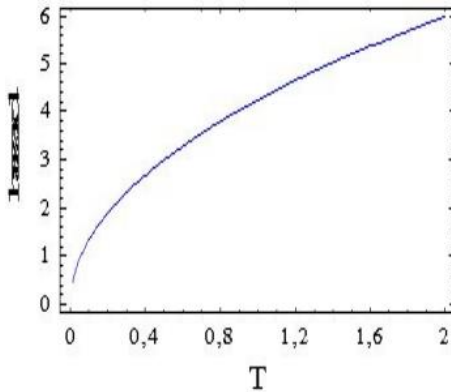


Fuente: (Villagarcía, 2014).

- **Tasa de fallos creciente:** esta tasa de fallos tiene en cuenta que la probabilidad de fallo inmediato del componente va en incremento a medida que pasa el tiempo (ver Ilustración 5).

**Ilustración 5: Tasa de fallos creciente**

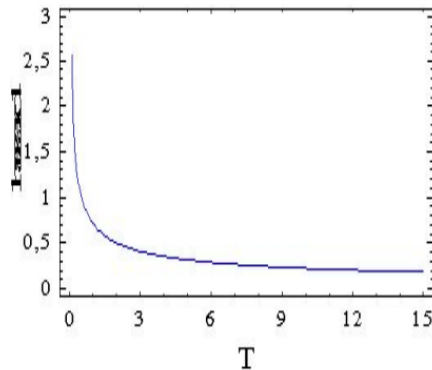




Fuente: (Villagarcía, 2014).

- **Tasa de fallos decreciente:** la tasa de fallos decreciente suele verse al inicio de la puesta en marcha de los componentes u equipos. Esta tasa de fallos tiene en cuenta que la probabilidad de fallo inmediato del componente va disminuyendo a través del paso del tiempo (ver Ilustración 6).

Ilustración 6: Tasa de fallos decreciente



Fuente: (Villagarcía, 2014).

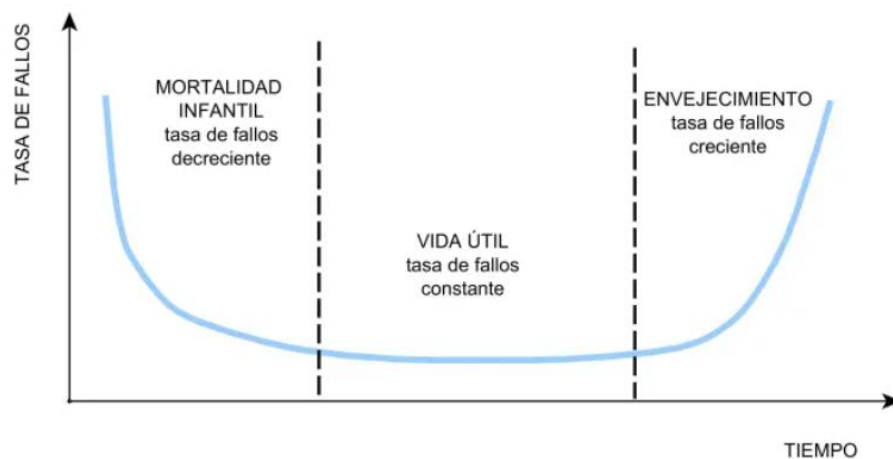
### 2.3.7. Evolución de la tasa de fallos

La evolución de la tasa de fallos viene dada por la curva de la bañera mostrada en la Ilustración 7, la cual es la base conceptual para una gran parte del estudio de la confiabilidad de equipos electrónicos y mecánicos, puesto que, describe el deterioro de estos y, generalmente, la función de tasa de fallos de los equipos en función al tiempo de uso está correctamente descrita por dicha curva.

Esta curva se describe en tres regiones o periodos:

- **Periodo de mortalidad infantil:** los fallos son producidos inmediatamente o luego de muy poco tiempo de la puesta en marcha del equipo. Las principales causas de los fallos tienen que ver con errores de fabricación, diseños inadecuados daños de instalación y/o transporte, problemas ocultos, etc. Las averías en esta zona van disminuyendo con el tiempo hasta llegar a un valor constante, dando paso a la zona de vida útil (Ramirez, 2014).
- **Periodo de vida útil:** el periodo luego de la puesta en marcha es donde la tasa de riesgo es casi constante por un periodo de tiempo relativamente largo. Las fallas en este periodo vienen dadas generalmente por el error humano, el azar, abuso de la capacidad de la máquina, entre otros. Esta zona es en donde suelen estudiarse los sistemas, ya que, se supone se piensa en un posterior reemplazo antes de llegar a la zona de envejecimiento (Ramirez, 2014).
- **Periodo de envejecimiento:** la tasa de riesgo vuelve a crecer rápidamente, debido a la falla de componentes por el desgaste de sus elementos independientemente de la construcción y calidad de estos. Las principales fallas vienen dadas por la edad del componente, la corrosión, deformaciones, etc. (Ramirez, 2014).

Ilustración 7: Curva de la bañera



Fuente: (Castela, 2016)

Cabe mencionar que la curva típica mostrada en la Ilustración 7, es referenciada generalmente a componentes electrónicos, los cuales están asociados a una vida útil relativamente más larga, por otro lado, en el Anexo 3, se muestra lo que sería una curva típica para equipos mecánicos, los cuales están asociados a un tiempo de vida menor.

### 2.3.8. Tiempo medio entre fallas (MTBF)

Utilizado para el caso de los sistemas reparables, el MTBF o tiempo medio entre fallas, tiene por objetivo medir el tiempo en el que el sistema está disponible y operativo, excluyendo así, otras actividades como mantenimientos preventivos, tiempos de espera para la reparación del componente el tiempo mediante el cual está siendo reparado, etc. Este indicador de confiabilidad se calcula mediante la sumatoria del tiempo de operación (TBF) dividido entre el número de fallas ocurridas ( $n$ ), tal como se muestra en la Ecuación 8 (Sierra & Calvo, 2018).

**Ecuación 8: Cálculo de tiempo medio entre fallas**

$$MTBF = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n TBF_i$$

Fuente: (Sierra & Calvo, 2018).

Para el caso del MTBF, se puede establecer una formalidad en cuanto a su cálculo, siempre y cuando, se posea la función de densidad de fallos  $f(t)$ , quedando expresado mediante la Ecuación 9.

**Ecuación 9: Cálculo formal del tiempo medio entre fallas**

$$MTBF = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt$$

Fuente: (Sierra & Calvo, 2018).

### 2.3.9. Tiempo medio hasta la falla (MTTF)

El tiempo medio hasta la falla, es el parámetro que se utiliza para medir la fiabilidad para los componentes no reparables. El cual corresponde al tiempo medio a esperar hasta que ocurra el primer fallo que, al no ser reparable, será también el último (Ramirez, 2014).

Se calcula mediante la Ecuación 10, en donde  $t_i$  es el tiempo de funcionamiento del componente  $i$  hasta que se produce el fallo y  $N$  el número de componentes utilizados.

**Ecuación 10: Cálculo de tiempo medio hasta la falla**

$$MTTF = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N}$$

Fuente: (Muñoz, 2019).

### 2.3.10. Tiempo medio de reparación (MTTR)

El tiempo de reparación (*Time To Repair*, TTR), es el tiempo para reparar un determinado elemento que falla, lo que incluye el tiempo gastado en la tarea de reparación, así como también, los tiempos asociados a la adquisición de partes, movilización de herramientas, equipos, etc. (Ramirez, 2014).

Por otra parte, el tiempo medio de reparación (*Mean Time To Repair*, MTTR), es considerado cuando el tiempo de reparación proviene de un estudio de múltiples fallos y se realiza el cálculo del valor medio siguiendo, normalmente, una distribución específica. Dicho indicador se puede ser calculado mediante la Ecuación 11.

**Ecuación 11: Cálculo tiempo medio de reparación**

$$MTTR = \frac{\text{tiempo total de inactividad del equipo}}{\text{número de fallos}}$$

Fuente: (Sierra & Calvo, 2018)

## 2.4. Modelos de confiabilidad

A continuación, se describe el modelo Weibull de confiabilidad el cual, será utilizado para el estudio de datos de falla.

### 2.4.1. Modelo Weibull

El modelo Weibull, es el modelo más estudiado en cuanto a fiabilidad, puesto que, es muy versátil y sirve para describir cada parte de la curva de la bañera. En donde, la zona que se esté modelando, depende netamente del valor del parámetro  $\alpha$  dado (Vergara, 2014).

- $\alpha = 1$ , entonces la tasa de fallas es constante, por ende, es una distribución exponencial.
- $\alpha > 1$ , entonces la tasa de fallo es creciente.
- $\alpha < 1$ , entonces la tasa de fallos es decreciente.
- $\alpha \cong 3,5$ , entonces debiese usarse la distribución normal.

En la Ecuación 12, se observa su función de confiabilidad.

**Ecuación 12: Función de confiabilidad, modelo Weibull**

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \left( 1 - e^{-\left(\frac{x-\delta}{\beta}\right)^\alpha} \right) = e^{-\left(\frac{x-\delta}{\beta}\right)^\alpha}$$

*Fuente: (Vergara, 2014).*

Asimismo, el cálculo de la función de la tasa de fallos se observa en la Ecuación 13.

**Ecuación 13: Tasa de fallos, modelo Weibull**

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\frac{\alpha}{\beta^\alpha} (x - \delta)^{\alpha-1} \cdot e^{-\left(\frac{x-\delta}{\beta}\right)^\alpha}}{e^{-\left(\frac{x-\delta}{\beta}\right)^\alpha}} = \frac{\alpha}{\beta^\alpha} (x - \delta)^{\alpha-1}$$

*Fuente: (Vergara, 2014).*

Por último, la tasa media de fallos, que viene dada por la distribución gamma, se puede observar en la Ecuación 14.

**Ecuación 14: Tasa media de fallos, modelo Weibull**

$$MTBF = \beta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)$$

*Fuente: (Vergara, 2014).*

## 2.5. Otros modelos de confiabilidad

En el siguiente apartado, se mencionarán otros modelos también utilizados en confiabilidad, si bien, para este estudio no serán utilizados, gracias a la versatilidad del modelo Weibull, es importante conocer estos modelos.

### 2.5.1. Modelo Normal ( $N(\mu, \sigma)$ )

El modelo normal, generalmente se utiliza en la última fase de la curva de la bañera mostrada en el apartado 2.3.7, la fase de envejecimiento donde la tasa de fallos es creciente. Su función de confiabilidad viene dada por la Ecuación 15.

**Ecuación 15: Función de confiabilidad, modelo normal**

$$R(t) = 1 - F(t) = \int_t^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx = 1 - \phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)$$

*Fuente: (Vergara, 2014).*

Asimismo, el cálculo de su tasa de fallos  $h(t)$ , se observa en la Ecuación 16.

**Ecuación 16: Tasa de fallos, modelo normal**

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}}{1 - \phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)}$$

*Fuente: (Carrión & Carot, 2004).*

Por último, el cálculo de su tiempo medio entre fallas da como resultado su media (ver Ecuación 17).

**Ecuación 17: Tiempo medio entre fallas, distribución normal**

$$MTBF = \mu$$

*Fuente: (Vergara, 2014).*

### 2.5.2. Modelo Exponencial ( $EXP(\lambda)$ )

El modelo exponencial, uno de los modelos más utilizados para el estudio de datos de falla, se caracteriza, generalmente, por ser utilizado en la zona de vida útil de la curva de la bañera, en donde la tasa de fallos es constante. Esta distribución es idónea pues, se ha demostrado que no posee memoria. En la Ecuación 18, se observa el cálculo de su función de confiabilidad.

**Ecuación 18: Función de confiabilidad, modelo exponencial**

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - (1 - e^{-\lambda x}) = e^{-\lambda x}$$

*Fuente: (Vergara, 2014).*

Asimismo, el cálculo de su tasa de fallos se observa en la Ecuación 19.

**Ecuación 19: Tasa de fallos, modelo exponencial**

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\lambda e^{-\lambda x}}{e^{-\lambda x}} = \lambda$$

Fuente: (Carrión & Carot, 2004).

Por último, el cálculo del tiempo medio entre fallas queda descrito por la inversa del parámetro lambda (ver Ecuación 20).

**Ecuación 20: Tiempo medio entre fallas, modelo exponencial**

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

Fuente: (Carrión & Carot, 2004).

## 2.6. Modelo de costo - riesgo

Para calcular el tiempo óptimo de reemplazo de repuestos, se utiliza el modelo de costo – riesgo, el cual permite comparar el costo asociado a intervenir una máquina contra la mejora en el desempeño o la reducción del riesgo que esta acción supondría. Dicho de otro modo, el modelo permite saber cuánto se gasta por los beneficios que se obtienen (Yañez, Perdomo, & Gomez de la Vega, 2003).

Este modelo es de especial utilidad para la toma de decisiones cuando existen conflictos de escenarios con intereses distintos, un ejemplo de esto es el escenario “operación – mantenimiento”, en donde, la línea requiere operar de forma continua para garantizar los máximos niveles de producción, en cambio, el área de mantenimiento necesita que el proceso pare con determinada frecuencia para realizar mantención a las maquinarias. Este modelo permite obtener el nivel óptimo de riesgo y la cantidad de mantenimiento necesaria por la máquina en estudio, con el fin de obtener el nivel máximo de beneficios (Yañez, Perdomo, & Gomez de la Vega, 2003).

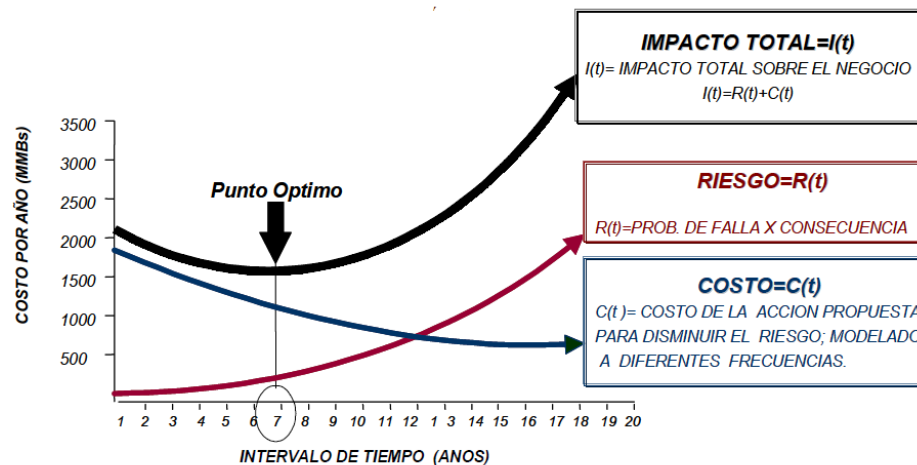
En la Ilustración 8, se muestra el modelo de costo – riesgo, en donde, se visualizan las tres curvas que dependen del tiempo.

- **Curva de riesgo:** esta curva representa el costo de las acciones que actualmente realiza la compañía (consecuencias), tales como, el costo de mantenimiento reactivo, mano de

obra, valor de repuestos, etc. Se calcula mediante la suma de las consecuencias multiplicadas por la probabilidad de que el componente o equipo fallen.

- **Curva de costo:** la curva de costo representa el valor económico de la acción propuesta para mitigar el riesgo. Esta curva, al igual que la curva de riesgo, depende del tiempo de operación.
- **Curva de impacto total:** esta curva es el resultado de la suma entre la curva de costo y la curva de riesgo, en donde, el valor mínimo representa la frecuencia en que la suma de los costos de la nueva política de mantenimiento con el nivel de riesgo asociado a esta política es mínima, en otras palabras, este valor mínimo indica el mínimo impacto posible en el negocio. Este valor se traduce en el intercambio óptimo de repuestos o bien, el tiempo óptimo para intervenir la máquina o componente en estudio.

Ilustración 8: Curvas modelo costo - riesgo



Fuente: (Yañez, Perdomo, & Gomez de la Vega, 2003)

## 2.7. Análisis FODA

El análisis FODA (de las siglas: fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas), es originado entre los años 1960 y 1970 por Albert Humphrey en el instituto de investigaciones de Stanford, Estados Unidos, este análisis nace debido a la necesidad de descubrir por qué fallaba la planificación corporativa en su nivel gerencial (Imaginario, 2020). La técnica FODA



está orientada principalmente a analizar y resolver problemas identificando las fortalezas y debilidades de la organización (análisis interno), así como también, las oportunidades y amenazas del entorno en que esta se desenvuelve la organización (análisis externo). A continuación, en la Tabla 1, se muestra la composición de un análisis FODA, clasificado sus variables según sus aspectos positivos y negativos y también, si afectan interna o externamente a la organización.

**Tabla 1: Componentes análisis FODA**

	Positivos	Negativos
Internos	Fortalezas	Debilidades
Externos	Oportunidades	Amenazas

*Fuente: (García T. , 2020)*

Para desarrollar de manera correcta el análisis interno y externo, se utilizarán herramientas de diagnóstico que se describen a continuación.

### 2.7.1. Análisis interno

Para el análisis interno se utilizarán las siguientes metodologías.

- **Análisis 4P:** las 4P son una herramienta utilizada para analizar que los productos o servicios ofrecidos sean exitosos en el mercado, permitiendo crear el posicionamiento de una empresa en la industria. Este análisis nace gracias al profesor Jerome McCarthy en el año 1960, siendo las 4P definidas como producto, precio, plaza y promoción (Velázquez, 2020).
- **Análisis 4C:** método planteado en 1990 por Robert Lauterborn, el cual pretende generar una comunicación con el cliente, en donde, las necesidades del cliente pasan a ser el foco de estudio y el cliente deja de ser simplemente un “receptor de productos”, el análisis 4C se trata sobre la interacción empresa-cliente (Velázquez, 2020).

### 2.7.2. Análisis externo

Para el análisis externo se realiza un análisis PESTEL, el cual se describe a continuación.

- **Análisis PESTEL:** su creación se remonta al año 1968 gracias a una publicación sobre *marketing* titulada “Análisis macro-ambiental en gestión estratégica” realizado por Liam Fahey y Vadake Narayanan. El análisis PESTEL se centra en aquellos elementos que conforman el entorno en el cual se desarrollan las industrias, es decir, aquellas aristas que no dependen de la empresa, sino que, del contexto en el cual se desarrolla. Los factores del análisis PESTEL son: político, económico, social, tecnológico, ecológico y legal (Peiró, 2017).

## 2.8. Metodologías

Para la selección de la metodología que mejor se adapte al proceso, se describen tres métodos de mejora continua que pueden ser aplicables a la problemática en estudio. En los siguientes puntos, se describe cada uno de ellos con el objetivo de analizar, a partir de una matriz multicriterio cuál es el que mejor se adapta al proyecto.

Las opciones por evaluar son la metodología DMAIC, PDSA y el ciclo de Juran. Por otra parte, para realizar la matriz multicriterio, es necesario establecer los criterios de decisión, con esto en mente, se desarrolla una tabla de importancia relativa según los criterios de interés, los cuales serán evaluados en una escala de uno a diez, donde uno es el puntaje más bajo y diez el más alto. A continuación, se describen los criterios de decisión.

- **Enfoque:** la metodología puede tener diversos enfoques, pudiendo ser a clientes, procesos, productos, gestión de la calidad, etc.
- **Adaptación al proceso:** características de la metodología de adaptarse de mejor forma a las etapas necesarias para el proceso.
- **Aplicabilidad al corto plazo:** como se dispone de un horizonte de tiempo limitado, se necesita una metodología adaptable al corto plazo.

En la Tabla 2, se observa la matriz de importancia relativa para los criterios en estudio, en donde se obtiene la ponderación de cada uno de ellos mediante la apreciación de la significancia de

uno en comparación a otro. Entonces, mediante los resultados obtenidos se identifica que el criterio más relevante es la aplicabilidad al corto plazo, con una ponderación del 44%, el criterio que sigue es la adaptación al proceso, con un 33% y, por último, el enfoque con un 23% del total, estos criterios son asignados y validados en conjunto con el jefe de mantenimiento.

**Tabla 2: Matriz de importancia relativa**

Criterio	Enfoque	Adaptación	Aplicabilidad	Total	Ponderación
<b>Enfoque</b>	-	4	3	7	23%
<b>Adaptación</b>	6	-	4	10	33%
<b>Aplicabilidad</b>	7	6	-	13	44%
<b>Total</b>				<b>30</b>	<b>100%</b>

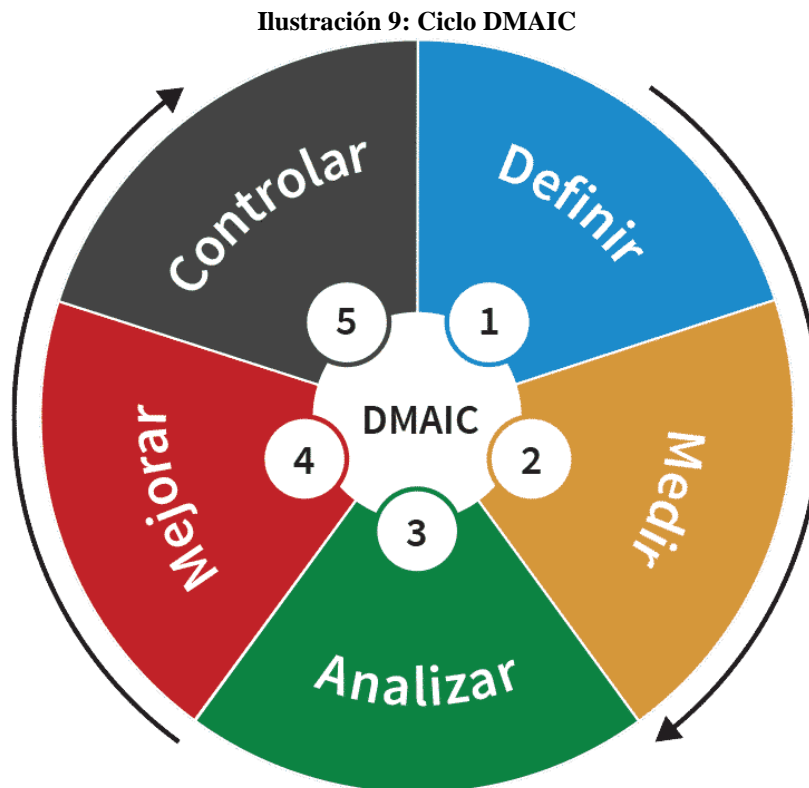
*Fuente: elaboración propia*

### 2.8.1. Six Sigma: DMAIC

El modelo DMAIC, fue desarrollado por el ingeniero Bill Smith (1929 – 1993) en el año 1984 para la compañía Motorola. El objetivo con el que fue creado era alcanzar los máximos niveles del Six Sigma. El método se divide en cinco etapas y hoy en día, se sigue utilizando para la mejora continua dentro de las organizaciones. Las etapas del modelo son: definir, medir, analizar, mejorar y controlar, tal y como se muestra en la Ilustración 9, estas etapas siguen un orden lógico, estructurado y disciplinado para dar respuesta a las preguntas que surgen en el proceso de mejora (Ocampo & Pavón, 2012).

En la primera etapa, la de definir, se deben establecer las metas del proceso en termino de parámetros críticos (críticos para producción o para calidad), se buscan las oportunidades de mejora y saber qué se busca lograr en el proceso. Una vez definido el problema a tratar, en la etapa de medir, se deben establecer las características que detallan el rendimiento y comportamiento del proceso, para esto, es necesario conocer las variables que el cliente percibe como claves en el proceso (variables de desempeño), y qué parámetros afectan al desempeño de este. En cuanto a la etapa de análisis, se debe estudiar el escenario actual en términos de las causas de las variaciones y defectos y se comienza a desarrollar el plan de mejora potenciales para ser aplicado en el siguiente paso. La etapa de mejora habla de perfeccionar el proceso

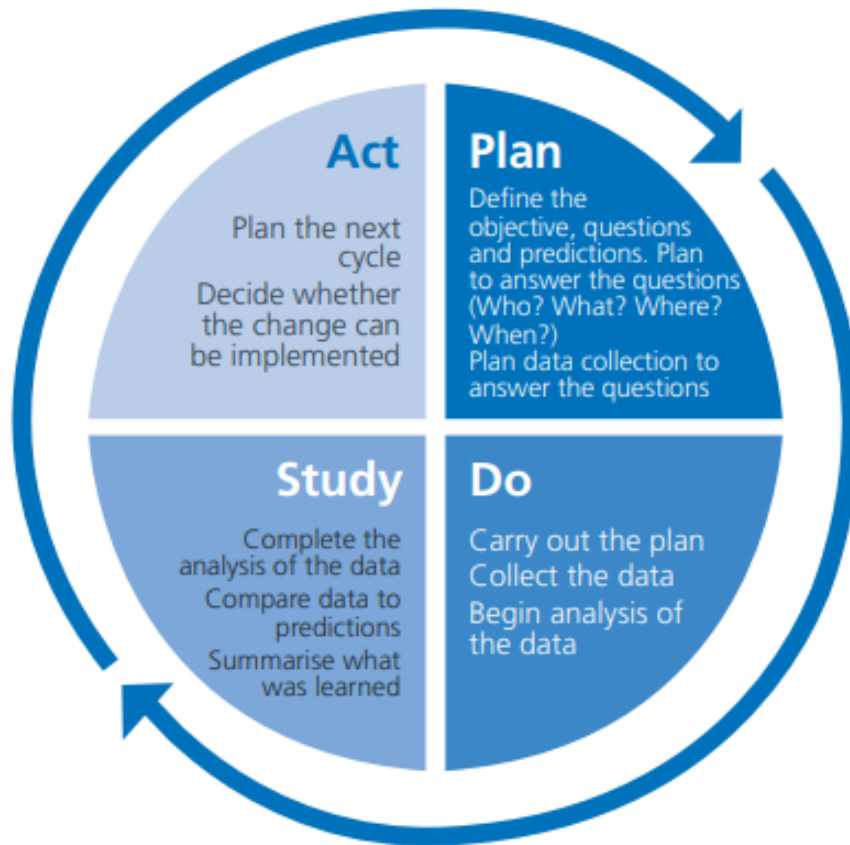
sistemáticamente, reduciendo las variaciones y defectos de este mediante la identificación de las posibles soluciones. En esta etapa se desarrollan y validan alternativas para mejorar el proceso. Por último, la etapa de control radica en vigilar el futuro rendimiento del proceso, asegurando el cumplimiento de los estándares desarrollados en todo el ciclo DMAIC (Ocampo & Pavón, 2012).



### 2.8.2. Ciclo de Deaming (PDSA)

El modelo PDSA (*Plan, Do, Study, Act*) es una metodología derivada de la conocida metodología PDCA (*Plan, Do, Check, Act*) desarrollada por Deming en el año 1952. Para el caso de PDSA la etapa de “verificar” se reemplaza por “estudiar”. Este cambio se realiza cuando se están estudiando procesos para la implementación de mejoras o cambios en el mismo, en donde, es esencial saber lo que se quiere lograr y cómo se va a medir.

**Ilustración 10: Ciclo PDSA**



Fuente: (Online Library Of Quality, 2020).

El ciclo y sus etapas se muestran en la Ilustración 10, donde la etapa de planeación se define como el cambio a ser implementado, en este punto se definen los objetivos y se planea la recolección de la información con el foco de responder preguntas enfocadas en la implementación del proceso (¿qué se está tratando de lograr? ¿Cómo se sabrá si el cambio es una mejora?). En la etapa de hacer (*Do*), se debe llevar a cabo la mejora en una escala pequeña, documentar la experiencia incluyendo cualquier problema y descubrimientos inesperados. En la etapa de estudiar (*Study*), se debe analizar la información recolectada a través de las dos etapas anteriores y determinar si el cambio resultó en lo que se esperaba de él, se debe resumir lo aprendido y estar atento en caso de consecuencias no previstas, sorpresas o fallos en el proceso. Por último, en el paso de actuar (*Act*), se deben tomar decisiones en base a lo aprendido a través de todo el proceso, adaptar y modificar en caso de ser necesario y repetir el ciclo PDSA (Online Library Of Quality, 2020).

### **2.8.3. Calidad total: trilogía de Juran**

La gestión de calidad total es una metodología empresarial enfocada en el cliente y la satisfacción de este. Fue desarrollada por el Dr. Joseph Juran en el año 1986, con el objetivo de gestionar la calidad. La gestión de la calidad implica una actitud por parte de toda la compañía con el objetivo de proporcionar valor al producto o servicio que llega finalmente al consumidor (García, Sáez, Palao, & Rojo, 2014).

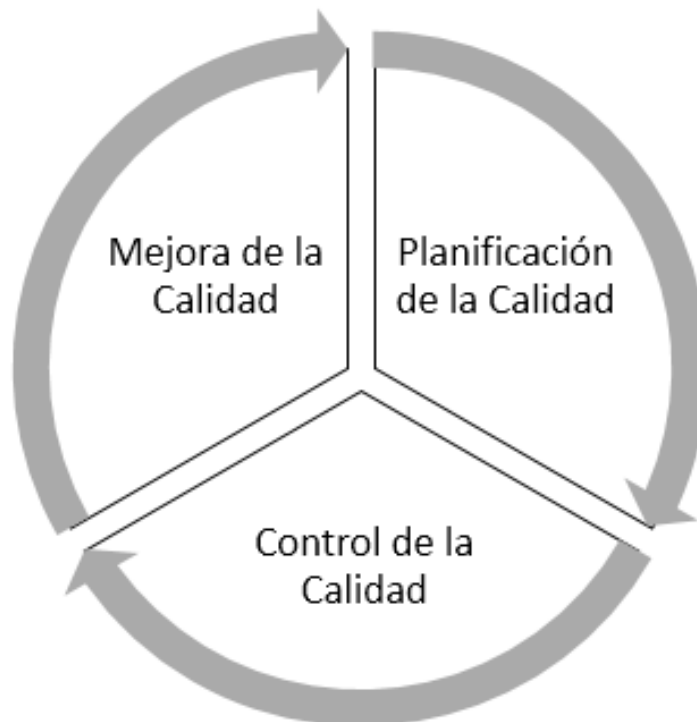
- Este modelo es un ciclo que cuenta con tres pasos y tiene por objetivo reducir el costo de la mala calidad mediante la planeación, el control y la mejora de la calidad de los productos y/o servicios. En la .
- **Mejorar la calidad:** en este punto se deben corregir las deficiencias originadas en la planificación, para que la calidad de futuras planificaciones sea mayor. En esta fase se deben cumplir objetivos tales como: establecer políticas de mejora sistemáticas, identificar y seleccionar mejoras de calidad según su prioridad y, por último, motivar al equipo de personas que será responsable de la implementación de los proyectos de mejora.

Ilustración 11, se observa el ciclo de Juran, el cual es definido a continuación.

- **Planificar la calidad:** en esta primera etapa se tiene el inicio de toda actividad, esta etapa implica el estudio y desarrollo de procesos que mejor satisfagan las necesidades de los clientes, para esta cometido, se deben pasar tres barreras, primero, determinar quiénes son los clientes y cuáles son sus necesidades, segundo, diseñar el producto o servicio teniendo en cuenta las necesidades del cliente y, por último, llevar a cabo todos los procesos necesarios para poder lograr las expectativas del cliente.
- **Controlar la calidad:** se deben estudiar y eliminar las desviaciones de calidad en la realización de procesos.

- **Mejorar la calidad:** en este punto se deben corregir las deficiencias originadas en la planificación, para que la calidad de futuras planificaciones sea mayor. En esta fase se deben cumplir objetivos tales como: establecer políticas de mejora sistemáticas, identificar y seleccionar mejoras de calidad según su prioridad y, por último, motivar al equipo de personas que será responsable de la implementación de los proyectos de mejora.

**Ilustración 11: Gestión de la calidad total**



*Fuente: extraído desde (Google, 2021).*

#### **2.8.4. Elección de metodología**

Con el fin de seleccionar la metodología a utilizar durante el proyecto, se realiza una matriz multicriterio con los criterios que fueron definidos con anterioridad en la Tabla 2. Por último, hay que recordar que las ponderaciones van entre uno y diez, donde uno es el valor más bajo por obtener y diez el más alto y, por ende, mejor.

**Tabla 3: Matriz multicriterio elección metodología**

<b>Criterio</b>	<b>Ponderación</b>	<b>PDSA</b>	<b>DMAIC</b>	<b>Ciclo de Juran</b>
<b>Enfoque</b>	23%	7	7	3
<b>Adaptación</b>	33%	6	6	4
<b>Aplicabilidad</b>	44%	7	9	7
<b>Total</b>	100%	6,67	<b>7,55</b>	5,09

*Fuente: elaboración propia.*

Como queda en evidencia en la Tabla 3, la metodología que mejor se adapta al proyecto es DMAIC, la cual fue elegida con una ponderación de 7,55 puntos.

## **2.9. Etapas del proyecto**

La metodología DMAIC cuenta de cinco pasos, definir, medir, analizar, mejorar y controlar, debido al alcance del proyecto se le deben realizar un par de modificaciones a la metodología, donde, el punto de controlar no será evaluado, puesto que, no se llegará a la implementación del proyecto. Por otro lado, se debe agregar un punto de evaluación de impactos en el apartado de mejorar. A continuación, se define cada etapa del proyecto.

### **2.9.1. Etapa I: Definir**

La primera etapa de la metodología va de la mano con el primer objetivo específico, en esta etapa se realizará un diagnóstico de la situación actual de la empresa a través de reuniones, visitas a la planta y se establecerán los requerimientos de información necesarios. Para esta primera etapa, se plantean las siguientes actividades.

- Realizar visita a la línea productiva y conocer el flujo del proceso.
- Realizar diagrama del proceso productivo.
- Identificar los objetivos del proyecto y los pasos necesarios para el cumplimiento de estos.
- Entender cómo se realiza el plan de mantenimiento actual.
- Diagnosticar la situación actual.



### **2.9.2. Etapa II: Medir**

Para la etapa de medir se deben definir todas aquellas características importantes de analizar en el proceso (máquinas críticas, tiempos de parada, número de fallos por mes, hora, turno, etc.). Se debe especificar cuáles son los requerimientos (en términos de información) para llevar a cabo el proyecto. Para la segunda etapa se plantean las actividades mencionadas a continuación.

- Saber cómo se toman los datos de falla.
- Identificar los indicadores clave.
- Identificar los errores de cada máquina.
- Identificar las distribuciones de los fallos de las maquinarias.
- Realizar cálculos utilizando las funciones de fiabilidad.

### **2.9.3. Etapa III: Analizar**

En la tercera etapa se deben analizar los datos obtenidos y determinar las posibles causas y oportunidades de mejora. Se deben aplicar herramientas de análisis de datos y esbozar un plan de mejora para ser analizado en el siguiente paso. La lista de actividades planteadas se detalla a continuación.

- Generar propuesta de mejora preliminar.

### **2.9.4. Etapa IV: Evaluar y mejorar**

Como última etapa, se plantea agregar una evaluación a la etapa de “mejorar” en la metodología DMAIC. En esta etapa se analizará el plan de mejora y se generarán cambios de ser necesario. Por otro lado, se desarrollará un análisis costo - beneficio para saber en qué magnitud impacta la confiabilidad en los procesos productivos. Los pasos planteados se detallan a continuación.

- Analizar plan de mejora.

- Generar análisis de impacto – beneficio.
- Analizar el cumplimiento de las metas mediante la solución planteada.
- Proponer mejoras al plan de mantenimiento.

# **CAPÍTULO 3: DIAGNÓSTICO**

*En el siguiente capítulo se desarrolla el primer punto de la metodología, en este capítulo se realiza un diagnóstico de la situación actual de la empresa enfocado en el mantenimiento y la confiabilidad de las maquinarias.*

### 3.1. Formalización de procesos actuales

En la siguiente sección se detallará la formalización de procesos que actualmente lleva a cabo la empresa, los cuales están relacionados con la línea de procesos *Doypack* y el área de mantenimiento.

Para este objetivo, se utiliza la información contenida en los instructivos de trabajo de la empresa, específicamente el procedimiento PC 10.001, relacionado al plan de mantención industrial, el cual se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4: PC 10.001

Documento	Tipo de documento	Objetivo
PC 10.001	Procedimiento	Este documento contiene los procedimientos relativos al plan de mantención industrial de la empresa.

*Fuente: elaboración propia en base a información extraída de documentos de Surfrut, 2021*

### 3.2. Procedimiento departamento de mantención: Plan de mantención industrial (PC 10001)

El objetivo de este procedimiento es especificar las responsabilidades, describir los procesos y establecer las pautas generales para planificar y programar los distintos tipos de mantención a los equipos y maquinarias industriales de la empresa Surfrut Ltda.

Por otra parte, este procedimiento, logra definir las interrelaciones del departamento de mantenimiento con las otras unidades de la empresa. Por último, el alcance del procedimiento es válido para todo el personal de la planta, todos los equipos de las líneas de producción y las áreas anexas.

#### 3.2.1. Nomenclatura general

A continuación, en la Tabla 5, se observan las siglas que se utilizarán de manera abreviada para explicar el procedimiento de trabajo.

Tabla 5: Nomenclaturas utilizadas en Surfrut

Abreviatura	Significado
<b>GG</b>	Gerente general
<b>GC</b>	Gerente comercial
<b>GAMP</b>	Gerente abastecimiento materias primas
<b>GAF</b>	Gerente administración y finanzas
<b>GO</b>	Gerente operaciones
<b>GGP</b>	Gerente gestión de personas
<b>JPD</b>	Jefe producción deshidratado
<b>JPC</b>	Jefe producción conservas y congelados
<b>JPP</b>	Jefe producción puré
<b>JC</b>	Jefe calidad
<b>JOMP</b>	Jefe de operaciones materias primas
<b>JPM</b>	Jefe proyectos y mantenimiento
<b>Supervisor</b>	Supervisor equipo de trabajo
<b>MER</b>	Mecánico de equipo rodante
<b>MMP</b>	Mecánico mantención preventiva
<b>EMP</b>	Eléctrico mantención preventiva
<b>ST</b>	Secretario técnico
<b>APM</b>	Asistente de proyectos y mantenimiento
<b>OT</b>	Orden de trabajo
<b>ET</b>	Eléctrico de turno
<b>MT</b>	Mecánico de turno

Fuente: elaboración propia en base a información extraída desde documentos de Surfrut, 2021.

### 3.2.2. Responsabilidades de cada cargo

Las responsabilidades de cada cargo, enfocadas en el plan de mantenimiento, se definen a continuación.

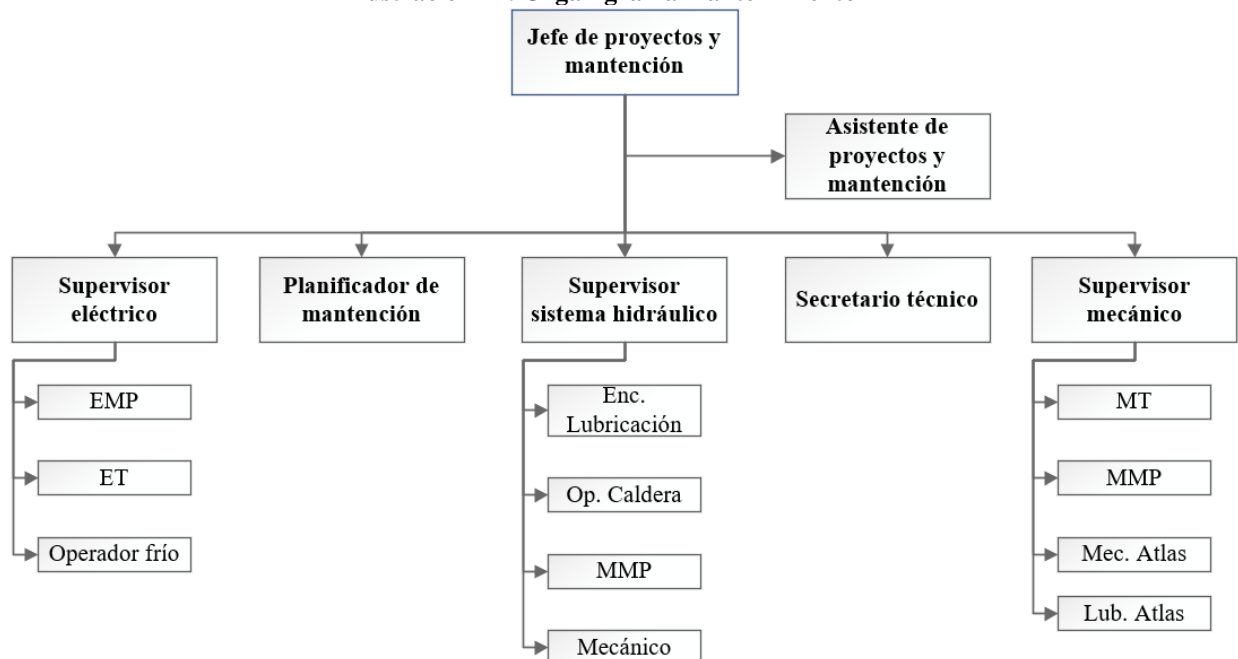
- **GO:** aprobar el plan de mantención anual.
- **JPM:** planificar, programar, dirigir la ejecución, evaluar y controlar los programas de mantención anual, mensual y semanal, Definir y controlar presupuesto anual de proyectos y mantención.
- **Supervisor de mantención:** controlar la correcta ejecución técnica de los trabajos y entregar apoyo técnico al personal que ejecuta las mantenciones. Participa en las reuniones de revisión y ajuste de los programas mensuales y semanales de mantención.

- **JO, JC, JPD, JPC, JPP:** participar en las reuniones de revisión del programa mensual de mantención y programa semanal, si se requiere.
- **Personal de mantención:** efectuar trabajos asignados por JPM y supervisor de equipo en función del programa semanal y de las observaciones detectadas en los ruteos de lubricación e inspección de líneas.
- **Personal de mantención área productiva:** Efectuar los trabajos asignados por el JPD o el JPC.

### 3.2.3. Organigrama área mantenimiento

La organización del área sigue un orden jerárquico y corresponde a lo que se expone en la Ilustración 12.

Ilustración 12: Organigrama mantenimiento



Fuente: elaboración propia en base a información extraída desde Surfrut, 2021.

### 3.2.4. Planificación y programación de actividades de mantenimiento

Como se mencionó anteriormente, el objetivo de la formalización de procesos es especificar las responsabilidades, describir los procesos y establecer las pautas generales para planificar y programar los distintos tipos de mantenimiento a los equipos y maquinarias industriales de la empresa. Dicho lo anterior, a continuación, se describen las actividades necesarias para realizar las mantenencias preventivas anuales, mensuales y semanales de la empresa Surfrut, además, se muestran los responsables de dicha actividad, su frecuencia y los involucrados en las decisiones operativas. Estos procesos son expuestos en la Tabla 6, Tabla 7, Tabla 8 y Tabla 9, respectivamente.

**Tabla 6: Actividades plan anual de mantenimiento**

Actividades y/o tareas	Roles responsables	Coordinación	Frecuencia
Revisar plan de producción	JPM	GO / GP	Anual
Revisar el estado de los equipos utilizados en temporada anterior	JPM	GO / Supervisor Mtto.	Anual
Revisar aspectos a mejorar detectados en la temporada anterior	JPM	GO / GP / JPD / JPC / JPP / JC	Anual
Revisar inversiones en equipamiento o infraestructura consideradas para el año	JPM	GO / GP / JPD / JPC / JPP / JC	Anual
Revisar disponibilidad de horas hombre	JPM	GO / Supervisor Mtto.	Anual
Generar presupuesto anual para el área de mantenimiento y proyectos	JPM	GO / Supervisor Mtto.	Anual
Aprobar plan anual de mantención industrial y presupuesto área de Proyectos y mantención	GO	JPM	Anual
Revisión mensual del plan anual comparado con presupuesto operativo	JPM	GO / Supervisor Mtto.	Mensual
Revisión y coordinación semanal del programa de mantención	JPM	GO / Supervisor Mtto.	Semanal
Toma de acciones correctivas	JPM	GO / Supervisor Mtto.	-
Definir programa de mantención para el mes siguiente	JPM	GO / Supervisor Mtto.	Mensual

*Fuente: elaboración propia en base a información extraída desde Surfrut, 2021.*

**Tabla 7: Actividades plan mensual de mantenimiento**

Actividades y/o tareas	Roles responsables	Coordinación	Frecuencia
Revisar plan de producción	JPM	GO / GP	Mensual
Revisar disponibilidad de horas hombre	JPM	GO / Supervisor Mtto.	Mensual
Revisar presupuesto mensual para el área de mantención y proyectos	JPM	GO / Supervisor Mtto.	Mensual
Revisión semanal plan mensual	JPM	GO / Supervisor Mtto.	Mensual
Revisión y coordinación semanal del programa de mantención	JPM	GO / Supervisor Mtto.	Semanal
Toma de acciones correctivas	JPM	GO / Supervisor Mtto.	-
Definir programa de mantención para el mes siguiente	JPM	GO / Supervisor Mtto.	Mensual

*Fuente: elaboración propia en base a información extraída desde Surfrut,2021.*

**Tabla 8: Actividades plan semanal de mantenimiento – Parte 1**

Actividades y/o tareas	Roles responsables	Coordinación	Frecuencia
Revisar plan de producción	JPM	GO / GP	Semanal
Revisar disponibilidad de horas hombre	JPM	GO / Supervisor Mtto.	Semanal
Revisar presupuesto mensual para el área de mantención y proyectos	JPM	GO / Supervisor Mtto.	Mensual
Generar plan de mantención detención de planta	Supervisores de mantención	JPM / JPD / JPC / JPP	Semanal
Revisar, controlar, evaluar y tomar acciones correctivas para los ruteos de lubricación	Supervisores de mantención	JPM / MMP / EMP	Semanal
Revisar, controlar, evaluar y tomar acciones correctivas para las inspecciones de línea	Supervisores de mantención	JPM / MMP / EMP	Semanal
Revisar, controlar, evaluar y tomar acciones correctivas para la operación de SADEMA	Supervisor sistema de frío	JPM / JO	Diario
Revisar, controlar, evaluar y tomar acciones correctivas para la Mantención de equipos rodantes	MER	JPM / JO	Diario
Revisar manual del área para controlar, evaluar y tomar acciones correctivas para la mantención de equipos específicos	Personal de mantención	JPM / Supervisor Mtto.	Diario

*Fuente: elaboración propia en base a información extraída desde Surfrut,2021.*



**Tabla 9: Actividades plan semanal de mantenimiento – Parte 2**

Actividades y/o tareas	Roles responsables	Coordinación	Frecuencia
Revisar, controlar, evaluar y tomar acciones correctivas para la Mantenición de y Operación de Calderas	OC / Supervisor sistema vapor	JPM	Diario
Solicitud de compra de petróleo, actualización base de datos	SM	JPM	Diario

*Fuente: elaboración propia en base a información extraída desde Surfrut,2021.*

### 3.2.5. Metas de mantenimiento

El instructivo de procesos 10.001 también hace referencia al cumplimiento de las metas propuestas por el área de mantenimiento, tal como se muestra en la Tabla 10.

**Tabla 10: Actividades metas de mantenimiento**

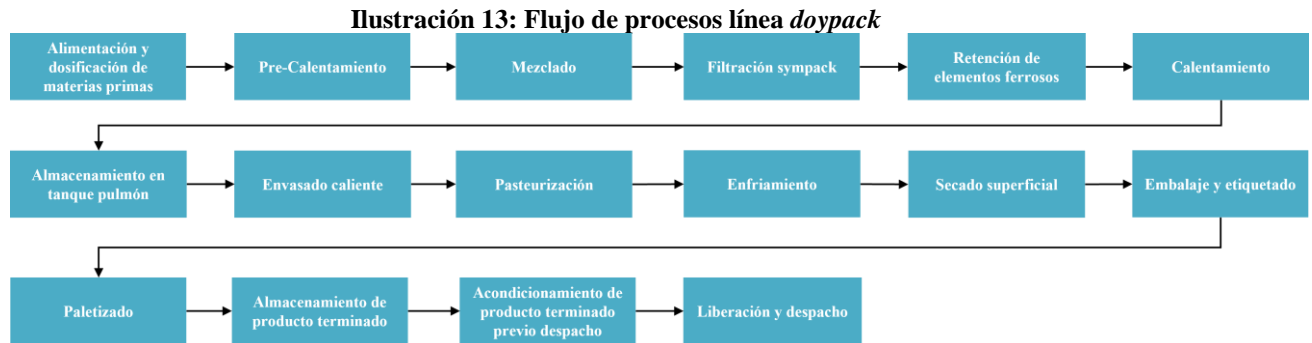
Actividades y/o tareas	Roles responsables	Coordinación	Frecuencia
Evaluar metas del área y tomar acciones	JPM	GO / Supervisor Mtto.	Mensual
Definir acciones de mejora o medidas preventivas	JPM	GO / Supervisor Mtto.	Cuando se necesite
Revisar cumplimiento de metas de áreas de proyectos y mantención	JPM	GO / Supervisor Mtto.	Mensual
Solicitar acciones correctivas ante desviación de cumplimiento de metas	JPM	GO / Supervisor Mtto.	Cuando se necesite

*Fuente: elaboración propia en base a información extraída desde Surfrut,2021*

### 3.3. El proceso productivo

Para entrar en contexto con las operaciones realizadas dentro de la línea *doypack*, el flujo de este proceso se muestra en la Ilustración 13, en donde, el flujo parte con suministrar la materia prima a los mezcladores *mixer*, pasando luego por filtros que retienen cualquier elemento extraño que pueda contener la mezcla, los cuales, además, están dotados de imanes para retener posibles elementos metálicos que pudiesen haberse escurrido. Luego, la mezcla es calentada y se procede a envasar el puré en pequeños *doypacks*, los cuales pasan por un túnel pasteurizador para luego ser enfriados rápidamente en una piscina de agua fría, con el fin de eliminar los

posibles agentes patógenos dentro del *doypack*, ya en la etapa final, se etiquetan las cajas y se embalan los *doypacks* en cantidades que el cliente determine, estas cajas son paletizadas para finalmente ser almacenadas y despachadas, listas para ser recibidas por el consumidor final.



*Fuente: elaboración propia en base a visita guiada a línea *doypack**

### 3.4. Datos de falla

La empresa utiliza planillas Excel en *Google Drive* para trabajar sus datos, existe una planilla en donde se lleva el histórico de fallas de las líneas productivas, en esta, se calculan indicadores atractivos para la empresa, además del cálculo de la Efectividad Total de los Equipos (OEE de su traducción al inglés: *Overall Equipment Effectiveness*).

Los datos tomados para el caso de la línea *doypack* son los siguientes: fecha, año, semana, mes (numérico), mes, turno, código, minutos de detención, ¿falla asociada a una o dos máquinas?, minutos de detención (corrección), horas de detención, familia de detención, descripción de detención, observación, tipo de detención (programada o no programada), tipo de detención (mantenimiento u operacional), línea. A continuación, se debe mencionar algunos datos relevantes que fueron observados al estudiar las planillas con el motivo de dar a entender la problemática respecto a la forma en que se toman los datos.

- La columna de la planilla Excel llamada “¿falla asociada a una o dos máquinas?” indica si la falla en la línea afecta a una o dos de las máquinas envasadoras (máquinas que son el corazón de la línea), pero no es lo suficientemente específico para indicar cuál de las

dos es la que está siendo afectada por el fallo, esto afecta principalmente a la toma de decisiones para la mantención, no se sabe si una tiene una tasa de fallos mayor a la otra.

- Los operarios, al registrar los fallos, no ingresan observaciones para ayudar a clasificar dichos fallos.
- En la planilla no se ingresa la hora en que comenzó el fallo ni la hora en que termina, solamente se ingresa la duración de este. La hora de comienzo y fin es necesaria para el cálculo de la confiabilidad de la línea y el cálculo de indicadores de mantenimiento.
- No existe un registro de la máquina específica que falla, solamente se ingresa una familia de fallos y una descripción del fallo que, muchas veces, puede ser genérica para más de una máquina.

### 3.5. Datos de repuestos

Al igual que los datos de falla, los datos de repuestos se registran en una planilla Excel en donde se encuentra la lista completa de códigos utilizados por la empresa, las solicitudes de repuestos y los repuestos de la máquina envasadora que, como se mencionó anteriormente, es el corazón de la línea.

Para el caso de repuestos, los datos tomados son los siguientes: código de grupo, nombre del repuesto, código de repuesto, cantidad en máquina, posición, proveedor, código QAD, *stock* bodega 2021, solicitud compra 2021. A continuación, se mencionan las problemáticas detectadas al estudiar la planilla de registro de repuestos.

- La planilla no registra para qué máquina es el repuesto.
- Los códigos utilizados muchas veces están duplicados en repuestos diferentes.
- Existen códigos de repuesto que no se encuentran en la base de datos de la empresa.

### 3.6. Análisis interno de la empresa

Para el análisis interno se lleva a cabo el análisis 4C y 4P, los cuales son detallados a continuación.

#### 3.6.1. Análisis 4C

El análisis 4C se refiere a: conveniencia, consumidor, comunicación y costo, siendo cada una de estas variables relevantes para los clientes.

- **Conveniencia:** la cartera de productos es de fácil acceso, para realizar una compra se debe contactar a la empresa vía correo (para el caso de ventas internacionales) o bien, si es una venta nacional, se realiza vía teléfono a las oficinas comerciales de Santiago. Luego, para el caso de los clientes nuevos, se siguen una serie de pasos para poder concretar la venta (envío de muestras, visto bueno del cliente, firma de contratos, etc.), por otra parte, para el caso de clientes antiguos, simplemente se firma el contrato y se produce la receta del cliente.
- **Consumidor:** el mercado de clientes principalmente corresponde al segmento *business to business* (B2B), es decir, de negocio a negocio, en donde el cliente pasa a ser un vendedor del producto comprado a la empresa.
- **Comunicación:** la comunicación se realiza por medio de canales formales (correo electrónico, teléfono fijo) y en horarios de oficina. El uso de redes sociales tales como, *Facebook* o *Instagram* no son ampliamente utilizadas por la empresa, puesto que, el cliente tiene un perfil B2B.
- **Costo:** respecto al costo para el cliente, en cuanto a dinero, la inversión radica en la cantidad de producto que adquiera y, por otra parte, en cuanto a costos temporales, se coordina la fecha de entrega directamente con el cliente, pudiendo sufrir retrasos en los embarques internacionales, o bien, en los envíos nacionales.

### 3.6.2. Análisis 4P

En el análisis 4P se encuentra la plaza, el producto, el precio y la promoción, estas variables se describen a continuación.

- **Plaza:** las plantas productivas se encuentran en la localidad de Romeral, en la Región del Maule. Desde este punto se abastecen a los distintos clientes a través de camiones que se encargan de llevar los productos a su destino.
- **Producto:** la gama de productos es diversa, se producen *sachets* de fruta en formato convencional, orgánico y *baby food*, asimismo, fruta deshidratada, pure de fruta y cerezas en conserva.
- **Precio:** el precio varía según el tipo de producto, para el caso de la línea en estudio, se tienen precios que van desde los \$1.000 a los \$7.000 por caja, dependiendo el tamaño de la caja y la fruta y/o verdura con la que se trabajó.
- **Promoción:** para realizar la promoción de los productos, la empresa solamente cuenta con página web, la cual, está en su totalidad en inglés, enfocada claramente, al mercado internacional, además, la página web cuenta con fotos borrosas y textos poco legibles. Por otra parte, las redes sociales están en un segundo plano, no se actualizan hace más de dos años, por ende, la empresa no puede contar con estas. Por último, se realiza una búsqueda de potenciales clientes vía telefónica y en ferias empresariales en donde se da a conocer la empresa a posibles consumidores.

### 3.7. Análisis externo de la empresa

Para ver los factores externos que afectan a la empresa se realiza un análisis PESTEL, el cual se detalla a continuación.

### **3.7.1. Análisis PESTEL**

El análisis PESTEL se conforma de seis aristas: entorno político, económico, social, tecnológico, ecológico y legal, cada una de estas variables se define a continuación.

- **Político:** las políticas adoptadas por parte del gobierno a causa del Covid-19 afectaron principalmente en el aforo de trabajadores permitidos en las distintas secciones de la empresa, debiendo tomar medidas en cuanto al reajuste de personal y la adaptabilidad de los espacios de trabajo. Asimismo, la implementación del teletrabajo a significado una variación en el flujo normal de trabajo, afectando principalmente a la rapidez con que fluye la información entre colaboradores.
- **Económico:** como a muchas grandes, medianas y pequeñas empresas a nivel mundial, la pandemia a afectado el nivel de ventas, se han cancelado pedidos de clientes, se han visto afectados los tiempos de envío, produciendo retrasos y disconformidad en los clientes y, además, se ha requerido un mayor desembolso de efectivo al tener que contratar personal extra por los contagios del personal de planta. Si bien, estos últimos años han sido distintos a lo visto anteriormente, las proyecciones para el año 2022 apuntan favorablemente a un repunte en las ventas de la empresa.
- **Social:** en cuanto al factor social, se deben tener en cuenta las nuevas tendencias de consumo por parte de los clientes, buscando materias primas cada vez más naturales, libres de pesticidas y sabores innovadores y nutritivos. Por otra parte, se debe mencionar que el aspecto social también abarca a las exigencias de los trabajadores, los cuales buscan un ambiente de trabajo agradable en donde se valoren y reconozcan sus esfuerzos.
- **Tecnológico:** en la empresa, casi la totalidad de los procesos son automatizados, el trabajo manual es casi nulo, el cual se limita a traslados de materiales, selección de fruta y controles de calidad. Dicho esto, el desarrollo tecnológico de la empresa es favorable, puesto que, está en la constante búsqueda de la automatización de procesos. El desafío que afronta actualmente es generar planes de mantención que se adapten de forma

propicia a los niveles de producción requeridos, asimismo, contar con personal capacitado para la correcta operación de las maquinarias.

- **Ecológico:** en el ámbito energético la empresa se queda atrás, puesto que, para la generación de vapor, actualmente se utiliza una caldera a carbón la cual genera  $CO_2$  y, además, la empresa no está muy familiarizada con las energías limpias. Por otra parte, la disposición y tratado de residuos orgánicos es buena, los residuos de fruta se donan a empresas vecinas que realizan compostaje y parte de los residuos de manzana son utilizados para crear alimentos para perro y, también, se produce un subproducto que es una especie de tela que actúa como una superficie antiadherente para el proceso de deshidratado de manzanas orgánicas. Por último, la empresa cuenta con pequeñas plantas para tratar los residuos industriales líquidos producidos.
- **Legal:** en cuanto al aspecto legal, la empresa sigue todas las normativas vigentes en la legislación chilena, las cuales en su mayoría se refieren a la trata de residuos generados, a la sanitización y la formalidad de los colaboradores contratados. Además, se ha puesto al día con las nuevas exigencias del ministerio respecto al Covid-19.

### **3.8. Análisis FODA**

Habiendo desarrollado tanto el análisis interno como el externo, se procede a la realización del análisis FODA de la empresa, el cual se desarrolla a continuación gracias a la información obtenida de los análisis anteriormente realizados.

#### **3.8.1. Fortalezas**

- La empresa se comunica constantemente con sus clientes y permanentemente busca nuevos clientes.
- Al llevar varios años en la industria, conoce el mercado objetivo.
- La ubicación, Romeral, es una zona privilegiada para los cultivos.
- La totalidad de las líneas productivas están automatizadas.

- Diversa gama de productos, adaptables y con capacidad de crear nuevas recetas según requerimientos del cliente.

### **3.8.2. Debilidades**

- Poca exposición de la marca, no se utilizan redes sociales.
- Página *web* solamente en inglés.
- Alta rotación de colaboradores.
- La empresa no ha podido cambiar eficientemente la cultura organizacional.

### **3.8.3. Amenazas**

- Empresas del rubro emergentes.
- Aumento del costo de materias primas.
- Escasez de fruta dependiendo la temporada.

### **3.8.4. Oportunidades**

- Tendencias hacia alimentos más saludables y naturales.
- Mercado en crecimiento.
- En general, buenas condiciones climáticas.

## **3.9. Análisis FODA área de mantenimiento**

Por otra parte, a modo de acercar al lector al área en dónde se lleva a cabo el proyecto, se realiza un análisis FODA enfocado en el área de mantenimiento, esto, según las experiencias vividas a lo largo del proyecto en la empresa Surfrut. El objetivo de este análisis es conocer las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas del área en sí.



### 3.9.1. Fortalezas

- El jefe de mantenimiento cuenta con vasta experiencia en el área, siete años trabajando en Surfrut, dos títulos profesionales (Ingeniero Civil Industrial e Ingeniero Civil Mecánico), además de un máster y un postgrado en el área.
- Se solucionan rápidamente problemas emergentes detectados en la línea.

### 3.9.2. Debilidades

- El personal del área rota constantemente, especialmente la parte administrativa del área de mantenimiento, lo que produce retrasos en la información y en la delegación de tareas de mantenimiento.
- La cultura organizacional es precaria, anteriormente, el área había utilizado el método 5S para mejorar la gestión del área, si bien, los operarios siguieron la metodología, esto solo fue por un par de meses, hoy en día, el área se ve desorganizada, con repuestos donde no debiesen estar. Esto indica poca preocupación de los mandos superiores para que los operarios sigan esta cultura organizacional.

### 3.9.3. Amenazas

- Retraso en el envío de repuestos.
- Falta de *stock* de repuestos críticos.

### 3.9.4. Oportunidades

- Mejoras en el área en cuanto a planificación de mantenimiento, actualmente no se realiza mantenimiento enfocado, siendo que, es totalmente necesario.
- Mejoras en la toma de información de fallas y en la digitalización de la información.

### 3.10. Conclusiones análisis FODA y etapa de diagnóstico

Como se describió anteriormente, el procedimiento 10.001 es el que rige las normas sobre la mantención de equipos industriales, este contiene puntos relevantes para tener en cuenta al momento de realizar una propuesta de mejora al plan de mantenimiento. Aspectos negativos de este manual de procesos es que carece de métricas que permitan definir el plan de mantenimiento, así como también, el detalle de las tareas por realizar es vago, solamente se entrega una guía de tareas generales al usuario, pudiendo estas, realizarse de diversas maneras.

Respecto a los factores que pueden influir en una mala política de mantenimiento se tiene, primeramente, la alta rotación de personal del área de mantenimiento y la falta de compromiso de los directivos para generar o indagar en propuestas de mejora para mantener operativa la línea en. Por otra parte, se tiene el poco compromiso, tanto de los operarios como de los encargados del área productiva a tomar los datos de forma responsable y consciente, asimismo, el digitador que está encargado de subir la planilla de datos al sistema tampoco pone énfasis en los datos faltantes o poco claros, simplemente sube los datos a pesar de estar incompletos. Además, en más de dos años no se han realizado modificaciones a la planilla de toma de datos, en la empresa no se ha planteado la posibilidad de generar mejoras a esta planilla, en donde las posibles mejoras son evidentes y totalmente necesarias para poder seguir avanzando en el ámbito de la mejora continua. En términos generales, los procesos de mantención son realizados de forma correcta, pero estos no se actualizan de acuerdo con las nuevas necesidades de las máquinas utilizadas.

En cuanto a las planillas Excel que se ingresan a *Google Drive*, como fue mencionado con anterioridad, estas planillas no entregan información de calidad, muchas veces los operarios no especifican los detalles necesarios para poder identificar de forma correcta el fallo y, en consecuencia, la máquina que está fallando, dificultando así la toma de decisiones. Asimismo, hay datos que no se especifican, como por ejemplo y uno de los más relevantes, la máquina que falla, simplemente con agregar esta columna se podrían obtener mejores indicadores respecto a

la disponibilidad de la línea, pudiendo saber a qué máquina enfocar las mejoras para llegar al nivel de disponibilidad requerido.

Actualmente, la empresa toma decisiones respecto a la mantención de las maquinarias con los datos presentados en este capítulo, esto ha significado que no puedan adaptarse rápidamente a los requerimientos de la línea, en donde la disponibilidad objetivo para el año 2021 era de un 97% para cada una de las máquinas y esto no fue capaz de cumplirse, dificultando así el plan de producción por la baja disponibilidad de la línea.

Dicho esto, es imprescindible para la empresa generar mejoras en su plan de mantenimiento, se deben proponer mejoras que formen un plan de mantención robusto y que se adapte a los nuevos requerimientos de la línea productiva. Por otro lado, se deben proponer las mejoras a las planillas de toma de datos, con el fin de que estas sirvan para tomar decisiones con información de calidad.

Por último, a través del análisis FODA, se puede concluir que la empresa aún tiene mucho potencial y oportunidades de mejora, tanto a nivel empresa, como a nivel del área de mantenimiento, si bien, se deben mejorar aspectos clave, la tendencia del mercado va hacia alimentos saludables y naturales, que es lo que ofrece la empresa Surfrut Ltda.

# **CAPÍTULO 4: VERIFICACIÓN Y ESTUDIO DE LA INFORMACIÓN**

*En el siguiente capítulo se crean las primeras bases para comenzar a trabajar de lleno en el cálculo de confiabilidad de la línea productiva, siempre con el objetivo de proponer mejoras al plan de mantenimiento de la empresa.*

## 4.1. Análisis de base de datos actual

En esta sección se describen los pasos que fueron seguidos para limpiar y adaptar la base de datos a los requerimientos necesarios para realizar, por una parte, el cálculo de la confiabilidad de la línea productiva y también, el cruce de información entre los repuestos críticos y las maquinarias.

### 4.1.1. Datos de falla

Como fue mencionado en el capítulo anterior, los datos de falla que la empresa utiliza tienen grandes vacíos de información, específicamente al no mencionar qué máquina es la que está fallando, la hora en que comienza la falla y la hora en la que termina, siendo estos parámetros sumamente relevantes para poder generar análisis de calidad para la toma de decisiones. A continuación, se expone brevemente cómo se trabajaron estos vacíos de información con el fin de dejar una base de datos operativa para poder realizar los objetivos de este proyecto.

- **No conocer la máquina que falla:** este punto fue conversado con el jefe de proyectos y mantenimiento, el cual coincidió con la importancia de conocer cuál es la máquina que específicamente está fallando, por este motivo, en una de las reuniones se propuso trabajar y completar estos datos para la línea *Doypack*. En concreto, se completaron cerca de 2.200 casillas de datos de falla con su respectiva máquina asociada.
- **Tiempo de inicio y fin desconocido:** es relevante conocer cuándo parte y cuándo se logra solucionar la falla, puesto que, de este intervalo de tiempo depende la distribución que van a tomar los datos de falla de la máquina y, posteriormente, el modelo de fiabilidad a utilizar. Al no existir registro sobre los horarios de falla para esta línea productiva, se generan tiempos de inicio de la falla aleatorios entre un intervalo de 60 y 280 minutos en cada casilla de falla, siendo el tiempo de término de la falla la suma entre la hora de inicio más la duración de la falla, la cual, es un dato conocido por la empresa.

- **Observación no específica:** por último, para el caso de las observaciones, el operario no siempre ingresa el detalle de la falla cuando es necesario identificar la parte de la máquina que está fallando, lamentablemente, este aspecto no se pudo mejorar, pero queda como una propuesta de mejora futura la obligatoriedad de llenar la celda “observación” con parámetros definidos por el área de mantenimiento.

#### 4.1.2. Datos de repuestos

Algo similar pasa con los datos de repuestos de la empresa, estos datos tienen vacíos de información, datos duplicados y, así como sucede con los datos de las fallas, tampoco indica a qué máquina pertenece el repuesto utilizado. A continuación, se detallan las soluciones planteadas y aplicadas a las bases de datos para que estos sean trabajables en el proyecto.

- **Datos vacíos:** para el caso de los datos vacíos, simplemente se procede a omitir las casillas vacías, las cuales son 185 columnas de un total de 2.665, representando solamente un 7% de los datos.
- **Datos duplicados:** para el caso de los datos duplicados por errores de nomenclatura, se revisó dato a dato y se reemplazaron los códigos duplicados para que este error no afecte a los datos.
- **No se conoce la máquina:** por último, el no conocer la máquina a la que va el repuesto puede ser uno de los factores más importantes de esta planilla, puesto que, con este dato se puede obtener cuánto cuesta mantener una máquina u otra, además, con esto se logrará realizar el cruce de información con la planilla de fallos. Para completar esta información, se realiza el cruce de códigos entre la planilla de repuestos con la planilla de solicitud de compra de repuestos, obteniendo así, el grupo al que pertenece el repuesto, luego, habiendo obtenido el grupo, se logra identificar la máquina gracias a la experiencia del jefe de proyectos y mantenimiento.

## 4.2. Disponibilidad de la línea

Como se ha mencionado anteriormente, uno de los objetivos de este estudio es aumentar la disponibilidad de la línea a un 97% para cada una de las máquinas involucradas en este proceso, para esto, es necesario conocer la disponibilidad actual del proceso productivo, el cual se calcula tomando en cuenta el tiempo total disponible (horas operacionales restándole el tiempo de colación) y el tiempo muerto (fallas eléctricas, fallas mecánicas y fallas operacionales). A continuación, en la Tabla 11, se muestra el cálculo de la confiabilidad de la línea.

**Tabla 11: Confiabilidad línea productiva**

Mes	Gualapack	Túnel	Empacado	Intercambiador	Mixer	Enfriador	Cip
Enero	98,4%	99,6%	100%	98,0%	100%	100%	100%
Febrero	97,7%	99,7%	99,7%	97,3%	100%	99,8%	100%
Marzo	96,1%	99,7%	99,7%	98,3%	100%	100%	100%
Abril	87,8%	100%	100%	99,1%	99,2%	100%	100%
Mayo	95,9%	100%	99,9%	98,0%	100%	100%	100%
Junio	95,8%	99,9%	99,8%	95,1%	100%	100%	100%
Julio	96,8%	99%	99,5%	96,5%	96,2%	99,8%	100%
Agosto	98,6%	99%	99,9%	96,0%	99,8%	100%	100%
Septiembre	96,9%	98%	100%	98,2%	100%	100%	100%
Promedio	<b>96,0%</b>	<b>99,4%</b>	<b>99,7%</b>	<b>97,4%</b>	<b>99,5%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Fuente: elaboración propia en base a datos obtenidos de Sufrut Ltda.

Al ver la tabla presentada con anterioridad, se observa que la única máquina que no logra cumplir el objetivo es la envasadora Gualapack, por este motivo, de ahora en adelante, se realizarán los cálculos pertinentes para generar una propuesta de mejora para el plan de mantenimiento de esta máquina.

## 4.3. Plan de mantenimiento envasadora Gualapack

Como ya se definió la máquina a la cual se le deben realizar ajustes para aumentar la disponibilidad, se procede a mostrar el plan de mantenimiento de dicha máquina. En la Ilustración 14, Ilustración 15 y Ilustración 16 se observan los planes de mantenimiento que sigue la empresa para realizar las mantenciones a la envasadora Gualapack.

**Ilustración 14: Plan Mtto. Bombas dosificadoras**

Plan de Tareas: [PF-DP-GUA]: PREVENTIVO BOMBAS DOSIFICADORAS C // Limitar Acceso a Esta Localización:

Tareas				
	Descripción	Duración Estimada	Prioridad	Tipo de Tarea
👁	PREVENTIVO (3.000.000 POUCH): AJUSTE RECORRIDO PISTON BOMBAS DOSIFICADORAS	01:30	Alta	PREVENTIVO
👁	PREVENTIVO (3.000.000 POUCH): CAMBIO SELLO SILICONA	01:30	Media	PREDICTIVO
👁	PREVENTIVO (3.000.000 POUCH): CAMBIO SELLO TEFLON	01:30	Media	PREDICTIVO
👁	PREVENTIVO TRIMESTRAL INSPECCION [CAMISA] BOMBA PRODUCTO	00:30	Media	PREVENTIVO
👁	REALIZAR CAMBIO DE BOMBA DE PRODUCTO GUALAPACK 1 Y 2	02:00	Media	PREDICTIVO

Fuente: Información obtenida desde Surfrut Ltda, 2021.

**Ilustración 15: Plan Mtto. motorreductor cadena**

[PF-DP-GUA]: PREVENTIVO MOTOREDUCTOR CADENA //

Tareas			
	Descripción	Duración Estimada	Prioridad
👁	PREVENTIVO MECÁNICO (MENSUAL): MOTOREDUCTOR CADENA GUALAPACK	01:00	Media

Fuente: Información obtenida desde Surfrut Ltda, 2021.

**Ilustración 16: Plan Mtto. alimentación nitrógeno**

Plan de Tareas: [PF-DP-GUA]: PREVENTIVO ALIMENTACIÓN DE NITRÓGENO // Limitar Acceso a Esta Localización:

Tareas				
	Descripción	Duración Estimada	Prioridad	Tipo de Tarea
👁	CAMBIO DE FILTRO DE NITRÓGENO	01:00	Media	PREV
👁	(MENSUAL): REVISIÓN FILTRO DE NITRÓGENO	00:10	Media	PREV

Fuente: Información obtenida desde Surfrut Ltda, 2021.

#### 4.4. Cálculo de parámetros Weibull

Para determinar los parámetros de la distribución Weibull ( $\alpha$ ,  $\beta$ ), se utiliza el método gráfico utilizando el *software* MS Excel, en donde:



- El valor de  $\alpha$  (parámetro de escala) viene dado por la intersección de la recta con la línea paralela al eje de las abscisas, este valor siempre va a corresponder al 63,2% de los fallos acumulados.
- El valor  $\beta$  (correspondiente al parámetro de forma) está representado por la pendiente de la recta.

Para poder utilizar el método gráfico se deben seguir los siguientes pasos:

1. Ordenar los  $n$  registros de tiempos de falla  $t$  de menor a mayor.
2. Asignar, a cada registro, un número del orden  $i$  desde 1 hasta  $n$ .
3. Calcular para cada registro el valor del rango de la mediana (RM), el cual es un estimador no paramétrico que ayuda a calcular la recta de la regresión basado en el orden de las fallas. Se calcula mediante la formula:  $RM(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4}$ .
4. Construir la gráfica del eje de las abscisas  $x_i = \ln(t_i)$  y del eje de las ordenadas  $y_i = \ln(\ln[\frac{1}{1-RM(t_i)}])$ .
5. Determinar la regresión lineal en donde la pendiente  $m$  es  $\beta$  y la ordenada del origen es  $\alpha$ .

Dicho esto, se procede a mostrar los resultados obtenidos mediante el método gráfico.

#### 4.4.1. Parámetros envasadora Gualapack

Como primer acercamiento al análisis Weibull, en la Tabla 12, se observa el parámetro  $\beta$ , un dato relevante para analizar el estado del equipo, un valor de  $\beta < 1$  implica situar a la máquina en la primera zona de la curva de la bañera, específicamente en el periodo de mortalidad infantil, el cual, es la etapa donde la tasa de fallos es decreciente (a modo de ejemplo, ver Gráfico 2) y los fallos se deben principalmente a defectos ocultos, fallas de componentes eléctricos, fallos de rodaje, ajuste o montaje.

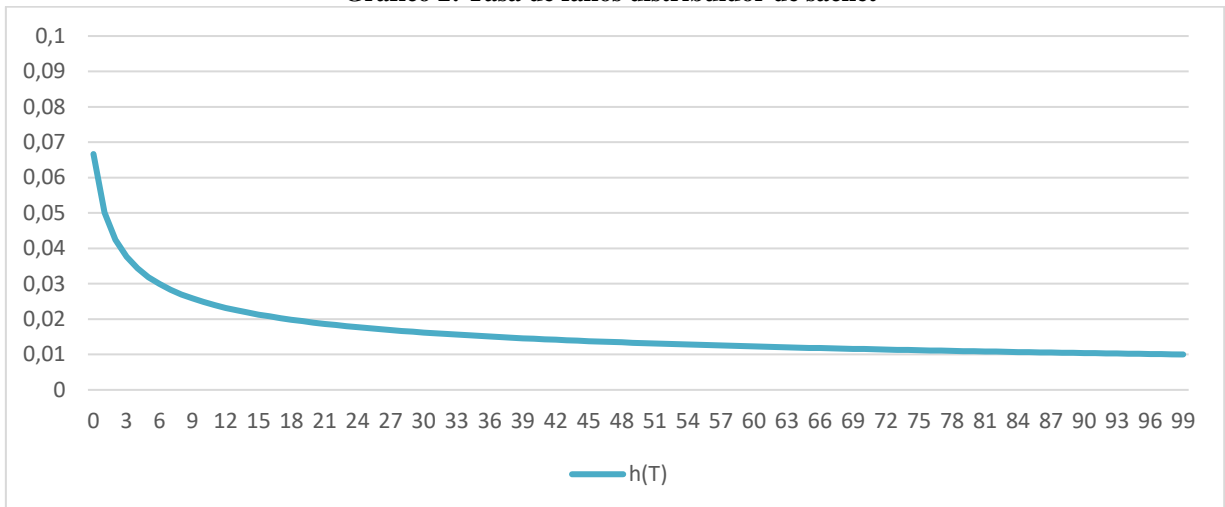
Por otra parte, esta misma tabla, se muestra el tiempo medio entre fallas (MTBF), el cual, es un indicador atractivo para la toma de decisiones, se espera que las mantenciones preventivas sean cercanas al MTBF.

**Tabla 12: Parámetros envasadora Gualapack**

Modo de fallo	Parámetros		
	$\alpha$	$\beta$	MTBF
<b>Distribuidor de sachet</b>	40,534	0,588	62,617
<b>Cargador largo/corto</b>	69,767	0,574	111,302
<b>Enroscador</b>	115,762	0,568	187,474
<b>Dosificador</b>	58,511	0,658	78,786
<b>Sensores</b>	107,249	0,659	144,24

Fuente: elaboración propia

**Gráfico 2: Tasa de fallos distribuidor de sachet**

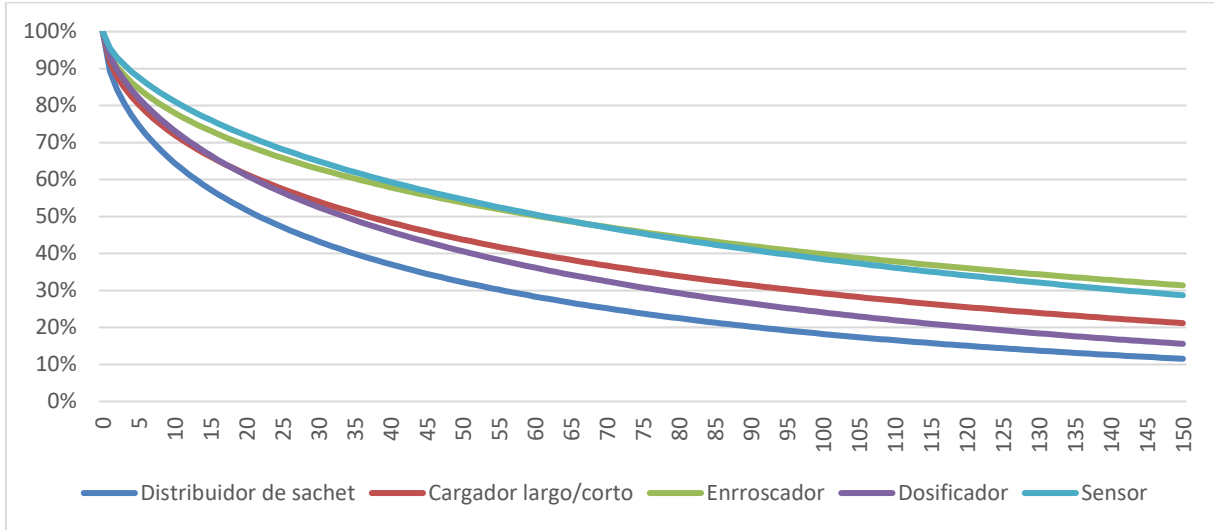


Fuente: elaboración propia

#### 4.5. Confiabilidad envasadora Gualapack

En el Gráfico 3, se observa la curva  $R(t)$  la que representa la confiabilidad para los diversos modos de fallo de la envasadora Gualapack. El cálculo del valor de la confiabilidad es necesario para posteriormente calcular el intercambio óptimo de repuestos en la envasadora Gualapack.

**Gráfico 3: Confiabilidad modos de fallo**



Fuente: elaboración propia

## 4.6. Intercambio óptimo de repuestos

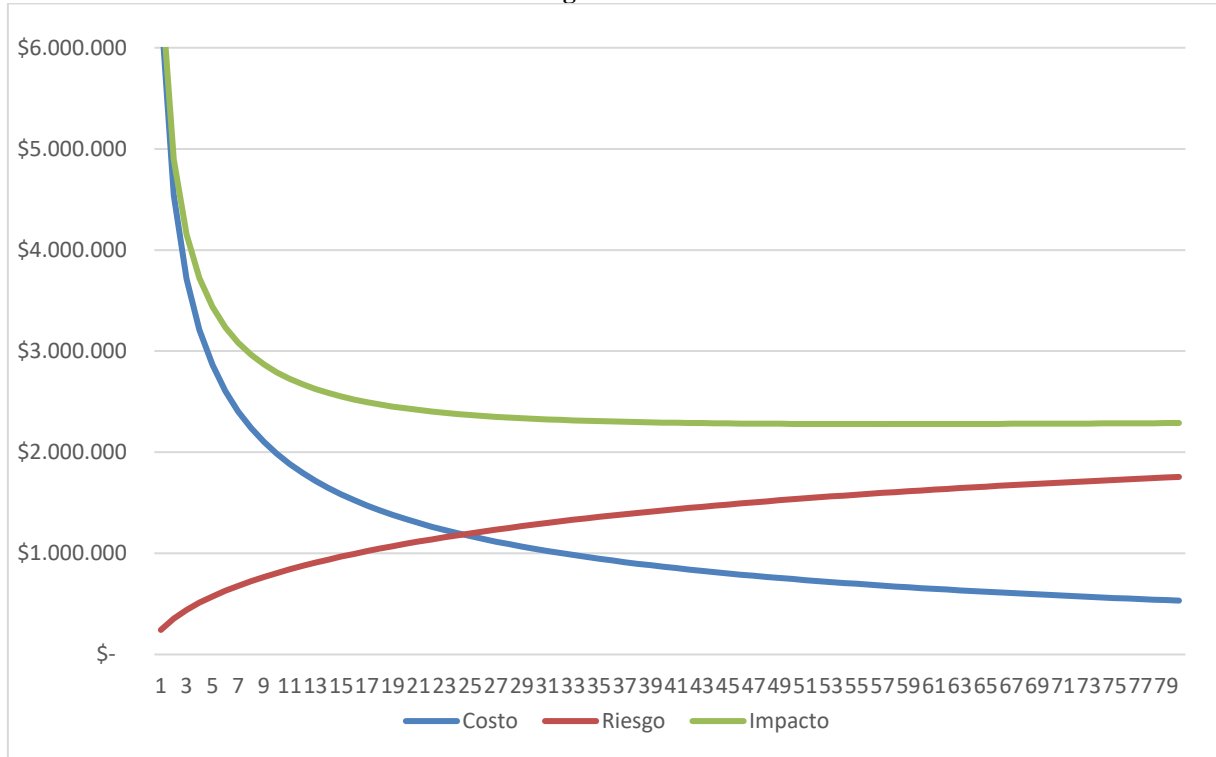
Para calcular el tiempo óptimo de reemplazo de repuestos, se utiliza el modelo de costo – riesgo, descrito en la página 28. Este análisis abarca los costos de mantención preventiva (costos variables dependientes del tiempo de operación) y los costos de mantención correctiva (costos fijos que no dependen del tiempo). A continuación, en los siguientes puntos, se muestran los resultados de este análisis para los modos de fallo de la envasadora Gualapack, en donde, se obtiene el resultado del tiempo óptimo para reemplazar componentes.

### 4.6.1. Intercambio óptimo distribuidor de *sachet*

El modo de fallo expuesto en el Gráfico 4, corresponde al distribuidor de *sachet*, en donde, la curva de impacto logra un valor mínimo a las 57 horas de operación, lo que indica que en ese momento se debe realizar la intervención a la máquina. El costo de realizar una mantención preventiva cada 57 horas alcanza la suma de \$681.059, la cual proviene del costo de repuestos, costos de mano de obra y costos por no producción, lo que anualmente supondrá un costo de \$73.697.760 para la empresa, siendo la máquina intervenida un total de 108 veces al año. Por otra parte, el riesgo de realizar una mantención del tipo reactiva llega a la suma de \$1.597.842,

la cual se obtiene mediante la suma de los costos asociados al repuesto, mano de obra y paradas de línea, multiplicados por la probabilidad de falla ( $F(t)$ ), la cual, va aumentando en el tiempo.

Gráfico 4: Análisis riesgo - costo distribuidor de sachet

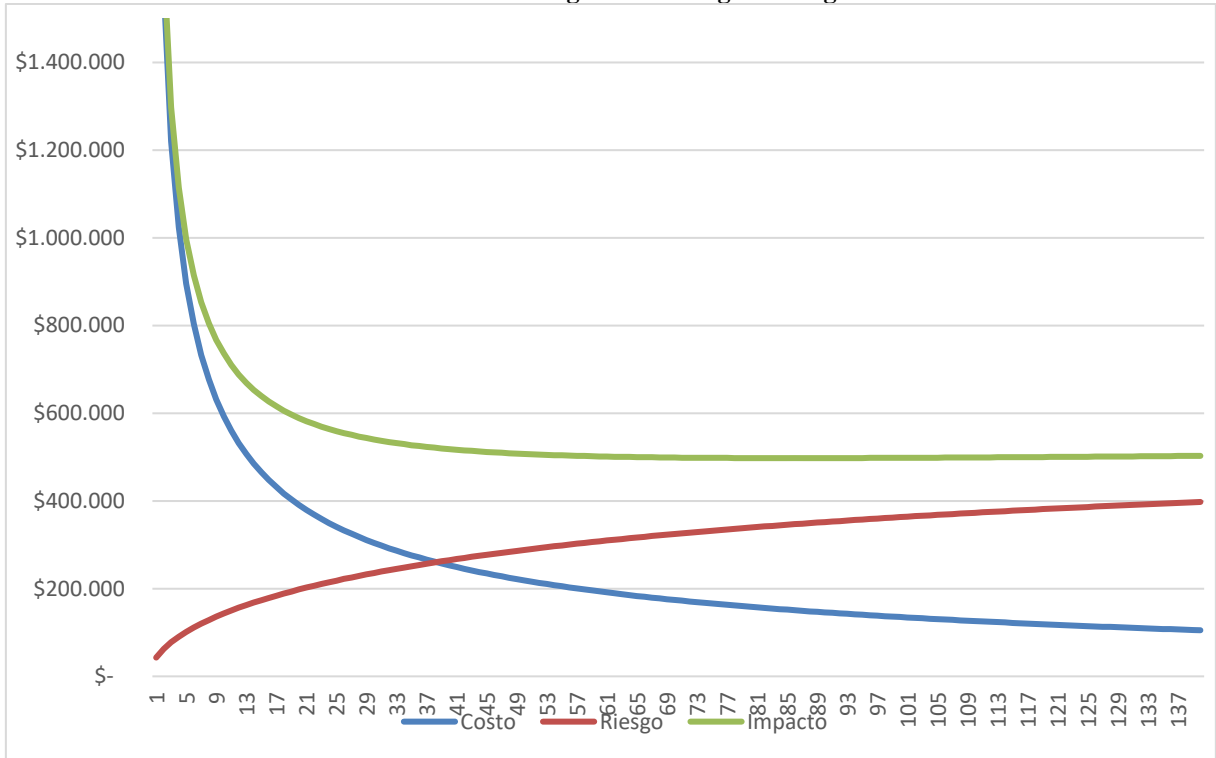


Fuente: elaboración propia

#### 4.6.2. Intercambio óptimo cargador largo/corto

El modo de fallo expuesto en el Gráfico 5, corresponde al análisis de riesgo – costo del cargador largo/corto, en donde, la curva de impacto logra un valor mínimo a las 86 horas de operación, lo que indica que en ese momento se debe realizar la intervención a la máquina. El costo de realizar una mantención preventiva cada 86 horas alcanza la suma de \$150.763, la cual proviene del costo de repuestos, costos de mano de obra y costos por no producción, lo que anualmente supondrá un costo de \$10.812.862, siendo la máquina intervenida un total de 72 veces al año. Por otra parte, el riesgo de realizar una mantención del tipo reactiva llega a la suma de \$346.957, la cual se obtiene mediante la suma de los costos asociados al repuesto, mano de obra y paradas de línea, multiplicados por la probabilidad de falla ( $F(t)$ ), la cual, va aumentando en el tiempo.

Gráfico 5: Análisis riesgo - costo cargador largo/corto

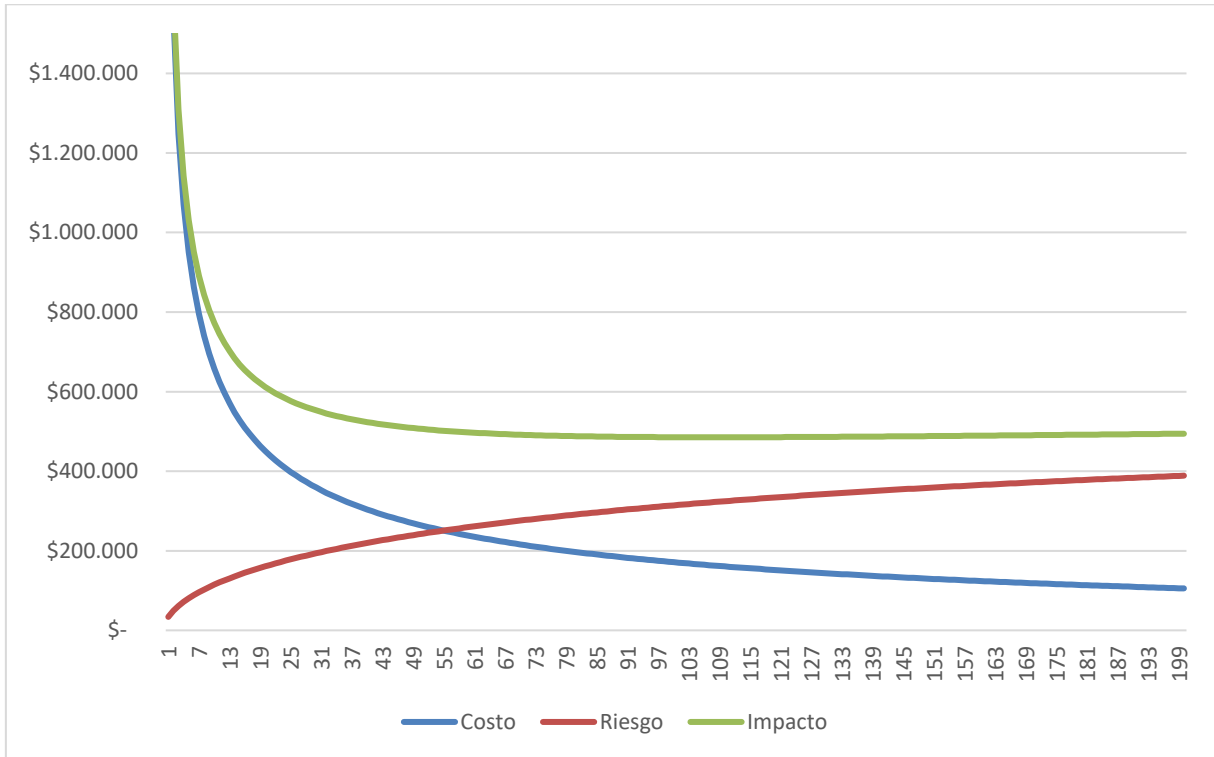


Fuente: elaboración propia

### 4.6.3. Intercambio óptimo enroscador

El modo de fallo expuesto en el Gráfico 6, corresponde al análisis de riesgo – costo del enroscador, en donde, la curva de impacto logra un valor mínimo a las 108 horas de operación, lo que indica que en ese momento se debe realizar la intervención a la máquina. El costo de realizar una mantención preventiva cada 108 horas alcanza la suma de \$162.840, la cual proviene del costo de repuestos, costos de mano de obra y costos por no producción, lo que anualmente supondrá un costo de \$8.376.086, siendo la máquina intervenida un total de 57 veces al año. Por otra parte, el riesgo de realizar una mantención del tipo reactiva llega a la suma de \$322.558, la cual se obtiene mediante la suma de los costos asociados al repuesto, mano de obra y paradas de línea, multiplicados por la probabilidad de falla (F(t)), la cual, va aumentando en el tiempo.

Gráfico 6: Análisis riesgo - costo enroscador

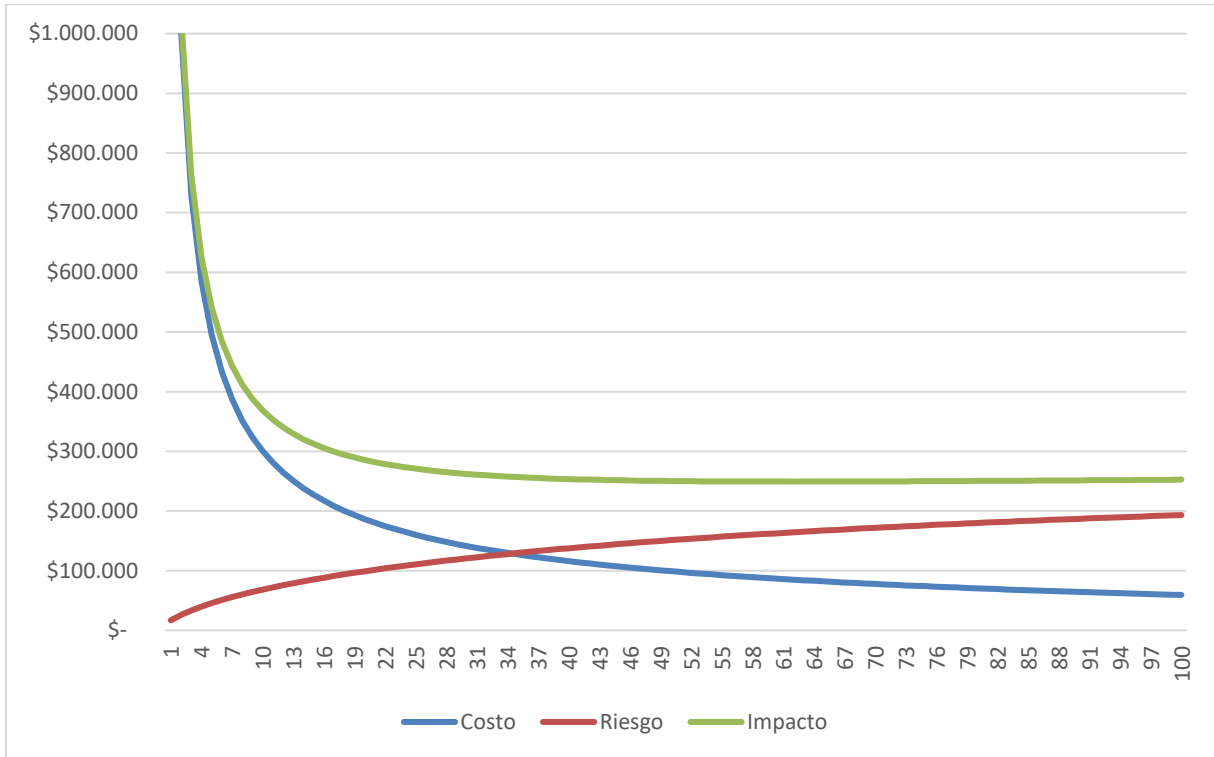


Fuente: elaboración propia

#### 4.6.4. Intercambio óptimo dosificador

El modo de fallo expuesto en el Gráfico 7, corresponde al análisis de riesgo – costo del enroscador, en donde, la curva de impacto logra un valor mínimo a las 62 horas de operación, lo que indica que en ese momento se debe realizar la intervención a la máquina. El costo de realizar una mantención preventiva cada 108 horas alcanza la suma de \$84.992, la cual proviene del costo de repuestos, costos de mano de obra, y costos por no producción, lo que anualmente supondrá un costo de \$8.448.369, siendo la máquina intervenida un total de 100 veces al año. Por otra parte, el riesgo de realizar una mantención del tipo reactiva llega a la suma de \$164.394, la cual se obtiene mediante la suma de los costos asociados al repuesto, mano de obra y paradas de línea, multiplicados por la probabilidad de falla ( $F(t)$ ), la cual, va aumentando en el tiempo.

Gráfico 7: Análisis riesgo - costo dosificador

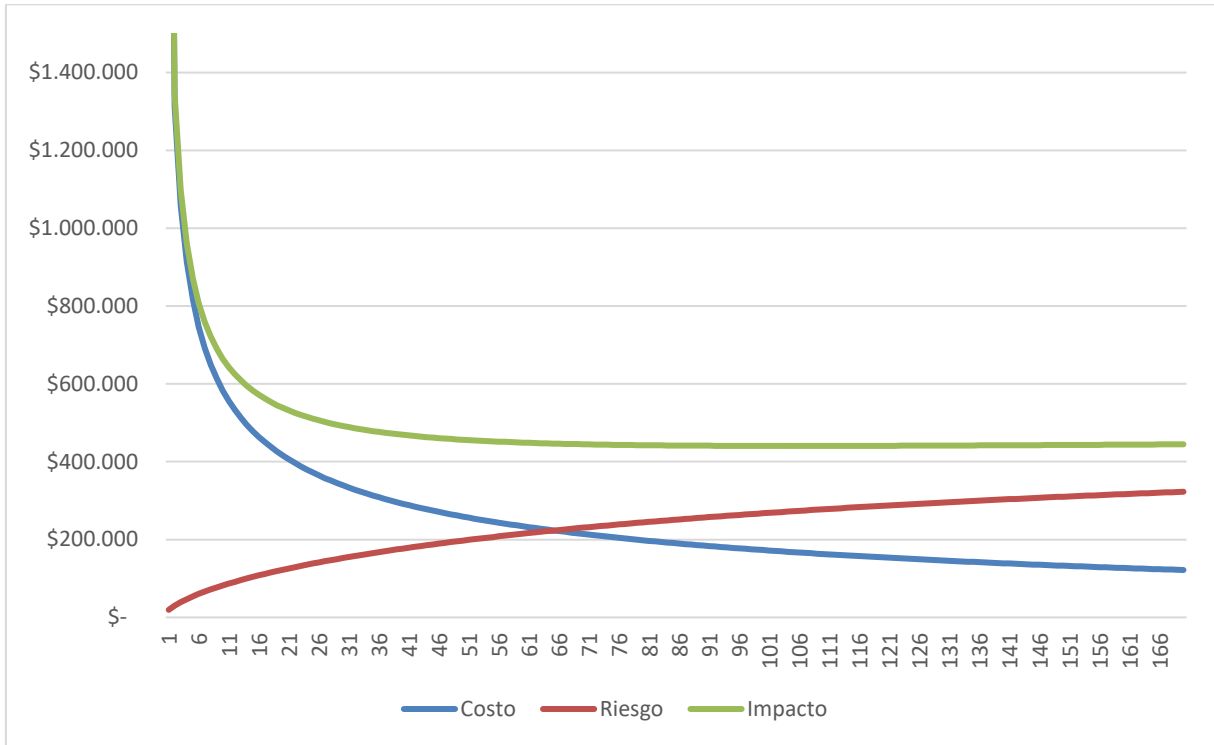


Fuente: elaboración propia

#### 4.6.5. Intercambio óptimo sensor

El modo de fallo expuesto en el Gráfico 8, corresponde al análisis de riesgo – costo de los sensores, en donde, la curva de impacto logra un valor mínimo a las 105 horas de operación, lo que indica que en ese momento se debe realizar la intervención a la máquina. El costo de realizar una mantención preventiva cada 105 horas alcanza la suma de \$167.765, la cual proviene del costo de repuestos, costos de mano de obra y costos por no producción, lo que anualmente supondrá un costo de \$8.376.086, siendo la máquina intervenida un total de 58 veces al año. Por otra parte, el riesgo de realizar una mantención del tipo reactiva llega a la suma de \$272.843, la cual se obtiene mediante la suma de los costos asociados al repuesto, mano de obra y paradas de línea, multiplicados por la probabilidad de falla ( $F(t)$ ), la cual, va aumentando en el tiempo.

Gráfico 8: Análisis riesgo - costo sensores



Fuente: elaboración propia

#### 4.6.6. Resumen intervenciones envasadora Gualapack

En la Tabla 13, se muestra un resumen de los tiempos óptimos de reemplazo para cada fallo detectado y, además, la cantidad de veces que será necesario intervenir la máquina anualmente según cada modo de fallo.

Tabla 13: Resumen tiempos de reemplazo y cantidad anual de reemplazo

Mantenimiento enfocado al fallo	Tiempo de reemplazo (horas)	Cantidad de recambios anuales
Distribuidor de <i>sachet</i>	57	108
Cargador largo/corto	86	72
Enrosador	108	57
Dosificador	62	100
Sensor	105	59

Fuente: elaboración propia

Como existen mantenciones que son cercanas en temporalidad, se propone realizar dichas mantenciones juntas, con el fin de disminuir las paradas de línea, quedando como se observa en la Tabla 14. Si bien, se realizarán mantenciones más seguidas al enrosador y al dosificador,



se estima, junto al jefe de mantenimiento, que estas requieran un 20% menos del tiempo empleado que al hacerlas por separado, beneficiando los tiempos de producción, por otro lado, los costos de mano de obra y repuestos aumentarán al realizar esta mantención más seguida.

**Tabla 14: Propuesta recambio de componentes**

Mantenimiento enfocado al fallo	Tiempo de reemplazo (horas)	Cantidad de recambios anuales
Distribuidor de <i>sachet</i>	57	108
Cargador largo/corto	86	72
Enrosador	105	59
Dosificador	57	108
Sensor	105	59

Fuente: elaboración propia

#### 4.7. Calendario de mantenciones

Como parte de la propuesta de mejora, se realiza la planificación mensual de mantenimiento para un año completo, desde los meses de enero a diciembre, esto se puede observar en la Cabe mencionar que los días feriados y los domingos son excluidos del calendario.

Ilustración 17, Ilustración 18, Ilustración 19, Ilustración 20, Ilustración 21, Ilustración 22, Ilustración 23, Ilustración 24, Ilustración 25, Ilustración 26, Ilustración 27 e Ilustración 28, respectivamente. Cabe mencionar que los días feriados y los domingos son excluidos del calendario.

Capítulo 4: Verificación y estudio de la información

Ilustración 17: Plan mantenimiento enero

ENERO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Distribuidor de sachet					3:00		18:00				3:00		12:00		21:00				6:00		15:00		0:00				9:00		18:00		
Cargador largo/corto						15:00					6:00			21:00						12:00			3:00					18:00			
Enrosador							9:00					18:00						3:00				12:00						9:00		18:00	
Dosificador				9:00			18:00				3:00		12:00		21:00				6:00		15:00		0:00				9:00		18:00		
Sensor							9:00					18:00						3:00				12:00						21:00			

Fuente: elaboración propia

Ilustración 18: Plan mantenimiento febrero

FEBRERO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Distribuidor de sachet		3:00		12:00			21:00			6:00		15:00			0:00			9:00			18:00			3:00		12:00		
Cargador largo/corto	9:00			0:00					15:00				6:00				21:00					12:00					3:00	
Enrosador		6:00					15:00				0:00						9:00					18:00					3:00	
Dosificador		3:00		12:00			21:00			6:00		15:00			0:00			9:00			18:00			3:00		12:00		
Sensor		6:00					15:00				0:00						9:00				18:00						3:00	

Fuente: elaboración propia

Ilustración 19: Plan mantenimiento marzo

MARZO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Distribuidor de sachet	21:00			6:00		15:00			0:00		9:00			18:00				3:00		12:00		21:00			6:00			15:00		0:00	
Cargador largo/corto		18:00				9:00			0:00				15:00						6:00			21:00				12:00					
Enrosador				12:00				21:00					6:00					15:00				0:00						9:00			
Dosificador	21:00			6:00		15:00			0:00		3:00		18:00					3:00		12:00		21:00			6:00			15:00		0:00	
Sensor				12:00				21:00					6:00					15:00				0:00						9:00			

Fuente: elaboración propia

Ilustración 20: Plan mantenimiento abril

ABRIL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Distribuidor de sachet						9:00		18:00				3:00		12:00		21:00				6:00		15:00		0:00				9:00		18:00
Cargador largo/corto	3:00						18:00				9:00			0:00						15:00			6:00					21:00		
Enrosador						18:00				3:00				12:00							21:00							6:00		
Dosificador					9:00		18:00				3:00		12:00		21:00				6:00		15:00		0:00					9:00		18:00
Sensor						18:00						3:00				12:00					21:00							6:00		

Fuente: elaboración propia

Capítulo 4: Verificación y estudio de la información

**Ilustración 21: Plan mantenimiento mayo**

MAYO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Distribuidor de sachet					3:00		12:00			21:00			6:00		15:00			0:00				18:00				3:00		12:00		21:00	
Cargador largo/corto				12:00				3:00				18:00					9:00			0:00				15:00				6:00			
Enrosgador			15:00				0:00					9:00						18:00				3:00				12:00					
Dosificador					3:00		12:00			21:00			6:00		15:00			0:00				18:00				3:00		12:00		21:00	
Sensor			15:00				0:00						9:00					18:00				3:00				12:00					

Fuente: elaboración propia

**Ilustración 22: Plan mantenimiento junio**

JUNIO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Distribuidor de sachet			6:00		15:00			0:00			9:00			18:00			3:00		12:00				21:00			6:00				15:00
Cargador largo/corto	21:00				12:00					3:00				18:00				9:00					0:00						15:00	
Enrosgador	21:00						6:00				15:00						0:00						9:00						18:00	
Dosificador			6:00		15:00			0:00			9:00			18:00			3:00		12:00				21:00			6:00				15:00
Sensor	21:00						6:00				15:00						0:00						9:00						18:00	

Fuente: elaboración propia

**Ilustración 23: Plan mantenimiento julio**

JULIO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Distribuidor de sachet		0:00				9:00		18:00				3:00		12:00			21:00				6:00		15:00			0:00		3:00		18:00	
Cargador largo/corto			6:00				21:00				12:00						3:00			18:00				9:00					0:00		
Enrosgador					3:00			12:00						21:00								6:00				15:00			0:00		
Dosificador		0:00				9:00		18:00				3:00		12:00			21:00				6:00		15:00			0:00		9:00		18:00	
Sensor					3:00			12:00						21:00								6:00				15:00			0:00		

Fuente: elaboración propia

**Ilustración 24: Plan mantenimiento agosto**

AGOSTO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Distribuidor de sachet				3:00		12:00			21:00			6:00		15:00			0:00			9:00			18:00			3:00		12:00		21:00	
Cargador largo/corto			15:00				6:00				21:00					12:00					3:00				18:00				9:00		
Enrosgador					9:00					18:00						3:00					12:00					21:00				6:00	
Dosificador				3:00		12:00			21:00			6:00		15:00			0:00				9:00			18:00		3:00		12:00		21:00	
Sensor					9:00					18:00						3:00					12:00					21:00				6:00	

Fuente: elaboración propia

Capítulo 4: Verificación y estudio de la información

**Ilustración 25: Plan mantenimiento septiembre**

SEPTIEMBRE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Distribuidor de <i>sachet</i>			6.00			15.00		0.00		9.00			18.00							3.00		12.00		21.00				6.00		15.00
Cargador largo/corto	0.00					15.00				6.00			21.00								12.00				3.00				18.00	
Enroscador				15.00					0.00						3.00							18.00						3.00		
Dosificador			6.00			15.00		0.00		9.00			18.00							3.00		12.00		21.00				6.00		15.00
Sensor				15.00					0.00						9.00							18.00							3.00	

Fuente: elaboración propia

**Ilustración 26: Plan mantenimiento octubre**

OCTUBRE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Distribuidor de <i>sachet</i>		0.00				9.00		18.00				3.00		12.00				12.00		21.00					21.00			6.00			
Cargador largo/corto				9.00			0.00					15.00									6.00				6.00				21.00		
Enroscador		12.00					21.00						6.00				6.00					15.00					15.00				
Dosificador		0.00			9.00		18.00			3.00		12.00						12.00		21.00				21.00				6.00			
Sensor		12.00				21.00						6.00					6.00					15.00					15.00				

Fuente: elaboración propia

**Ilustración 27: Plan mantenimiento noviembre**

NOVIEMBRE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Distribuidor de <i>sachet</i>		15.00		0.00				9.00		18.00			3.00			12.00		21.00				6.00		15.00		0.00			9.00	
Cargador largo/corto				12.00					3.00			18.00					9.00				0.00				15.00				6.00	
Enroscador		0.00						9.00				18.00						3.00					12.00					21.00		
Dosificador		15.00		0.00				9.00		18.00			3.00			12.00		21.00				6.00		15.00		0.00			9.00	
Sensor		0.00						9.00				18.00						3.00					12.00					21.00		

Fuente: elaboración propia

**Ilustración 28: Plan mantenimiento diciembre**

DICIEMBRE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Distribuidor de <i>sachet</i>		18.00				3.00			12.00		21.00			6.00		15.00			0.00			9.00					18.00			3.00	
Cargador largo/corto			21.00						12.00				3.00		18.00							9.00				0.00				15.00	
Enroscador			6.00						15.00				0.00						9.00					18.00					3.00		
Dosificador		18.00				3.00			12.00		21.00			6.00		15.00			0.00			9.00				18.00			3.00		
Sensor			6.00					15.00					0.00					9.00					18.00						3.00		

Fuente: elaboración propia

## 4.8. Propuesta de mejora: toma de datos

Mientras se recolectaba información de la línea productiva, específicamente, en la etapa de diagnóstico, se lograron detectar falencias en las planillas de toma de datos, como las ya mencionadas en el apartado 3.4 y 3.5, las propuestas de mejoras para las planillas son descritas a continuación.

### 4.8.1. Planilla de fallas

Para el caso de la planilla de fallas, se propone eliminar información redundante, como lo es tener las columnas de “año”, “mes (Nº)” y “mes”, puesto que, la columna “fecha” abarca toda la información de las otras columnas ya mencionadas. Asimismo, se elimina la columna “¿asociado a una o ambas máquinas?” con el objetivo de generar estadísticas no solo para las envasadoras, sino que, para toda la línea productiva.

Dicho esto, se agregan las siguientes columnas, que serán relevantes para obtener más información de la línea:

- **Hora de inicio de falla:** hora en que comienza la falla en la máquina. Este tiempo es necesario para calcular cuánto dura la falla y, con esto, realizar el cálculo del MTTR y MTBF.
- **Hora término de falla:** hora en que se arregla la falla y la línea puede volver a funcionar con normalidad. Este tiempo es necesario para calcular cuánto dura la falla y, con esto, realizar el cálculo del MTTR y MTBF.
- **Tiempo entre fallas:** tiempo entre que ocurre una falla, se repara y vuelve a ocurrir. Este tiempo es relevante para el cálculo de la confiabilidad.
- **Máquina asociada a la falla:**

Finalmente, para evitar datos duplicados por errores de nomenclatura, se crean listas desplegables para los tipos de máquinas, tipos de modos de fallo, turnos, etc. La planilla final puede verse en el Anexo 4 y, ejemplos de las listas desplegables se observan en el Anexo 5.

#### **4.8.2. Planilla de repuestos**

Por otra parte, para el caso de la planilla de repuestos, solamente se agrega la columna “máquina” que indicará a qué máquina va destinado el repuesto utilizado. Además, se generan listas desplegables para evitar datos duplicados o mal escritos.

# **CAPÍTULO 5: EVALUACIÓN DE IMPACTOS**

*En este capítulo se analiza el impacto económico y ambiental del proyecto, estudiando sus costos, riesgos y beneficios para la empresa.*



## 5.1. Costos

A continuación, se detallan los costos asociados a la implementación de la propuesta de mejora en el plan de mantenimiento de la envasadora Gualapack, con el fin de aumentar la disponibilidad esta.

### 5.1.1. Costos de mano de obra

En la Tabla 15, se observan los costos anuales de mano de obra tanto para la mantención preventiva como para la mantención correctiva, en esta tabla se logra divisar que, al realizar mantenciones correctivas bajo un periodo de tiempo determinado, el costo aumenta en comparación a realizar mantenciones preventivas, esto se debe a que el tiempo requerido para una mantención correctiva es mucho mayor al tiempo requerido para una mantención preventiva.

**Tabla 15: Costos mano de obra**

Modo de fallo	Costo anual mantención preventiva	Costo anual mantención correctiva
<b>Falla distribuidor de sachet</b>	\$343.784	\$723.602
<b>Falla cargador</b>	\$47.407	\$132.445
<b>Falla enroscadores</b>	\$38.664	\$81.066
<b>Falla dosificador</b>	\$29.347	\$94.414
<b>Falla en sensores</b>	\$44.703	\$88.170

*Fuente: elaboración propia*

### 5.1.2. Costos cambio de repuesto

En la Tabla 16, se detalla la diferencia monetaria anual entre los recambios de repuestos periódicos (para el caso de la mantención preventiva) y los cambios de repuestos una vez el equipo falla y deja de funcionar (caso mantenimiento correctivo). Se ve claramente un aumento en el costo de repuestos al realizar mantenciones preventivas, puesto que, estas son realizadas con mayor frecuencia en la nueva estrategia de mantenimiento, la cual, requiere menos tiempo de intervención.

**Tabla 16: Costos asociados al cambio de repuestos**

Modo de fallo	Costo anual mantención preventiva	Costo anual mantención correctiva
<b>Falla distribuidor de <i>sachet</i></b>	\$1.139.024	\$943.854
<b>Falla cargador</b>	\$817.260	\$487.943
<b>Falla enroscadores</b>	\$218.906	\$75.670
<b>Falla dosificador</b>	\$2.246.445	\$1.096.019
<b>Falla en sensores</b>	\$418.484	\$188.142

*Fuente: elaboración propia*

### 5.1.3. Costos parada de línea

Para el costo de las paradas de línea, como se observa en la Tabla 17, hay una notable disminución del valor total para el caso de las mantenciones preventivas, puesto que, conllevan un menor tiempo de parada comparados a la mantención correctiva.

**Tabla 17: Costos paradas de producción**

Modo de fallo	Costo anual mantención preventiva	Costo anual mantención correctiva
<b>Falla distribuidor de <i>sachet</i></b>	\$72.214.952	\$221.465.936
<b>Falla cargador</b>	\$9.869.096	\$27.812.227
<b>Falla enroscadores</b>	\$9.170.646	\$17.026.297
<b>Falla dosificador</b>	\$7.110.153	\$19.917.803
<b>Falla en sensores</b>	\$9.391.776	\$18.519.640

*Fuente: elaboración propia*

### 5.1.4. Costo total mantenimiento preventivo Gualapack

A continuación, en la Tabla 18, se presenta un resumen de los costos totales de mantenimiento preventivo.

**Tabla 18: Costo mantenimiento preventivo envasadora Gualapack**

Modo de fallo	Costo anual de mantención preventiva
<b>Falla distribuidor de <i>sachet</i></b>	\$73.697.890
<b>Falla cargador</b>	\$10.723.983
<b>Falla enroscadores</b>	\$9.477.026
<b>Falla dosificador</b>	\$9.801.814
<b>Falla en sensores</b>	\$9.854.972

*Fuente: elaboración propia*

### 5.1.5. Costo total mantenimiento correctivo Gualapack

A continuación, en la Tabla 19, se presenta un resumen de los costos totales de mantenimiento correctivo que incurre la planta al realizar este tipo de mantenciones.

**Tabla 19: Costos mantenimiento correctivo envasadora Gualapack**

Modo de fallo	Costo anual de mantención correctiva
Falla distribuidor de sachet	\$223.133.393
Falla cargador	\$28.432.667
Falla enroscaduras	\$17.183.034
Falla dosificador	\$21.108.236
Falla en sensores	\$18.795.954

*Fuente: elaboración propia*

### 5.1.6. Otros costos asociados

Se deben considerar costos asociados a la contratación del personal para el respectivo estudio de disponibilidad, confiabilidad y, además, el estudio del recambio óptimo de repuestos, para esto, se considera un estudiante de Ingeniería Civil Industrial o un estudiante de Ingeniería Civil Mecánica, por un periodo de cinco meses, con un sueldo de \$220.000 mensual.

## 5.2. Beneficios

A continuación, se detallan los beneficios percibidos gracias a la implementación de mejoras en la disponibilidad de la línea, específicamente, de la envasadora Gualapack, puesto que, este equipo es el que presenta una disponibilidad promedio por debajo de la disponibilidad objetivo.

### 5.2.1. Disponibilidad de la línea

Uno de los beneficios principales es el aumento de la disponibilidad de la envasadora Gualapack, se estima un aumento de aproximadamente 1,5 puntos en la disponibilidad de la máquina, dando como resultado una disponibilidad promedio de 97,8% al primer año.

Dicho lo anterior, en la Tabla 20, se muestra el cálculo de cómo aumenta la disponibilidad de la envasadora Gualapack, aplicando las nuevas medidas de mantenimiento presentadas en la página 59.

**Tabla 20: Disponibilidad mediante propuesta de mejora**

<b>Criterio</b>	<b>Valor</b>
<b>Tiempo perdido anualmente debido al mantenimiento actual (horas)</b>	229,5
<b>Tiempo perdido anualmente debido a la propuesta de mejora (horas)</b>	135,19
<b>Tiempo disponible anual (horas)</b>	6168
<b>Disponibilidad actual</b>	96,27%
<b>Disponibilidad propuesta de mejora</b>	97,8%

*Fuente: elaboración propia*

### 5.2.2. Producción

Los cambios en la producción quedan definidos gracias al menor tiempo de interrupción de línea de cada mantenimiento preventivo en comparación al tiempo de parada por realizar el mantenimiento una vez el equipo falla. Esto se explica, ya que, al momento de que la falla se presenta en la máquina, se debe determinar qué componente de esta está fallando. Implementar una mejora en el plan de mantenimiento preventivo supondría un ahorro de \$198.895.967 anualmente, por conceptos de producción.

### 5.3. Análisis Costos – Beneficios

Por último, para el análisis costo – beneficios en la tabla Tabla 21, se observa el resumen de los beneficios (ahorros) percibidos por la empresa, en el periodo de un año, al incorporar las nuevas políticas de mantenimiento a la envasadora Gualapack. El ahorro de \$197.463.271 viene

principalmente gracias a la disminución de pérdidas productivas debido al menor tiempo requerido para realizar mantenimiento preventivo.

**Tabla 21: Beneficios mantención preventiva**

Modo de fallo	Costo anual mantención correctiva (CC)	Costo anual mantención preventiva (CP)	Beneficio total (CC – CP)
<b>Falla distribuidor de sachet</b>	\$223.133.393	\$73.697.890	\$149.435.503
<b>Falla cargador</b>	\$28.432.667	\$10.723.983	\$17.708.684
<b>Falla enroscaduras</b>	\$17.183.034	\$9.477.026	\$7.706.008
<b>Falla dosificador</b>	\$21.108.236	\$9.801.814	\$11.306.422
<b>Falla en sensores</b>	\$18.795.954	\$9.854.972	\$8.940.982
<b>Total</b>	\$308.653.284	\$111.190.013	\$197.463.271

Fuente: elaboración propia

## 5.4. Impacto ambiental

Otro de los aspectos relevantes por analizar son los posibles impactos a nivel ambiental del proyecto, dentro de los cuales se hablará de estimaciones en cuanto a la disminución del uso de repuestos.

### 5.4.1. Repuestos

Para analizar la baja en el uso de repuestos, se le consultó al jefe del área de mantenimiento de la empresa, en donde, se llegó a la conclusión que el proyecto podrá suponer una baja en la utilización de repuestos de entre un 10% y 15%, lo que tendrá como consecuencia que la empresa asumirá una menor huella de carbono, puesto que, incurrió en la compra de menos repuestos, por ende, disminuirá la producción de estos. Para calcular un aproximado de cuánto será la disminución en términos de dióxido de carbono, se utilizará como referente el  $CO_2$  producido al elaborar un kilogramo de acero, donde, la equivalencia es  $1kg\ acero = 4kg\ CO_2$  (Lizarralde, 2011).

Dicho esto, se tiene que, en el año 2021, se utilizaron 73 unidades de repuestos para los modos de fallo en estudio, con un peso promedio de 3,32 kilogramos, teniendo en cuenta las

emisiones producidas por 1kg de acero, se tiene lo que se observa en la Ecuación 21, donde el ahorro de emisiones alcanza la suma de 153,3kg de dióxido de carbono.

**Ecuación 21: Huella de carbono**

$$3,53kg \times 73 \text{ unidades} \times 4kg \text{ Co}_2 \times 0,15\% = 153,3kg \text{ Co}_2$$

*Fuente: elaboración propia*

#### **5.4.2. Transporte.**

Por otra parte, otro punto a analizar es el transporte de los repuestos, estos, son pedidos directamente a la sucursal de la empresa vía correo, la empresa se encarga de gestionar el pedido y son traídos desde China, que es donde se encuentran las fábricas. Si bien, se espera una disminución de entre un 10% y un 15% en el uso de repuestos anuales, esto no será significativo para el ámbito del transporte, puesto que, se realizan dos pedidos grandes de repuestos anualmente, donde se abarca todo lo necesario (y extras que pudiesen necesitarse) para la envasadora, por este motivo, el transporte se dará de igual manera, sin importar si se reduce en un 10% o 15% la utilización de estos.

### **5.5. Análisis de sensibilidad**

A continuación, se realiza un análisis de sensibilidad respecto al análisis beneficio-costos del proyecto, específicamente, variando el tiempo utilizado para mantener los equipos de forma preventiva.

#### **5.5.1. Caso uno: disminución del 15% en tiempos de intervención preventiva**

Para el primer caso de análisis de sensibilidad, se tiene una disminución del 15% en el tiempo de intervención preventiva de los equipos, esto afectará directamente a los costos asociados a la producción y, en un impacto con menor significancia, la mano de obra empleada. Se tiene, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, los costos totales asociados a un menor tiempo de reparación, se observa una disminución de costos de mantención debido a que la línea estará detenida por un tiempo menor al pronosticado, logrando un ahorro económico de un 14,3%.

Tabla 22: Costos anuales - Caso 1

Modo de fallo	Costos mantenimiento preventivo	Costos anuales propuesta mejora	Disminución de costos
<b>Falla distribuidor de sachet</b>	\$62.814.065	\$73.697.890	14,8%
<b>Falla cargador</b>	\$9.236.569	\$10.723.983	13,9%
<b>Falla enroscaduras</b>	\$8.094.879	\$9.477.026	14,6%
<b>Falla dosificador</b>	\$8.730.212	\$9.801.814	10,9%
<b>Falla en sensores</b>	\$8.439.497	\$9.854.972	14,4%
<b>Total</b>	\$97.315.222	\$111.335.685	14,3%

Fuente: elaboración propia

### 5.5.2. Caso dos: aumento del 15% en tiempos de intervención preventiva

En el segundo caso, se tiene un aumento del 15% en los tiempos de intervención preventiva de las maquinarias, como se observa en la Tabla 23, los costos asociados aumentaron en comparación al caso base donde, al igual que el caso uno, el tiempo que el operario destina al proceso de mantención, es crucial y linealmente dependiente a los costos totales de la mantención preventiva.

Tabla 23: Costos anuales - Caso 2

Modo de fallo	Costos anuales (15% aumento tiempo de intervención)	Costos anuales propuesta mejora	Aumento de costos
<b>Falla distribuidor de sachet</b>	\$83.047.194	\$73.697.890	12,7%
<b>Falla cargador</b>	\$12.211.397	\$10.723.983	13,9%
<b>Falla enroscaduras</b>	\$10.859.174	\$9.477.026	14,6%
<b>Falla dosificador</b>	\$10.873.415	\$9.801.814	10,9%
<b>Falla en sensores</b>	\$11.270.447	\$9.854.972	14,4%
<b>Total</b>	\$128.261.627	\$111.335.685	15,2%

Fuente: elaboración propia

# CONCLUSIONES

Considerando la información obtenida a través del diagnóstico realizado al área de mantenimiento en Surfrut Ltda., se puede afirmar que, a pesar de que existen instructivos de procesos para realizar los planes de mantenimiento y, junto con esto, los respectivos planes para la línea productiva, ha quedado en evidencia que estos no logran ser suficientes para cumplir con los requerimientos de la línea productiva, afectando la disponibilidad de las maquinarias y, por ende, los tiempos de entrega de los productos a sus respectivos clientes. Bajo esta disyuntiva, surge la necesidad de buscar alternativas de mejora para adaptar o perfeccionar los ya mencionados planes de mantenimiento.

La solución propuesta, plasmada a través de un estudio de confiabilidad y el posterior cálculo de intercambio óptimo de repuestos, permite conocer cuándo se debe intervenir la máquina en estudio generando el mínimo impacto para la empresa, para que de esta forma se mejore la disponibilidad de la línea. Este estudio es capaz de generar el conocimiento necesario sobre qué intervenir y cuándo hacerlo, ayudando en la toma de decisión es para la empresa. Por otra parte, se realiza una propuesta de mejora a las planillas Excel utilizadas por la empresa, con el fin que estas almacenen información de calidad que sirva para generar parámetros relevantes en cuanto a mantenimiento. Asimismo, se crea el manual para aplicar este estudio a otras líneas productivas de la empresa.

También, mencionar el análisis costo – beneficio del proyecto el cual, indica una alta disminución de costos asociados a mantenimiento para la empresa. Realizar mantenciones preventivas a la envasadora Gualapack se traduce en un ahorro de cerca de 200 millones de pesos anuales. Por otra parte, el análisis de impacto económico indica que el proyecto deriva en la no emisión de 153,3 kilogramos de dióxido de carbono, siendo un impacto totalmente positivo, no solo para la empresa, sino que, para el planeta. De esta forma, se concluye que el proyecto es urgentemente necesario para disminuir el desperdicio de efectivo, evitar emisiones y cumplir con los tiempos estipulados de entrega de productos.



Por último, se deben mencionar todos los conocimientos adquiridos a lo largo de este proyecto, dentro de los cuales destacan, claramente, teoría sobre mantenimiento industrial que, a lo largo de los meses que duró esta travesía, pudo ser llevada a la práctica. Además, se logró conocer, desde dentro, cómo funciona la industria, las relaciones entre compañeros de trabajo, los tiempos de respuesta ante imprevistos y un sinnúmero de experiencias logradas gracias al acercamiento que brindó este proyecto con la industria.

# BIBLIOGRAFÍA

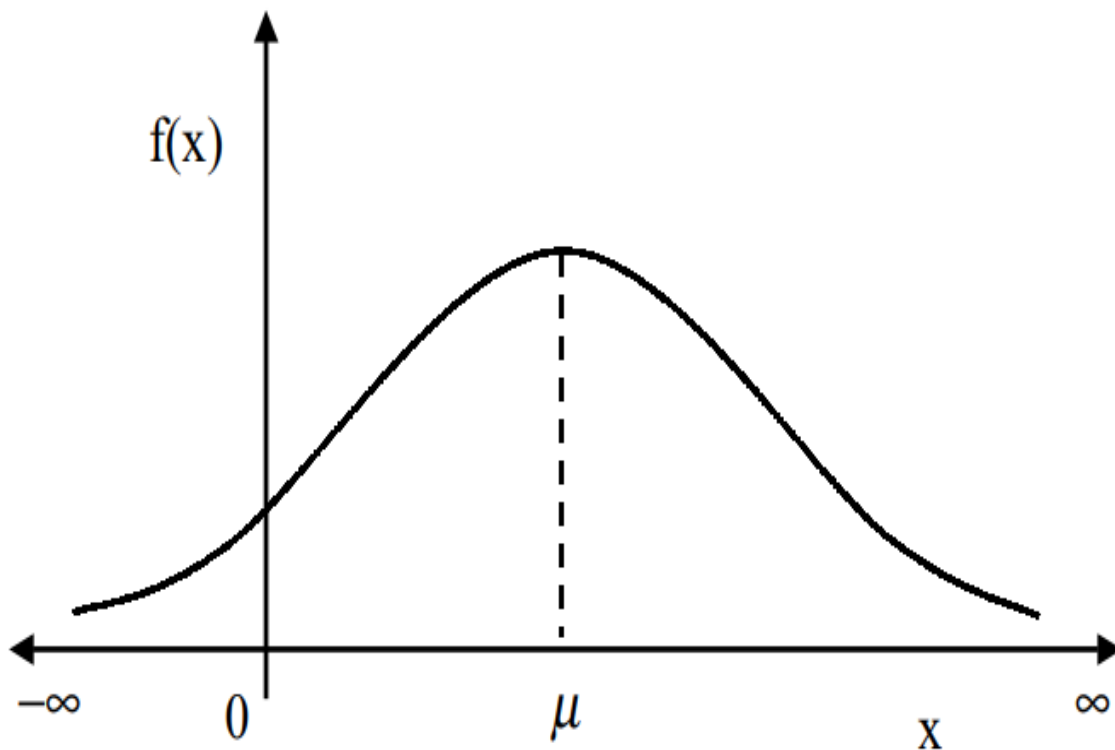
- Alfonso, D. (2010). *Hoshin Kanri - Despliegue e Implementación*. Buenos Aires.
- Arroyo, I., Bravo, L., & Muñoz, F. (2014). *Distribuciones Poisson y Gamma: Una Discreta y Continua Relación*.
- Barajas, A. (2008). *Finanzas para no financistas*. Bogotá: Editorial Pontificia Universidad Javeriana.
- Barrios, E. (3 de Julio de 2019). *Las Distribuciones Gamma y Beta*.
- Carrión, A., & Carot, T. (2004). *Introducción a la fiabilidad*. Valencia.
- Castela, F. (2016). *Mantenimiento Industrial Web*. Obtenido de <https://mantenimientoindustrialweb.wordpress.com/2016/06/14/curva-de-la-banera/>
- Catalán, F. (2017). *ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE CREACIÓN DE EMPRESA DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL EN EL ÁREA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA*. Viña del Mar.
- Dagnino, J. (2014). *La distribución Normal*.
- Devore, J. L. (2008). *Probabilidad y estadística para Ingeniería y Ciencias*. California: Cengage Learning.
- Díaz, P., & Fernández, P. (2001). *La distribución normal*. La Coruña.
- García, Sáez, Palao, & Rojo. (2014). *Otras herramientas de gestión: TQM y BPR*.
- García, T. (2020). *EL FODA: UNA TÉCNICA PARA EL ANÁLISIS DE PROBLEMAS EN EL CONTEXTO DE LA PLANEACIÓN EN LAS ORGANIZACIONES*.
- Ishikawa, K. (1989). *Introduction to Quality Control*.

- Lagos, M. (2013). *El diagrama Causa-Efecto*. Andalucía. Obtenido de <http://148.202.167.116:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1572/Gesti%C3%B3n%20de%20la%20calidad%2C%20la%20seguridad%20y%20el%20medio%20ambiente%20%284%C2%BA%20Organizaci%C3%B3n%20industrial%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Lananne, V. (2018). *Universidad Federico Santa María*. Obtenido de <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/43449/3560900257422UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Lizarralde, I. (2011). *La huella de carbono en materiales de cerramientos y en las empresas fabricantes*.
- Montgomery, D. C. (1996). *Probabilidad y estadística para ingeniería y administración*. México: Compañía editorial Continental, S.A. de C.V.
- Muñoz, B. (2019). *Universidad Carlos de Madrid*. Obtenido de <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/1297/1/RED-70.pdf>
- Ocampo, J., & Pavón, A. (2012). *Integrando la Metodología DMAIC de Seis Sigma con la Simulación de Eventos Discretos en Flexsim*. Panamá City.
- Online Library Of Quality. (2020). *Online Library Of Quality*. Obtenido de <https://www.england.nhs.uk/wp-content/uploads/2021/03/qsir-plan-do-study-act.pdf>
- Peiró, R. (2017). *Economipedia.com*. Obtenido de <https://economipedia.com/definiciones/analisis-pest.html>
- Pérez, F. (2021). *Conceptos generales de la gestión del mantenimiento industrial*. Bucaramanga, Colombia: USTA.

- Ramírez, J. (Diciembre de 2014). *Research gate*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/281529963\\_ANALISIS\\_DE\\_DATOS\\_DE\\_FALLA](https://www.researchgate.net/publication/281529963_ANALISIS_DE_DATOS_DE_FALLA)
- Rincón, L. (2007). *Curso elemental de probabilidad y estadística*. México DF.
- Román, P. (2008). *Cálculo de probabilidades*. Obtenido de [https://www.ugr.es/~proman/Probi/2016\\_2017/PDF/DistribucionesContinuas.pdf](https://www.ugr.es/~proman/Probi/2016_2017/PDF/DistribucionesContinuas.pdf)
- Sapag, N., & Sapag, R. (1991). *Preparación y Evaluación de Proyectos*.
- Sierra, C., & Calvo, E. (2018). *Universidad de Cantabria*. Obtenido de [https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2489/course/section/2495/Mantenimiento\\_2%20.pdf](https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2489/course/section/2495/Mantenimiento_2%20.pdf)
- Surfrut. (2021). *Surfrut*. Obtenido de <https://www.surfrut.com/about-us/index.html>
- Trujillo, G. (26 de Agosto de 2002). *Mantenimiento Mundial*. Obtenido de <http://www.mantenimientomundial.com/notas/lubproact.pdf>
- Velázquez, R. (2020). *Las 4P de la mercadotecnia*. Hidalgo.
- Vergara, R. (Febrero de 2014). La estadística en el mantenimiento y reemplazo óptimo en el control de calidad. México D.F.
- Villagarcía, T. (2014). *Fiabilidad*. Madrid.
- Yañez, M., Perdomo, J., & Gomez de la Vega, H. (2003). *Ingeniería en confiabilidad: Pilar fundamental de mantenimiento*.

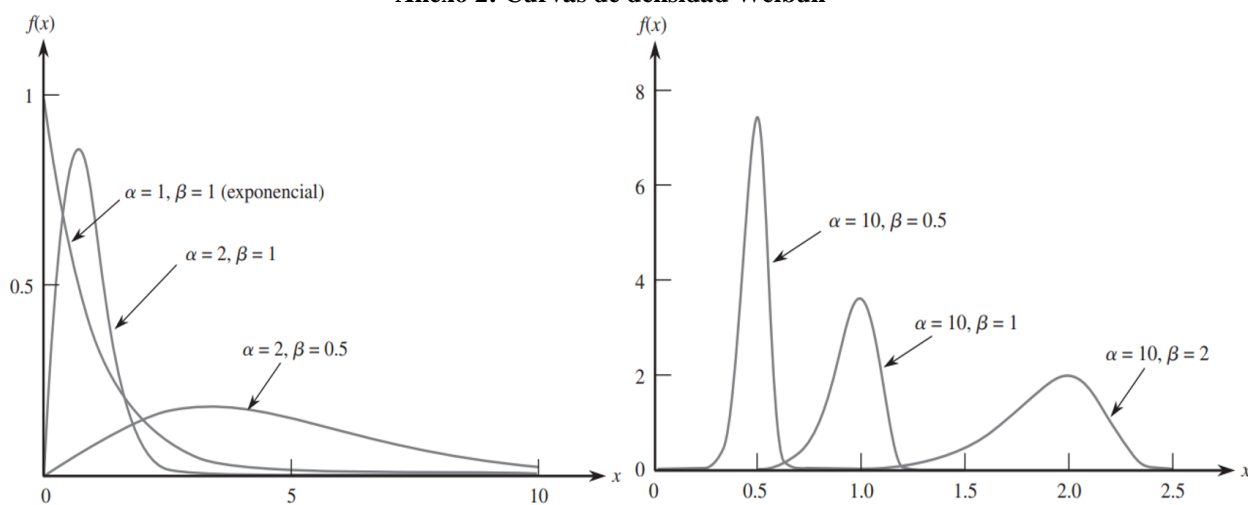
# ANEXOS

## Anexo 1: Campana de Gauss



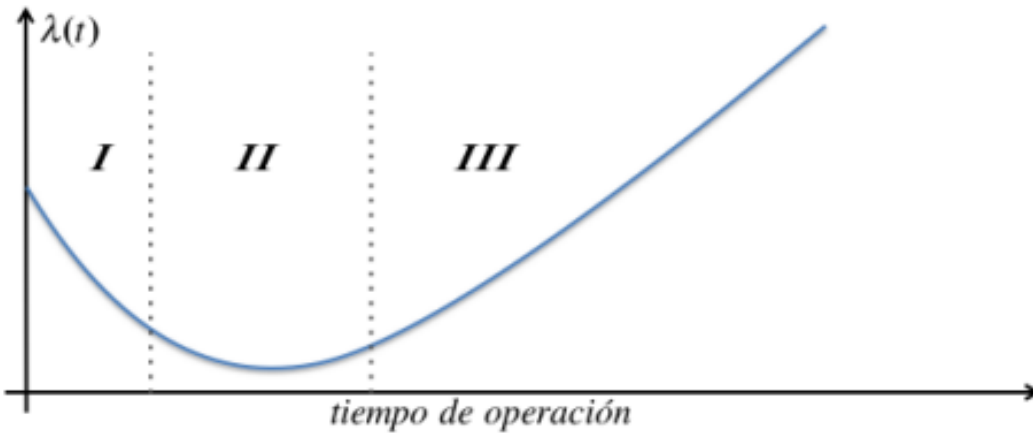
Fuente: (Carrión & Carot, 2004).

## Anexo 2: Curvas de densidad Weibull



Fuente: (Devore, 2008).

**Anexo 3: Curva de la bañera para componentes mecánicos**



Fuente: (Ramirez, 2014).

**Anexo 4: Columnas agregadas planilla toma de datos**

FECHA	DÍAS	TURNO	CÓDIGO DETENCIÓN	MÁQUINA ASOCIADA	HORA INICIO	HORA TÉRMINO	MINUTOS DETENCIÓN	HORAS DETENCIÓN	TIEMPO ENTRE FALLAS
02/11/2021	0	A	8	AMBAS GUALAPACKS	8:00	8:40	40	0,7	40
03/11/2021	1	C	42	GUALAPACK 1	8:30	10:20	110	1,8	1070
04/11/2021	1	B	3	GUALAPACK 2	8:50	10:50	120	2,0	1080
05/12/2021	31	B	81	TUNEL PASTEURIZADOR	10:20	14:10	230	3,8	44390
06/12/2021	1	C	81	TUNEL PASTEURIZADOR	12:10	13:10	60	1,0	1020
15/12/2021	9	C	3	AMBAS GUALAPACKS	15:20	15:30	10	0,2	12490
25/12/2021	10	A	5	MIXER	19:30	22:20	170	2,8	14090

Fuente: elaboración propia

**Anexo 5: Listas desplegables planilla toma de datos**

MÁQUINA ASOCIADA	HO	FAMILIA DETENCIÓN
AMBAS GUALAPACKS		OPERACIONALES
GUALAPACK 1		ASEGURAMIENTO CALIDAD
GUALAPACK 1		ASEGURAMIENTO CALIDAD
GUALAPACK 2		FALLAS MECÁNICAS
AMBAS GUALAPACKS		OPERACIONALES
TUNEL PASTEURIZADOR		FALLAS ELÉCTRICAS
MIXER		GESTIÓN DE PERSONAS
EMPACADO		CODIFICADORA
INTERCAMBIADOR DE CALO		FALLAS SERVICIOS
ENFRIADOR		PLANIFICACIÓN Y CONTROL

Fuente: elaboración propia