

Universidad de Valparaíso
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil Industrial



**Propuesta de diseño de un plan de mantenimiento centrado
en la confiabilidad (RCM) para las líneas de producción L-70,
Flowpack, Doypack I, II y IV, en Empresas Demaria S.A.**

Por

Macarena Ignacia Flores Aravena

Trabajo de Título para optar al Grado de
Licenciado en Ciencias de la Ingeniería y título de
Ingeniero Civil Industrial.

Prof. Guía Augusto Vargas Schüler

Diciembre, 2018

Agradecimientos

Al finalizar este proceso tan importante, me gustaría agradecer a todas las personas que estuvieron incondicionalmente conmigo, en especial a mi familia, mi hermana Valentina y mi mamá Cecilia, por ser las mejores compañeras de vida, y siempre aconsejarme cuando lo necesitaba.

Gracias mamá por todas las buenas decisiones que has tomado en este largo camino, la crianza de un hijo no es fácil y creo que tú lo hiciste de la mejor forma, sin ti nada de esto hubiera sido posible. Gracias por siempre apoyarme y cuidarme.

Gracias Vale, por siempre sacarme más de una sonrisa, te lo he dicho en varias ocasiones, eres la persona con la que más me río y desahogo.

Además, agradecer a mis tías: Tía Tencha, Tía Cristina y Tía Isabel, las cuales han estado siempre presente de diferentes formas en esta hermosa etapa.

A mi pololo Lukas Bergasa por contenerme en todo este proceso tan largo y duro. Gracias amor por siempre estar.

A los profes de la U, por entregarme todos los conocimientos necesarios para poder ejercer como una Ingeniera Civil Industrial. En especial a mi profesor guía que siempre estuvo apoyándome y resolviendo mis dudas.

A mis amigos y amigas por siempre darme ánimo en los peores momentos.

Y para finalizar, nada de esto hubiera sido posible sin el apoyo de los colaboradores del departamento de mantención de Empresas Demaria S.A: Gracias Robert, Mauri, Ale, Carlos A, Carlos V, Rola grande, Rola chico, Julio, Pablo y Luis. ¡El mejor equipo!

Macarena Ignacia

Índice

Glosario	6
Lista de abreviaturas	10
Lista de figuras	11
Lista de gráficos	12
Lista de tablas	13
Lista de diagramas	14
Resumen	15
Abstract	15
Introducción	16
Capítulo 1 “Antecedentes”	17
1.1 Descripción de la empresa	17
1.1.1 Visión	18
1.1.2 Misión	18
1.1.3 Políticas de calidad, seguridad y salud ocupacional de EDSA S.A	18
1.1.4 Antecedentes de la empresa	19
1.1.5 Organigramas	19
1.2 Procesos de la empresa	21
1.3 Selección de los procesos	27
1.4 Descripción de los procesos a estudiar	31
1.4.1 Línea Flowpack	32
1.4.2 Líneas Doypack I, II y IV	33
1.4.3 Línea L-70	36
1.5 El problema	39
1.6 Causas del problema	41
1.6.1 Diagrama de Ishikawa	41

1.6.2 Diagrama de Pareto	43
1.7 Diagrama: Causa -> Problema -> Impacto	45
1.8 Estado del arte	47
1.8.1 Total Productive Maintenance (TPM)	47
1.8.2 Reliability Centred Maintenance (RCM)	48
1.8.3 Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC)	49
1.8.4 Selección de la metodología	50
1.9 Objetivos	52
1.9.1 Objetivo general	52
1.9.2 Objetivos específicos	52
1.10 Limitaciones del estudio	53
Capítulo II “Metodología”	54
2.1 Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)	54
2.1.1 Fase 1: Determinación de indicadores	55
2.1.2 Fase 2: Sistemas, subsistemas y equipos que componen la línea de producción	56
2.1.3 Fase 3: Estudio detallado del funcionamiento del sistema	56
2.1.4 Fase 4: Determinación de fallas funcionales	56
2.1.5 Fase 5: Determinación de los modos de fallas	56
2.1.6 Fase 6: Estudio de las consecuencias de las fallas. Criticidad	57
2.1.7 Fase 7: Determinación de medidas preventivas	57
2.1.8 Fase 8: Agrupación de medidas preventivas	59
2.1.9 Fase 9: Puesta en marcha de las medidas preventivas	59
2.1.10 Fase 10: Evaluación de las medidas adoptadas	59
2.2 En resumen	60
2.2.1 Datos de entrada	60
2.2.2 Supuestos para la aplicación del método	60
2.2.3 Limitaciones	61

2.2.4 Producto final	61
2.2.5 Resultados esperados	61
Capítulo III “Aplicación de la metodología”	63
3.1 Fase 1: Recopilación de antecedentes históricos del objeto de estudio	63
3.2 Fase 2: Determinación y análisis de indicadores de mantenimiento	63
3.3 Fase 3: Identificación de sistemas y subsistemas que componen las líneas de producción	65
3.4 Fase 4: Estudio detallado del funcionamiento del sistema	68
3.5 Fase 5: Determinación de fallas funcionales	73
3.6 Fase 6: Determinación de los modos de fallas	74
3.7 Fase 7: Estudio de las consecuencias de las fallas. Criticidad	76
3.8 Fase 8: Determinación de medidas preventivas	81
3.8.1 Determinación de la frecuencia de las tareas de mantenimiento	81
3.9 Fase 9: Agrupación de medidas preventivas. Elaboración del plan de mantenimiento	82
Capítulo IV “Resultados y análisis”	92
4.1. Cálculo de la rentabilidad del proyecto (peor y mejor escenario)	96
4.1.1 Explicación flujos de caja	97
Conclusiones y recomendaciones	99
5.1. Conclusiones	99
5.2. Recomendaciones	102
Anexos	103
6.1. Encuesta para la selección de procesos	103
6.2. Encuesta para la selección de causas	105
6.3. Medidas preventivas y frecuencia de estas, para cada modo de falla	106

Glosario

“Turno”: Tiempo que tardan en envasar un producto, aproximadamente 6,53 horas.

AP (Ayudante De Producción): Encargado de tareas básicas en la línea de envasado.

AMFEC¹: Análisis de modos de falla, efecto y criticidad, es una metodología que tiene por objetivo identificar los modos de falla que representan un mayor riesgo, para posteriormente seleccionar la mejor tarea de mantenimiento a utilizar, ya sea preventiva, correctiva o predictiva.

Arranque de línea: Tiempo que demoran en iniciar el proceso de envasado.

Calidad²: Conformidad con las especificaciones, adecuación al uso, satisface y supera las expectativas del cliente.

Confiabilidad³: Probabilidad de funcionar sin fallas durante un determinado período, en condiciones específicas.

Costos de mantención⁴: Es el precio pagado por concepto de las acciones realizadas para conservar o restaurar una máquina o equipo a un estado en específico.

Disponibilidad de línea: Se entiende como la posibilidad de que la línea de producción esté lista para operar cuando se necesite. Se ve afectada por las paradas que se producen en el proceso de fabricación como por ejemplo: arranques de máquinas, cambios, averías y esperas.

Disponibilidad⁵: Es la capacidad de un activo o componente para estar operativo con el fin de realizar una función requerida, bajo condiciones dadas, en un instante de tiempo predeterminado, asumiendo que los recursos externos necesarios se han proporcionado.

¹<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14606/1/UPS-CT007176.pdf>

² Luis Seccatore / Carmen Ortiz, “Conceptos de calidad” edición PDF.

³ <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/>

⁴ <https://es.slideshare.net/rasielalain/determinaciondecostosdelmantenimientoyreparacion>

⁵ <http://www.alphamanufacturas.com/confiabilidad-versus-disponibilidad/>

EDSA (Empresas Demaria S.A): Empresa dedicada a la fabricación y distribución de productos de higiene, limpieza y alimentos.

Eficiencia: Lograr las metas establecidas con la menor cantidad de recursos. La eficiencia de cada línea de producción se mide a través del indicador OEE.

EPP (Encargado del Proceso Productivo): Encargado de la línea de producción, el cual asume tareas más complejas, tales como notificar pallets, realizar pedidos, entre otros.

Equipo: Colección de utensilios, instrumentos y aparatos, para un fin determinado. Ejemplo: equipo inyector.

Falla: Defecto que se genera en una máquina o equipo debido diversas causas, tales como el mal uso, antigüedad, falla en la materia prima, entre otros.

Falla operacional: Se consideran los errores del personal de línea.

Film: Si es film stretch, se hace referencia al plástico que se utiliza para paletizar. En caso de referirse a una bobina de film, se entiende como el cilindro de papel enrollado que se utiliza para envasar diferentes productos.

FPF (Fórmula Para Fabricar): Se refiere al producto a envasar. Ejemplo: lavalozza.

Ingreso por venta: Tal como su nombre lo indica, se hace referencia al ingreso monetario que adquiere una empresa u organización por la venta de sus productos.

Insuficiente: Que no cumple con los parámetros establecidos.

Línea de producción: Conjunto de operaciones secuenciales, que buscan fabricar un producto para luego comercializarlo. Se componen de diferentes máquinas y equipos que trabajan de forma vinculada para la fabricación de dicho producto.

Mantenimiento correctivo⁶: Es aquel que se encarga de reparar una falla, la cual se presenta en un momento indeterminado.

Mantenimiento predictivo⁵: Consiste en anticiparse a las posibles fallas de las máquinas y/o equipos.

⁶ <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/mantenimiento/>

Mantenimiento preventivo⁵: Se refiere a un plan, el cual tiene por objetivo evitar la ocurrencia de fallas en las máquinas y/o equipos de las líneas de producción.

Máquina: Conjunto de piezas o elementos móviles y fijos, cuyo funcionamiento permite realizar un trabajo con un fin determinado. Ejemplo: Máquina llenadora.

MTBF (Mean Time Between Failures): Hace referencia al tiempo medio entre fallas, es decir, el promedio de tiempo transcurrido entre una falla y la siguiente.

MTTR (Mean Time Throught Repair): Hace referencia al tiempo medio para reparar, es decir, el tiempo promedio en que se efectúa una reparación.

OEE (Overall Equipment Effectiveness): Indicador encargado de medir la eficiencia general de las máquinas y/o equipos que componen las líneas de producción.

OM (Operador de Máquina): Persona capacitada y encargada de operar las diferentes máquinas de las líneas de producción.

Pan de mantenimiento⁷: Es el conjunto de tareas de mantenimiento programado, agrupadas o no siguiendo algún tipo de criterio, y que incluye a una serie de equipos de la planta.

Pañol: Bodega donde se almacenan los repuestos de las líneas de producción.

PR (Pedido de Reparación): Dentro de la empresa, denominan PR a los pedidos de reparación, los cuales son emitidos por los operadores y llenados por el mantenedor cuando se realiza alguna reparación en la línea de producción.

Productividad⁸: Se entiende como la relación entre la cantidad de productos envasados de cada línea de producción y los recursos utilizados para obtener dicha producción.

RCM (Reliability Centered Maintenance)⁹: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, es un método que permite detectar cuales son las tareas de mantenimiento adecuadas para cualquier activo físico, es decir para cualquier máquina o equipo que componga la línea de producción.

⁷ <http://www.elplandemantenimiento.com/index.php/que-es-un-plan-de-mantenimiento>

⁸ <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/producci%C3%B3n/indicadores-de-producci%C3%B3n/>

⁹ <https://www.gestiopolis.com/rcm-mantenimiento-centrado-en-confiabilidad/>

Rendimiento de línea: Se ve afectado por las micro paradas y la velocidad reducida de las máquinas y/o equipos que componen la línea de producción.

RE-PRO-03 (REgistro de PROducción): Hoja donde los EPP, traspasan toda la información relevante del turno, indicando el nombre de la línea y producto a envasar, fecha, nombres del personal de línea, detenciones, cantidad envasada, entre otros.

Reproceso¹⁰: Acción tomada sobre un producto no conforme, para que cumpla con los requisitos establecidos.

Suficiente: Cumple con los parámetros establecidos.

Tasa de ocupación: Cantidad de personas que opera la línea de producción.

TPM (Total Productive Maintenance)¹¹: Mantenimiento productivo total, es una metodología que busca la máxima eficiencia en las líneas de producción, a través de los siguientes conceptos: prevención, cero defectos, cero accidentes y la participación total de las personas de la organización.

Volumen de producción: Se hace referencia a las líneas de producción que envasan la mayor cantidad de cajas mensuales.

¹⁰ <http://iso9001calidad.com/definicion-de-terminos-586.html>

¹¹ <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/lean-manufacturing/mantenimiento-productivo-total-tpm/>

Lista de abreviaturas

Aprox.: Aproximadamente.

cc: Centímetros cúbicos.

gr: Gramos.

Hrs: Horas.

L: Litros.

Min: Minutos.

ml: Miligramos.

Pág.: Página.

Prod: Productos.

Vs: Versus.

Lista de figuras

Figura 1 - Organigrama general.....	19
Figura 2 - Organigrama Planta de producción.....	20
Figura 3 - Organigrama producción	20
Figura 4 - Matriz de decisión para seleccionar metodología.....	50
Figura 5 - Sistema Chancaca envasado	65
Figura 6 - Subsistema Chancaca envasado.....	66
Figura 7 - Sistema Doypack I, II y IV	66
Figura 8 - Subsistema Doypack I, II, IV	67
Figura 9 - Sistema L-70	67
Figura 10- Subsistema L-70.....	68
Figura 11 - Falla funcionales más comunes	74
Figura 12 - Modos de falla Flowpack	75
Figura 13 - Modos de falla Doypack I, II y IV	75
Figura 14 - Modos de falla L-70	76
Figura 15 - Plan de mantenimiento preventivo diario, Flowpack.....	83
Figura 16 - Plan de mantenimiento preventivo diario, Doypack I, II y IV	84
Figura 17 - Plan de mantenimiento preventivo diario, L-70	85
Figura 18 - Plan de mantenimiento preventivo mensual, Flowpack.....	86
Figura 19 -Plan de mantenimiento preventivo mensual, Doypack I, II y IV	87
Figura 20 - Plan de mantenimiento preventivo mensual, L-70.....	88
Figura 22 - Plan de mantenimiento preventivo semestral, Doypack I, II y IV	90
Figura 23 - Plan de mantenimiento preventivo semestral, L-70.....	91
Figura 24 - Ejemplo de la calendarización de pautas preventivas	100

Lista de gráficos

Gráfico 1- OEE mensual 2016-2017	22
Gráfico 2-Impacto costos de mantención anual “objeto de estudio vs resto planta”.	37
Gráfico 3-Impacto cantidad de fallas más recurrentes “objeto de estudio vs resto planta”. ..	37
Gráfico 4- Impacto tiempo de reparación “objeto de estudio vs resto planta”.	38
Gráfico 5 - Cantidad de PR, por línea de envasado	39
Gráfico 6 - MTBF vs Disponibilidad mecánica, por línea de producción	64
Gráfico 7 - Porcentaje encuesta.....	104

Lista de tablas

Tabla 1 -Rendimiento y disponibilidad de línea, mensual 2016	25
Tabla 2-Rendimiento y disponibilidad de línea, mensual 2017	25
Tabla 3 - Promedio puntaje criterios	28
Tabla 4 - Líneas de envasado según criterios.....	29
Tabla 5 - Datos línea Flowpack.....	32
Tabla 6 - Datos línea Doypack I.....	34
Tabla 7 - Datos línea Doypack II.....	34
Tabla 8 - Datos línea doypack IV	35
Tabla 9 - Datos línea L-70.....	36
Tabla 10 - Análisis del objeto de estudio versus resto de Planta.....	37
Tabla 11 - Ventajas y desventajas del TPM	47
Tabla 12 - Ventajas y desventajas del RCM.....	48
Tabla 13 - Ventajas y desventajas de AMFEC	49
Tabla 14 - Indicadores de mantención (MTBF y disponibilidad)	64
Tabla 15 - Funciones sistema Chancaca envasado	69
Tabla 16 - Funciones sistema Doypack I, II y IV	70
Tabla 17 - Funciones sistema L-70	72
Tabla 18 - Fallas críticas, importantes y tolerables.....	77
Tabla 19 - Efectos de los modos de falla, línea Flowpack	77
Tabla 20 - Efectos de los modos de falla, líneas Doypack I, II y IV	79
Tabla 21 - Efectos de los modos de falla, línea L-70.....	80
Tabla 22 – Fallas a las que pueden aplicarse las tareas de mantenimiento según criticidad	81
Tabla 23 - Comparación situación actual vs situación propuesta	94
Tabla 24–Comparación de los indicadores de mantenimiento de la situación actual vs la situación propuesta.....	95
Tabla 25–Flujo de caja peor escenario	96
Tabla 26 - Indicadores peor escenario	96
Tabla 27 - Flujo de caja mejor escenario	97
Tabla 28 - Indicadores mejor escenario	97
Tabla 29 - Causas jerarquizadas, elaboración diagrama de Pareto	105
Tabla 30 - Medidas preventivas, Flowpack	106

Tabla 31 - Medidas preventivas, Doypack I, II y IV.....	108
Tabla 32 - Medidas preventivas, L-70	109

Lista de diagramas

Diagrama 1 - Líneas de envasado	21
Diagrama 2 - Diagrama de Pareto, según puntaje criterios.....	28
Diagrama 3 - Diagrama de flujo, línea Flowpack.....	33
Diagrama 4 - Diagrama de flujo, líneas Doypack I, II y IV	35
Diagrama 6 - Diagrama de flujo, línea L-70.....	36
Diagrama 7 - Diagrama de Ishikawa	41
Diagrama 8 - Diagrama de Pareto	44
Diagrama 9 - Árbol de la realidad actual (ARA).....	45
Diagrama 10 - Causa - problema - impacto	46
Diagrama 11-Metodología adaptada a EDSA	62

Resumen

En el presente trabajo de título, se muestra el problema principal de Empresas Demaria S.A, que está relacionado con la baja disponibilidad de las líneas de producción. Lo anterior, se debe a la inexistencia de planes de mantenimiento preventivo en la planta de la organización. Para dar solución a este problema, se aplicó la metodología RCM a las cinco líneas de producción consideradas como críticas. Lo anterior con el fin de aumentar la confiabilidad y disponibilidad de la planta de la organización, además de disminuir los costos de mantenimiento en el largo plazo y con esto, aumentar los ingresos de la empresa.

Con la implementación del método, se espera reducir entre un 40% y un 70% la cantidad de fallas anuales, aumentando por ende la disponibilidad, la cual se incrementaría hasta en un 40% aproximadamente.

Palabras clave: Mantenimiento preventivo, líneas de producción, método RCM, confiabilidad, disponibilidad de línea.

Abstract

In the present degree work, it shows the main problem of the Demaria S.A companies, that is related to the low availability of the production lines, this is caused by the non-existence of preventive maintenance plans at the organization plant. So, to give them a solution of this problem, it was applied a RCM methodology to the five production lines that were considered critical. The above was with the purpose of increase the reliability and availability of the organization plant, besides decreasing the maintenance costs in the long term and with that, increase the company income.

With the method implementation, it is expected to reduce between 40% and 70% the amount of annual failures, increasing therefore the availability that would increase until a 40% approximately.

Keywords: preventive maintenance, production lines, RCM method, reliability, line availability.

Introducción

Las líneas de producción son un conjunto de operaciones secuenciales, que buscan fabricar un producto para luego comercializarlo. Constan de diferentes máquinas y equipos que trabajan de forma vinculada para la fabricación de dicho producto. Estas fueron creadas para optimizar los procesos y a la vez los recursos. Además, dentro de las ventajas de las líneas de producción, se busca mejorar la calidad del producto final, reducir errores y costos, aumentar la eficiencia, entre otros, sin dejar de lado la seguridad, ya que esta es la que nos permite una buena productividad.

La eficiencia de las líneas de producción, se mide a través del indicador OEE, el cual considera las pérdidas por disponibilidad, calidad y rendimiento del proceso, los cuales impiden que este indicador sea del 100%.

Este trabajo de título se enfocará en Empresas Demaria S.A, organización dedicada a la fabricación y distribución de productos de higiene y limpieza, además de alimentos. Su Planta de producción cuenta con 14 líneas de envasado, todas lineales.

Actualmente la empresa no ha podido obtener un OEE mensual mayor a un 56%, lo que se considera insuficiente, ya que su meta es llegar a un 70% mensualmente. Por lo anterior se estudian los tres factores que influyen directamente en el indicador (disponibilidad de línea, calidad del producto y rendimiento del proceso), siendo la disponibilidad de línea el factor más preocupante, debido a sus bajos valores. Esta última considera el tiempo total de minutos que se tardan en envasar el producto, menos las detenciones ocurridas durante el turno. Dentro de las detenciones, la más relevante es el tiempo de falla, el cual considera los pedidos de reparación de las diferentes máquinas y/o equipos, ocasionada por la falla de estas mismas, sin considerar ajustes o calibraciones ni errores del personal.

De acuerdo a lo anterior, el problema central de esta memoria, es la baja disponibilidad de maquinaria, afectando a toda la línea de producción. Debido a lo anterior se propone un plan de mantenimiento preventivo, logrando mejorar la disponibilidad de línea y asimismo el indicador OEE de la Planta de producción.

Capítulo 1 “Antecedentes”

Dentro del primer capítulo se expondrán los antecedentes de Empresas Demaria S.A, sus respectivas líneas de envasado y la delimitación de estas, logrando identificar cuáles son las que generan mayor impacto en la Planta de producción. Asimismo, se mostrará el planteamiento del problema con sus respectivas causas e impactos, y con esto se buscará el método más adecuado para este trabajo de título. Finalmente, se definirán los objetivos del estudio como también sus limitaciones.

1.1 Descripción de la empresa

Empresas Demaria S.A fue fundada por la familia Demaria a finales del siglo XIX. Esta, a pesar de estar inserta en el mercado chileno, los dueños mayoritarios siguen siendo la familia llegada desde Italia. Actualmente Stefano Demaria es el gerente general.

Dicha organización se dedica a la fabricación y distribución de productos de limpieza y cuidado del hogar, alimentos enlatados y en conserva, artículos relacionados con el cuidado automovilístico y chancaca. Las marcas que forman parte de esta firma son: Deyco, Arom, Casino, Team, Igenix, Chancaca Deliciosa, Brillina y Virginia.

Esta organización cuenta con nueve departamentos distintos, divididos en dos sucursales, la casa matriz ubicada en Viña del Mar, donde se encuentra la Planta de producción, área de gerencia, abastecimiento, recursos humanos, desarrollo, supply chain y control de gestión, y la oficina comercial, ubicada en Santiago, en la cual se encuentra el área de marketing y ventas. Siendo un total de 350 trabajadores aproximadamente, de los cuales más del 50% son operarios.

La Planta de producción se divide en dos, la Planta de Higiene donde actualmente hay 13 líneas de envasado, y la Planta de Alimento, donde solo se encuentra la línea de Chancaca envasado o Flowpack, debido a que los otros productos del mismo tipo se importan. Siendo un total de 14 líneas de producción, las cuales envasan 145 productos distintos. Estas están compuestas mayoritariamente por máquinas y equipos industriales, logrando producir alrededor del 70% del total de productos vendidos al mes.

Los principales clientes de la compañía, se pueden dividir en dos secciones, los mayoristas y los minoristas, dentro de los últimos encontramos las grandes cadenas de

supermercados, tales como Cencosud, Walmart, Unimarc, y supermercados locales y/o cadenas más pequeñas.

Esta empresa familiar se ha afianzado en el mercado a través de los años, llegando a realizar exportaciones de sus productos a diversos países de América, consolidándose como una de las marcas más importantes con sus productos destinados a la limpieza e higiene del hogar.

1.1.1 Visión

“Liderar el mercado de Higiene y Cuidado del Hogar ofreciendo la solución más completa de Higiene para el Hogar a través de nuestras marcas y productos.”¹²

1.1.2 Misión

“Contribuir con una vida más plena y saludable para nuestros consumidores y sus familias, ayudándolos a vivir en ambientes sanos e higiénicos y a mantener la belleza y limpieza de su vivienda. Buscamos entregar a nuestros consumidores esos beneficios a través de productos de calidad, que respetan el medio ambiente y a un precio accesible. Queremos contribuir a que nuestros clientes desarrollen las categorías en que participamos ofreciendo atractivos niveles de rentabilidad.”⁸

1.1.3 Políticas de calidad, seguridad y salud ocupacional de EDSA S.A

“Empresas Demaria S.A., dedicada a diseñar, desarrollar, producir, comercializar y distribuir productos de higiene y alimento, se compromete a:

- *Satisfacer las necesidades de los clientes y consumidores, entregando productos que cumplan las especificaciones definidas.*
- *Identificar, evaluar y controlar los peligros y riesgos de nuestras actividades para prevenir lesiones y enfermedades profesionales.*
- *Cumplir con los requerimientos legales aplicables y de otros requisitos, relacionados con calidad, seguridad y salud ocupacional.*

¹² <https://demaria.cl/corporativo/quienes-somos/>

Asumimos nuestro compromiso, contando con trabajadores competentes, facilitando los recursos necesarios para lograr el cumplimiento de los objetivos, a través de la mejora continua y el desempeño del sistema de gestión de calidad, seguridad y salud ocupacional.”⁸

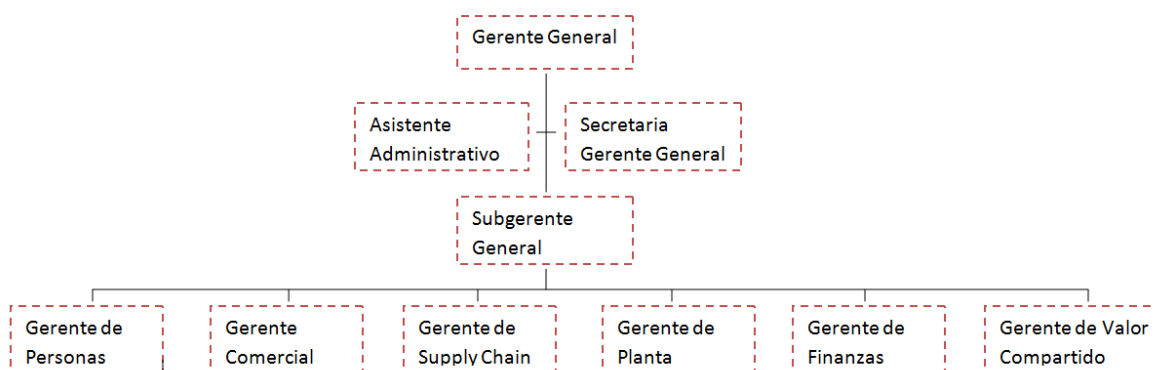
1.1.4 Antecedentes de la empresa

- 📁 Nombre: Empresas Demaria S.A
- 📁 Rut: 90.727.000-9
- 📁 Giro: Fabricación y distribución de productos de higiene.
- 📁 Dirección:
 - Limache 3535, el salto, Viña del mar, Región de Valparaíso.
 - Cordillera 401, Quilicura, Región Metropolitana
- 📁 Dotación: 350 personas aproximadamente.
- 📁 Correo electrónico: demaria@demaria.cl

1.1.5 Organigramas

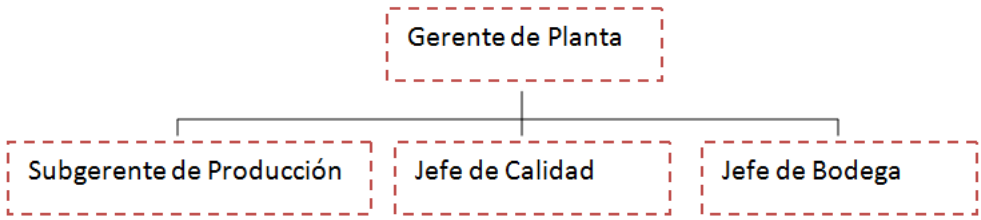
En las figuras 1,2 y 3 se muestran los organigramas correspondientes a la empresa, desde el organigrama general hasta el organigrama de producción, donde se encuentra el departamento de mantención, que es donde se enfocará este trabajo de título.

Figura 1 - Organigrama general



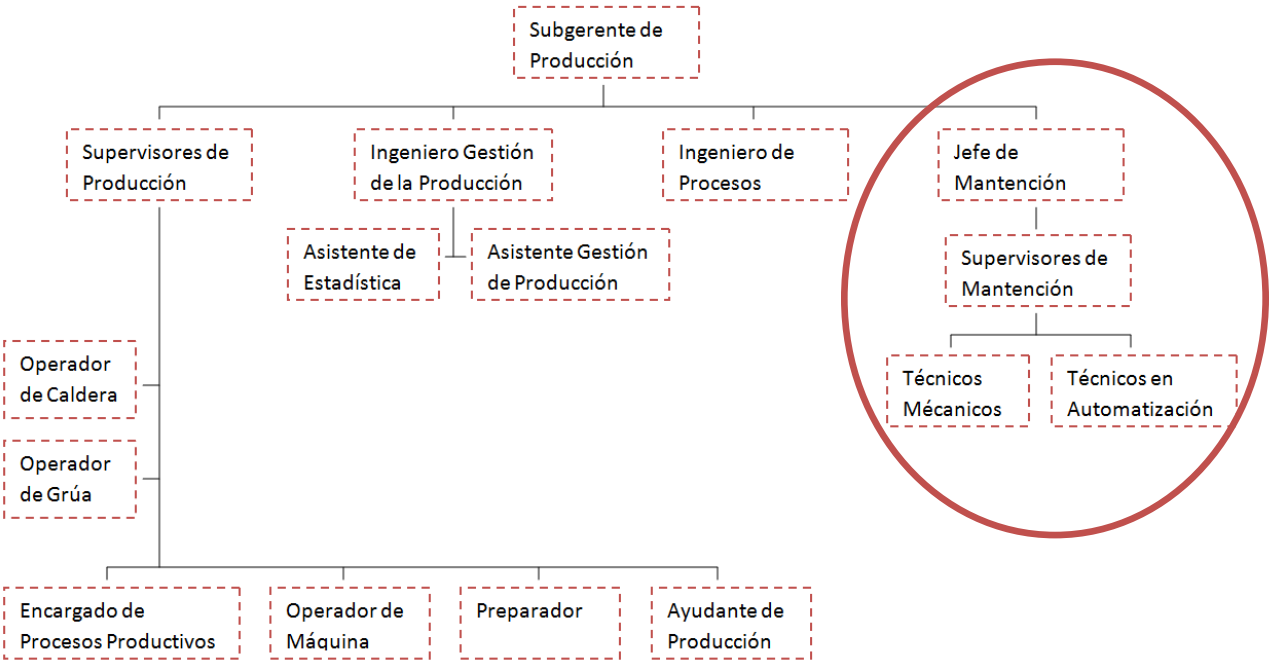
Fuente: Elaboración propia, en base a información facilitada por Empresas Demaria S.A.

Figura 2 - Organigrama Planta de producción



Fuente: Elaboración propia, en base a información facilitada por Empresas Demaria S.A.

Figura 3 - Organigrama producción



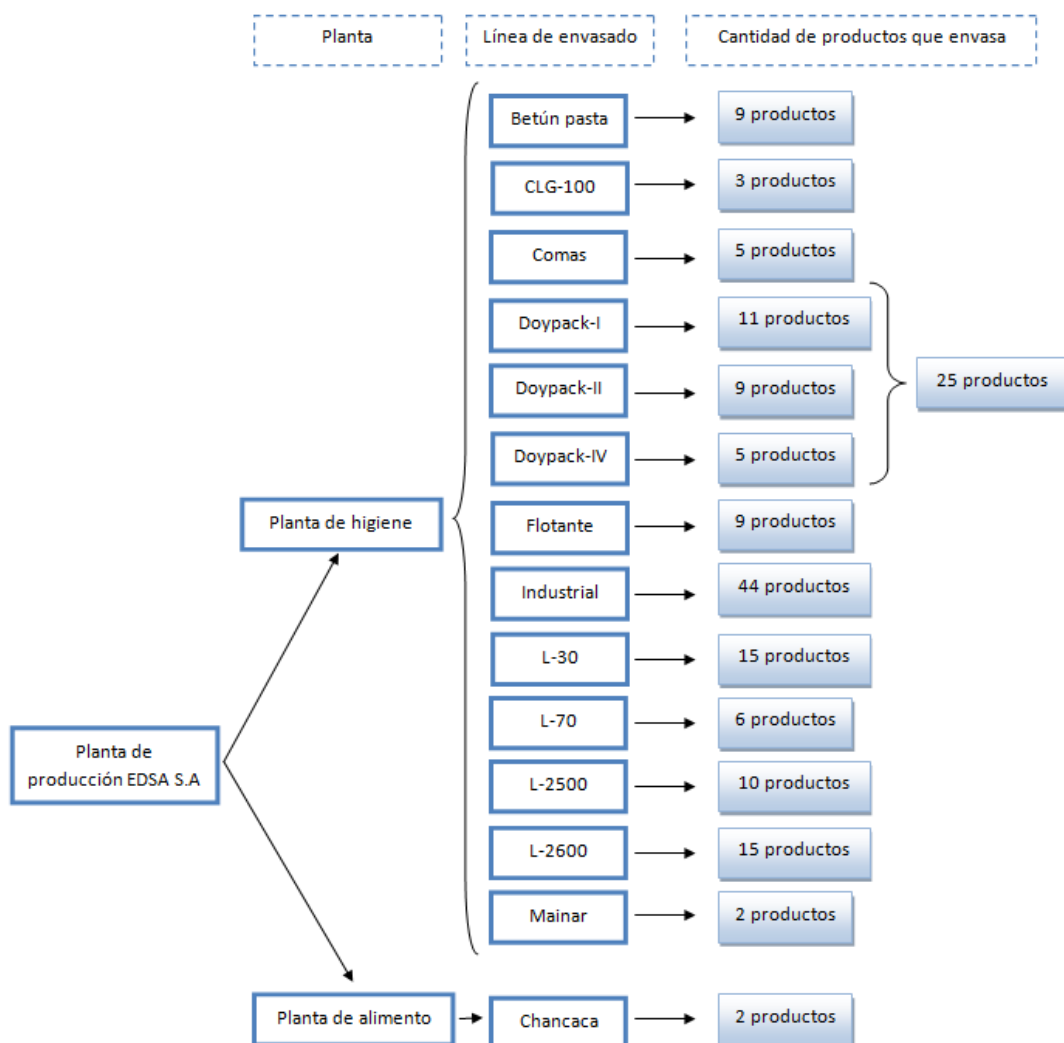
Fuente: Elaboración propia, en base a información facilitada por Empresas Demaria S.A.

Nota: El siguiente estudio se realiza considerando datos históricos desde enero del 2016 hasta diciembre de 2017. Lo anterior, debido a solicitud de la empresa.

1.2 Procesos de la empresa

Como se había mencionado anteriormente, la Planta de producción de la organización cuenta con 14 líneas de envasado, considerando la Planta de higiene y de alimento, las cuales se muestran en el siguiente diagrama, identificando también el número de productos que estas envasan:

Diagrama 1 - Líneas de envasado



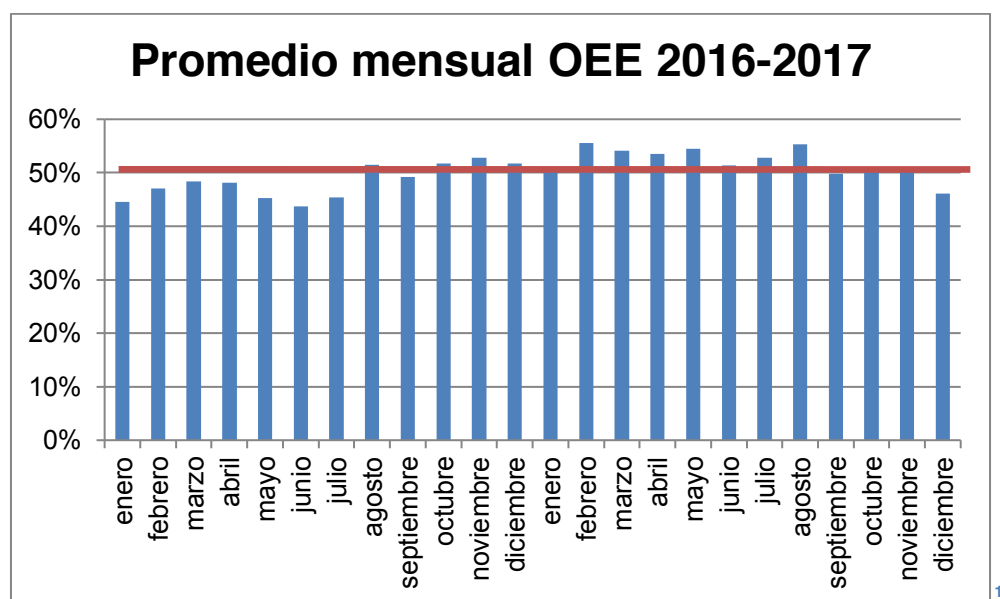
Fuente: Elaboración propia, en base a información facilitada por Empresas Demaria S.A.

Estas líneas envasan un total de 145 productos diferentes, del cual un 20% corresponde a lavalozas, un 19% a cera crema y un 15% a cloro gel. La eficiencia de estas líneas, se mide a través del indicador OEE, el cual considera la calidad del producto, la disponibilidad y el rendimiento de la línea de envasado. Este indicador se mide para cada línea, en cada turno, y además se obtiene el promedio mes a mes, su fórmula se muestra a continuación:

$$OEE = calidad(1) \times disponibilidad \times rendimiento^{13}$$

En el gráfico 1 se muestran los valores del OEE mensual de los años 2016 y 2017.

Gráfico 1- OEE mensual 2016-2017



Fuente: Elaboración propia, en base a datos entregados por Empresas Demaria S.A.

El menor valor del indicador fue en junio del año 2016, con un 43,69%, y su mayor valor un 55,56% en febrero del 2017. Es importante señalar que, desde agosto del año 2016, el indicador OEE se mantuvo sobre el 50% durante un año, recayendo ínfimamente en septiembre del mismo año. Respecto al año 2017, el indicador tuvo una caída los últimos cuatro meses.

¹³ <http://www.sistemasoe.com/oe/85-para-principiantes/89-definicion-oe>

¹⁴ Se utiliza este tipo de gráfico ya que facilita la lectura del indicador OEE, a lo largo de los años 2016 y 2017. NOTA: No se utiliza gráfico de dispersión debido a que no hay correlación entre las dos variables.

La meta de EDSA es llegar a un OEE promedio de 70% mensual¹⁵. Por lo que, en los años 2016 y 2017, el valor del indicador es considerado como insuficiente. En consecuencia, se procede a estudiar uno a uno sus componentes.

Como se mencionó en la pág. 21, recordar:

$$OEE = calidad(1) \times disponibilidad \times rendimiento$$

Respecto a la calidad, la empresa aún no cuenta con medios ni parámetros para medir la misma, por lo que la empresa asume como uno su valor, de esta manera se comprueba que este factor no afecta el valor del indicador OEE. Respecto a la disponibilidad de línea, ésta considera el largo total del turno y sus respectivas detenciones, su fórmula se muestra a continuación:

$$Disponibilidad = \left(\frac{tiempo\ productivo}{tiempo\ disponible} \right) \times 100\%^{16}$$

Con tiempo productivo, se entiende el largo total del turno, menos las detenciones ocurridas durante el mismo. Ejemplo: El turno dura 9 horas, pero hubo 2 horas de detenciones, por lo tanto, el tiempo productivo es de 7 horas. En cambio, con tiempo disponible, se hace referencia al largo total del turno. Utilizando el ejemplo anterior, el tiempo disponible sería de 9 horas, por lo tanto la disponibilidad es de 77,78%, tal como se muestra a continuación:

$$Disponibilidad = \left(\frac{(7hrs)}{(9hrs)} \right) \times 100\% = 77,78\%$$

Debido a lo anterior, se puede señalar que, este factor influye directamente en el indicador OEE. Respecto al rendimiento, este se mide de acuerdo a la producción real versus la capacidad productiva de cada línea, su fórmula se muestra a continuación:

$$Rendimiento = \left(\frac{(producción\ real)}{(capacidad\ productiva)} \right) \times 100\%^{10}$$

Con producción real, se hace referencia a la cantidad real de productos envasados por turno. Utilizando el mismo ejemplo de disponibilidad de línea, se realiza un supuesto, que

¹⁵ Valor determinado por gerencia de planta y gerencia de personas, que al mismo tiempo da derecho a bono a los trabajadores cuando este es alcanzado.

¹⁶ <http://www.sistemasoe.com/oe/85-para-principiantes/98-calculer-oe>

una línea de producción "X" envasó 300 productos/hora, siendo que su velocidad estándar es de 500 productos/hora, lo anterior se debe a posibles detenciones, velocidades reducidas de las máquinas, error del personal de línea, entre otros. Por lo tanto, su producción real es de 2.100 productos/turno, ya que el turno tuvo 7 horas productivas.

Respecto a la capacidad productiva, ésta se refiere a la cantidad de productos por hora que debería haber envasado la línea de producción en el tiempo productivo respectivo, es decir la velocidad estándar de la línea. Siguiendo con el ejemplo anterior, la capacidad productiva de la línea es de 500 productos/hora, es decir 3.500 productos/turno. Por lo que el rendimiento de la línea del ejemplo utilizado es de un 60%, tal como se muestra a continuación:

$$Rendimiento = \left(\frac{\left(\frac{2.100prod}{turno} \right)}{\left(\frac{3.500prod}{turno} \right)} \right) \times 100\% = 60\%$$

A causa de lo anterior, se concluye que este factor también influye directamente en el indicador OEE.

En definitiva, el insuficiente valor del indicador OEE de la Planta de producción de EDSA S.A, se ve afectado por estos dos últimos factores, la disponibilidad y el rendimiento de línea, por lo que se procede a analizar los datos históricos de estos, considerando igualmente los años 2016 y 2017.

Tabla 1 -Rendimiento y disponibilidad de línea, mensual 2016

Mes	Rendimiento (%)	Disponibilidad (%)
Enero	78,71	53,45
Febrero	80,9	53,97
Marzo	72,23	54,65
Abril	87,05	53,72
Mayo	67,73	52,07
Junio	71,82	52,85
Julio	71,13	53,01
Agosto	85,52	58,04
Septiembre	83,26	55,65
Octubre	86,99	55,5
Noviembre	88,24	55,67
Diciembre	83,86	54,69
Total general	79,79	54,44

Fuente: Elaboración propia, en base a datos entregados por Empresas Demaria S.A.

Tabla 2-Rendimiento y disponibilidad de línea, mensual 2017

Mes	Rendimiento (%)	Disponibilidad (%)
Enero	94,67	54,07
Febrero	97,01	57,81
Marzo	83,54	58,44
Abril	89,96	57,99
Mayo	94,1	59,33
Junio	82,74	56,44
Julio	90,87	56,58
Agosto	89,88	60,05
Septiembre	83,77	53,93
Octubre	86,7	53,29
Noviembre	96,02	53,9
Diciembre	79,23	46,89
Total general	89,04	55,73

Fuente: Elaboración propia, en base a datos entregados por Empresas Demaria S.A.

Cabe destacar que el total general de estos factores, es el promedio de los datos.

Como se puede apreciar, el total general del rendimiento de línea del año 2016 equivale a un 79,79%, en cambio, el año 2017 este valor aumenta a un 89,04%, considerándose ambos valores como suficientes, debido a que EDSA espera que el indicador OEE se encuentre sobre un 70% mensual. Incluso el valor más alto es de 97,01%,

seguido por un 95,65%, ambos el 2017. Por lo que el rendimiento de línea junto con la calidad no son un inconveniente para el indicador OEE.

Respecto a la disponibilidad de línea, ésta es considerada como insuficiente, ya que, se obtiene un total general de 54,44% el año 2016 y un 55,73% el año 2017, siendo el valor más alto tan solo de un 60,05% en agosto del 2017.







En conclusión, el factor que impacta de forma significativa en el ineficiente valor del indicador OEE, es la baja disponibilidad de línea, por lo que se procede a estudiar esta misma, con el objetivo de encontrar la causa raíz del problema, y de la misma forma buscar la solución óptima respectiva.

A raíz de lo anterior, es importante mencionar, que con disponibilidad de línea se entiende la posibilidad de que la línea de producción esté lista para operar cuando se necesite, es decir que este factor, solo depende de las detenciones que ocurran en las diferentes máquinas y/o equipos.

1.3 Selección de los procesos

Es importante destacar que este trabajo de título se enfocará en las líneas de producción de la Planta. Esto debido a que las líneas de producción son lineales y cada una de ellas envasa diferentes productos en diferentes formatos, por lo que si falla una máquina o equipo, la línea completa se detiene.

Debido a que la Planta de producción cuenta con 14 líneas de producción, estas se analizarán de acuerdo a diferentes criterios, con el fin de delimitar este estudio, además de dejar en claro cuáles son las líneas de envasado que más impacto tienen, y así también poder dar la mejor solución a cada una de ellas. Los criterios que se utilizarán se acordaron junto al jefe de mantención, tomando en cuenta la situación actual de la Planta de producción, y estos se detallan a continuación:

-  Volumen de producción.
-  Frecuencia de fallas.
-  Costos de mantención.
-  Ingreso por venta.
-  Tasa de ocupación.
-  Tiempo de detención.

Estos criterios se expondrán a los colaboradores del mismo departamento, el cual cuenta con nueve trabajadores, con el fin de seleccionar los criterios más relevantes para ellos respecto a la situación actual de la empresa. Esto se hará a través de una encuesta a expertos, cada uno de los mecánicos otorgará en orden de importancia puntaje del 1 al 6 a cada uno de los criterios, siendo el seis el “más relevante” y uno el “menos relevante”. Los resultados se muestran en la tabla 5.

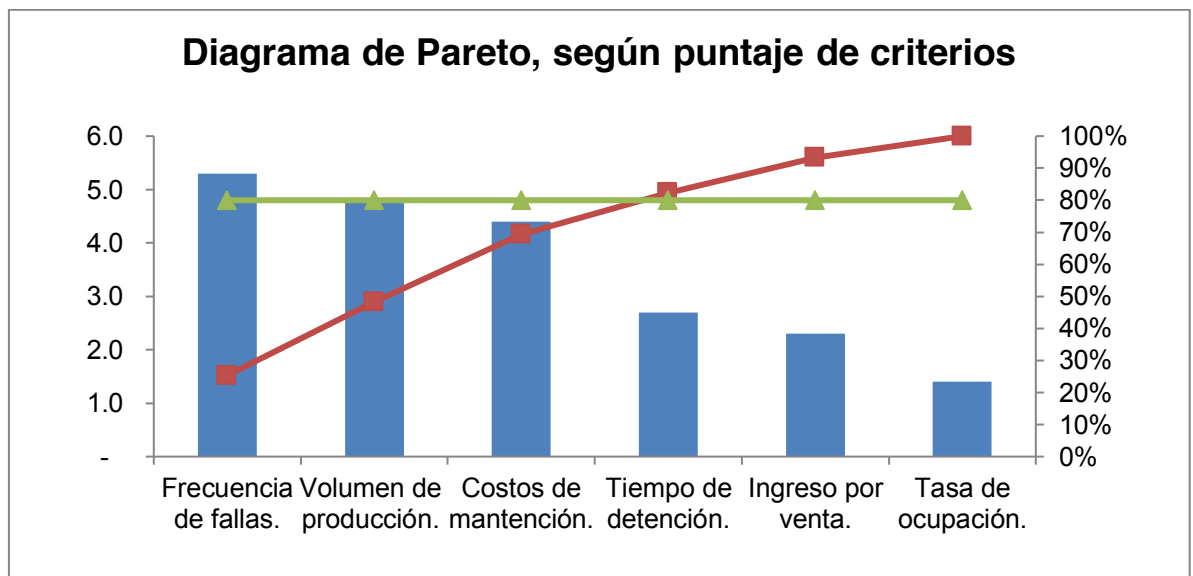
Tabla 3 - Promedio puntaje criterios

Criterios	Promedio puntaje
Volumen de producción.	4,8
Frecuencia de fallas.	5,3
Costos de mantención.	4,4
Ingreso por venta.	2,3
Tasa de ocupación.	1,4
Tiempo de detención.	2,7

Fuente: Elaboración propia, en base a puntaje otorgado por el departamento de mantención.

Para escoger los criterios con los que se trabajará, se elabora un diagrama de Pareto. Ver diagrama 2.

Diagrama 2 - Diagrama de Pareto, según puntaje criterios.



Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en el diagrama de Pareto, los criterios prioritarios, por lo tanto los escogidos son: volumen de producción, costos de mantención, frecuencia de fallas y tiempo de detención, aunque este último no tenga tanta relevancia como los anteriores, se escoge debido a petición del jefe de mantención. La definición de cada uno de los criterios elegidos se muestra a continuación:

- Volumen de producción: Se hace referencia a las líneas de producción que envasan la mayor cantidad de cajas mensuales.
- Costos de mantención: Se refiere a los costos de reparación y de repuestos.
- Frecuencia de fallas: Se entiende la cantidad de detenciones que tiene la línea de envasado por turno.
- Tiempo de detención: Se hace referencia al tiempo promedio que dura cada detención.

Ya escogidos y definidos los criterios con los que se trabajará, se procede a analizar cuáles son las líneas de producción que más impactan de acuerdo a los criterios escogidos, basándose en datos históricos de la empresa, considerando los años 2016 y 2017.

Tabla 4 - Líneas de envasado según criterios

Criterios	Líneas de producción que más impactan (mayor a menor)		
Frecuencia de fallas	L-70 (14 fallas)	Doypack II (12 fallas)	Doypack I (10 fallas)
Volumen de producción	Doypack I (52.000 cajas mensuales)	Doypack IV (34.000 cajas mensuales)	Flowpack (21.000 cajas mensuales)
Costos de mantención.	Flowpack (\$30.000.000)	Doypack I (\$25.000.000)	Doypack IV (\$18.000.000)
Tiempo de detención.	Doypack I (9 hrs)	Doypack IV (8 hrs)	Doypack II (7 hrs)

Fuente: Elaboración propia, en base a datos históricos de EDSA.

En la tabla anterior se muestran las tres líneas de producción que más impacto tienen de acuerdo a ese criterio en particular, con los valores aproximados respectivos.

Por lo que el objeto de estudio se limitará a las siguientes 5 líneas de producción:

- **Flowpack:** Debido a que sus costos de mantención ascienden a \$30.000.000 anuales aproximadamente, y es uno de los productos más demandados por el mercado. Por lo que la detención de esta línea implicaría grandes pérdidas para la empresa.

- **Doypack I y Doypack II:** Se destacan del mismo color ya que estas líneas son idénticas, solo varían los formatos y FPF's que estas envasan. Serán objeto de estudio debido a que mensualmente cuentan con alrededor de 11 detenciones aproximadamente, las cuales tienen una duración aproximada de 9 y 7 horas respectivamente, además sus costos de mantención se encuentran alrededor de los \$25.000.000y \$17.000.000correspondientemente. Es importante señalar también, que la línea Doypack I cuenta con un gran volumen de producción, llegando a incluso a las 52.000 cajas mensuales, aproximadamente.
- **Doypack IV:** Esta línea envasa el producto más demandado de la empresa, llegando a envasar 34.000 cajas mensuales aproximadamente, por lo que la detención de esta, es significativa para la organización. Esta línea cuenta con 8 fallas promedio mensuales y su tiempo promedio de detención es de 8 horas aproximadamente, además sus costos de mantención ascienden cercano a los \$18.000.000 de pesos.
- **L-70:** Ya que es la línea de envasado que más frecuencia de fallas tiene, llegando incluso a14 detenciones mensuales promedio, y cada una de ellas con una duración de 4 horas aproximadamente, sin embargo, sus costos de mantención anuales se mantienen en \$1.600.0000 promedio.

De la tabla 6 y su posterior análisis, se entiende entonces que el objeto de estudio queda limitado a las 5 líneas de producción mencionadas anteriormente, ya que estas son las que más impactan de acuerdo a los criterios anteriormente seleccionados.

1.4 Descripción de los procesos a estudiar

Luego de delimitar el objeto de estudio, se procede a estudiar cada una de las líneas de envasado en detalle.

Cabe destacar que todas las líneas de producción de la Planta son lineales, asimismo todas cuentan con una tolva de traspaso al comienzo de la línea, la cual es la encargada de almacenar el FPF, controlando las diferencias de presión que se podrían producir al succionar directamente desde el estanque de preparación, con la ayuda de sensores a través de una bomba, logrando proveer la línea de producción y asimismo controlar el llenado de la tolva.

Se mostrarán los datos más relevantes de cada línea, los cuales se obtuvieron a través de datos históricos de los años 2016 y 2017. Dentro de los datos de cada línea, se encuentran los siguientes criterios:

- Formato: Se indican los tipos de formatos que envasa la línea.
- Año de fabricación: Año en el cual la línea completa se fabricó.
- Rendimiento: Se muestra la cantidad de envases por hora que es capaz de producir la línea de producción, dependiendo del formato.
- Limpieza de máquinas: Lugar donde se muestra con qué se deben limpiar las máquinas y/o equipos que componen la línea, además de su frecuencia de limpieza. Esta información se obtiene del manual de cada una de las líneas.
- Costos de mantención anual: Se refiere a los costos de reparación y de repuestos de una línea en particular, en el periodo de un año.
- Cantidad promedio de fallas mensuales: Número que considera el promedio de fallas de máquinas y/o equipos más frecuentes, sin considerar los errores del personal de línea, ni otras detenciones.
- Tiempo promedio de reparación mensual: Se indica el tiempo promedio mensual, en horas, que demora la reparación de alguna máquina o equipo en particular, en relación a las fallas más frecuentes que ocurren en la línea.

- Porcentaje de FPF que sale: Se refiere al porcentaje de FPF que sale de la línea de producción, respecto al 100% del FPF que entra a la línea de producción. Cuando este valor es del 100%, se entiende que el porcentaje de FPF que se perdió, pasa a reproceso. Es decir, se consideran las mermas mensuales de FPF promedio de los años 2016 y 2017.
- Costo aproximado de merma mensual: Se indica la cantidad de pesos chilenos perdidos debido a esa merma en particular, considerando los años 2016 y 2017.

Los datos que se muestran en las siguientes tablas, se obtienen de un archivo que maneja el departamento de mantención, donde se encuentran los PR más frecuentes, mostrando también su tiempo de reparación, los costos de mantención, entre otros. Es de ahí, donde se sacan los promedios mostrados en las tablas 5, 6, 7, 8 y 9.

1.4.1 Línea Flowpack

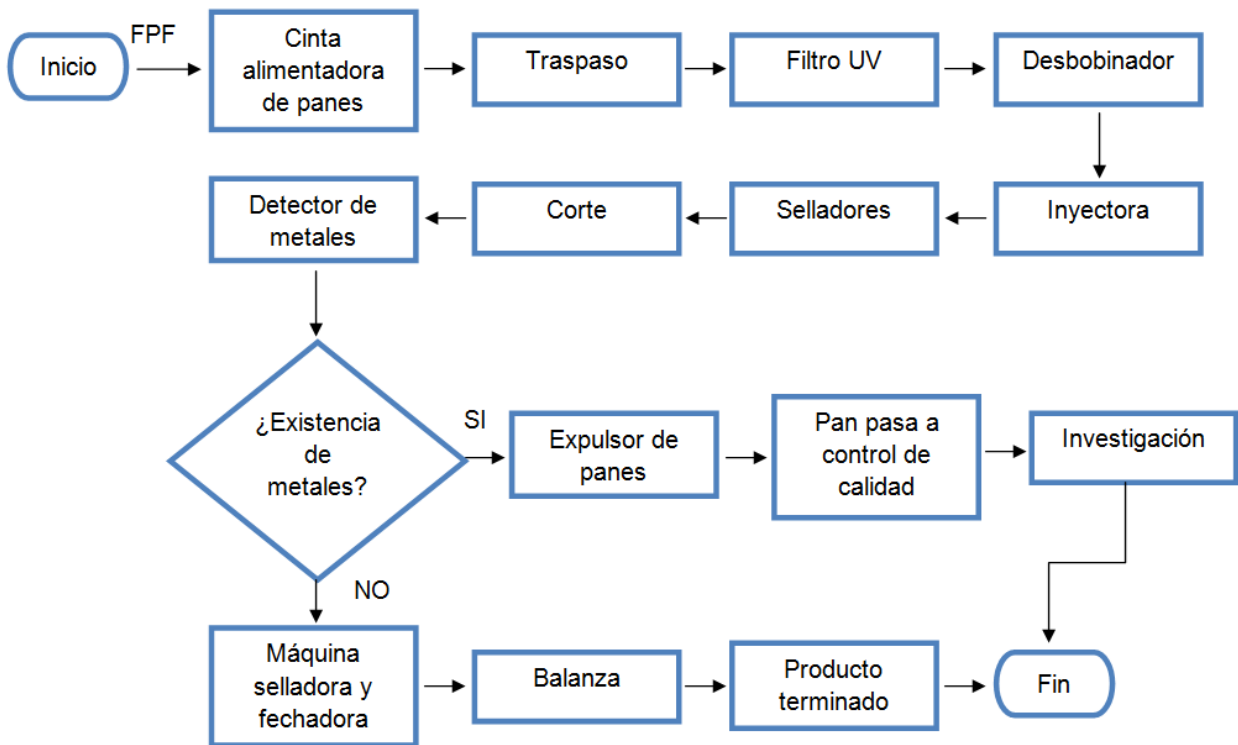
Envasa panes de chancaca, en dos formatos diferentes.

Tabla 5 - Datos línea Flowpack

Datos	Flowpack	
Formatos	225gr	450gr
Año de fabricación	2001	
Rendimiento	3.720 envases/hora	2.220 envases/hora
Limpieza máquinas	Una vez a la semana se limpia la línea, con agua caliente, lavalozza y cloro.	
Costos de mantención anual	\$30.000.000 promedio.	
Cantidad promedio de fallas mensuales	7 fallas.	
Tiempo promedio de reparación mensual	6 hrs.	
Porcentaje de FPF que sale	94%.	
Costo aproximando de merma mensual	\$2.000.000	

Fuente: Elaboración propia, en base a datos entregados por Empresas Demaria S.A.

Diagrama 3 - Diagrama de flujo, línea Flowpack



Fuente: Elaboración propia, en base a datos entregados por Empresas Demaria S.A.

1.4.2 Líneas Doypack I, II y IV

- 🚧 Doypack I: Envasa solo cera crema para pisos, en colores rojo, amarillo, tierra color e incoloro, en dos formatos diferentes.
- 🚧 Doypack II: Envasa cera autobrillo, cera líquida, limpiador piso flotante, abrillantador piso flotante y lavalozas, en dos formatos diferentes.
- 🚧 Doypack IV: Envasa lavalozas en dos aromas diferentes y en dos formatos distintos.

Es importante destacar que estas líneas de envasado cuentan solo con una máquina principal, a la cual se le llama “envasadora doypack”, y ésta por dentro contiene los demás componentes.

Tabla 6 - Datos línea Doypack I

Datos	Doypack I	
Formatos	360cc	530cc
Año de fabricación	2000	
Rendimiento	4.320 envases/hora	3.000 envases/hora
Limpieza máquinas	Este proceso se realiza cuando se pasa de cera oscura a cera clara, a través aguarrás a alta temperatura.	
Costos de mantención anual	\$25.000.000 promedio.	
Cantidad promedio de fallas mensuales	10 fallas.	
Tiempo promedio de reparación mensual	9 hrs.	
Porcentaje de FPF que sale	99%	
Costo aproximando de merma mensual	\$600.000	

Fuente: Elaboración propia, en base a datos entregados por Empresas Demaria S.A.

Tabla 7 - Datos línea Doypack II

Datos	Doypack II	
Formatos	400ml	450 ml
Año de fabricación	2000	
Rendimiento	3.000 envases/hora	3.120 envases/hora
Limpieza máquinas	Este proceso se realiza cuando se cambia de FPF a envasar, a través de agua caliente.	
Costos de mantención anual	\$17.000.000 promedio.	
Cantidad promedio de fallas mensuales	12 fallas.	
Tiempo promedio de reparación mensual	7 hrs.	
Porcentaje de FPF que sale	99%	
Costo aproximando de merma mensual	\$200.000	

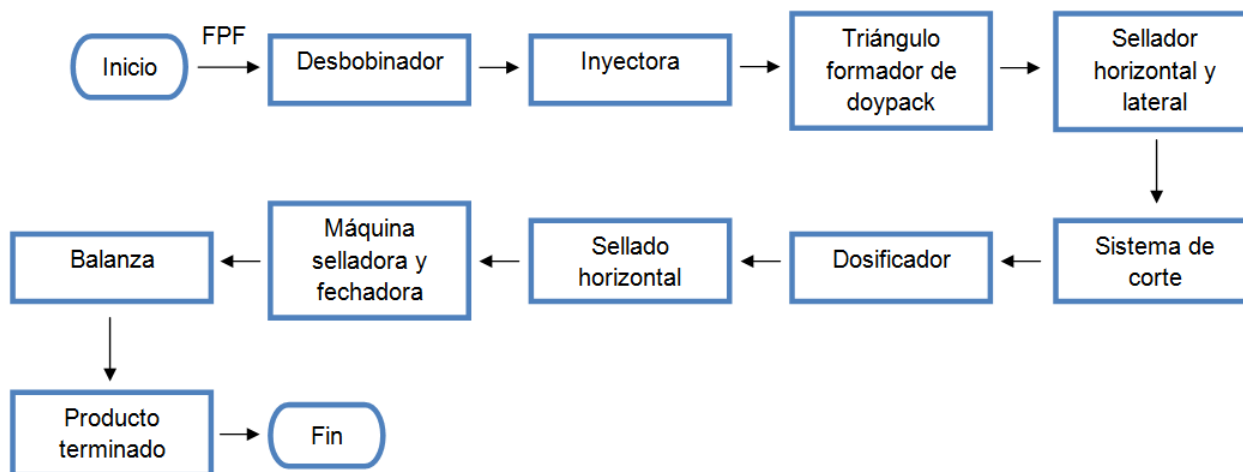
Fuente: Elaboración propia, en base a datos entregados por Empresas Demaria S.A.

Tabla 8 - Datos línea doypack IV

Datos	Doypack IV	
Formatos	1L	1,5L
Año de fabricación	2015	
Rendimiento	2.340 envases/hora	1.920 envases/hora
Limpieza máquinas	Este proceso se realiza cuando se cambia de aroma, ya que cuando se cambia de formato solo se ajustan las máquinas, la limpieza se realiza a través de agua caliente o aire, dependiendo del FPF a envasar.	
Costos de mantención anual	\$17.000.000 promedio.	
Cantidad promedio de fallas mensuales	8 fallas.	
Tiempo promedio de reparación mensual	8 hrs.	
Porcentaje de FPF que sale	99%	
Costo aproximando de merma mensual	\$130.000	

Fuente: Elaboración propia, en base a datos entregados por Empresas Demaria S.A.

Diagrama 4 - Diagrama de flujo, líneas Doypack I, II y IV



Fuente: Elaboración propia, en base a datos entregados por Empresas Demaria S.A.

El diagrama de flujo es igual para las tres Doypack, debido a que el FPF pasa por los mismos procesos, la diferencia se encuentra en que la Doypack IV incluye el corte troquel en el sistema de corte, además de ser una máquina nueva, por lo tanto más moderna.

1.4.3 Línea L-70

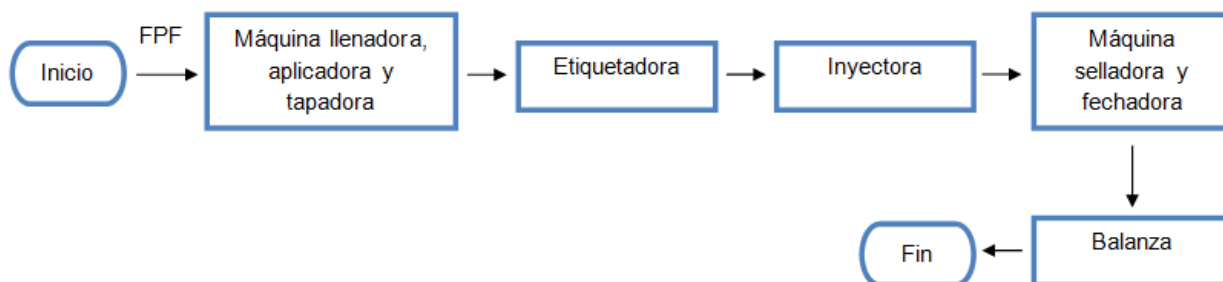
Envasa betún líquido negro, café e incoloro, además de envasar renovador líquido blanco. Todo lo anterior en un solo formato.

Tabla 9 - Datos línea L-70

Datos	L-70
Formato	60ml
Año de fabricación	1997
Rendimiento	3.660 envases/hora
Limpieza máquinas	Este proceso se realiza cuando se cambia de un color más oscuro a uno claro, a través de agua caliente y removedor de cera. En caso de hacer cambio de formato a renovador (producto blanco), se debe desarmar la tolva de traspaso y la máquina llenadora.
Costos de mantención anual	\$1.600.000 promedio.
Cantidad promedio de fallas mensuales	14 fallas.
Tiempo promedio de reparación mensual	4 hrs.
Porcentaje de FPF que sale	94%
Costo aproximando de merma mensual	\$400.000

Fuente: Elaboración propia, en base a datos entregados por Empresas Demaria S.A.

Diagrama 5 - Diagrama de flujo, línea L-70



Fuente: Elaboración propia, en base a datos entregados por Empresas Demaria S.A.

Después de haber analizado en detalle las 5 líneas de producción en estudio, se obtiene la siguiente tabla:

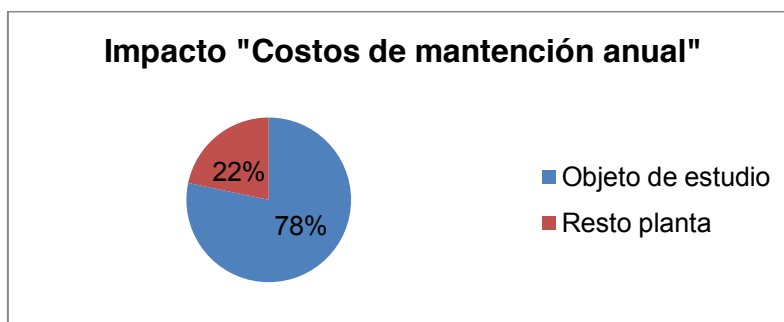
Tabla 10 - Análisis del objeto de estudio versus resto de Planta

	Costos de mantención anual	Cantidad de fallas anuales	Tiempo de reparación anual (hrs)
Objeto de estudio	\$81.575.000	580	391,73
Resto Planta	\$22.625.000	413	328,03

Fuente: Elaboración propia, en base a datos entregados por Empresas Demaria S.A.

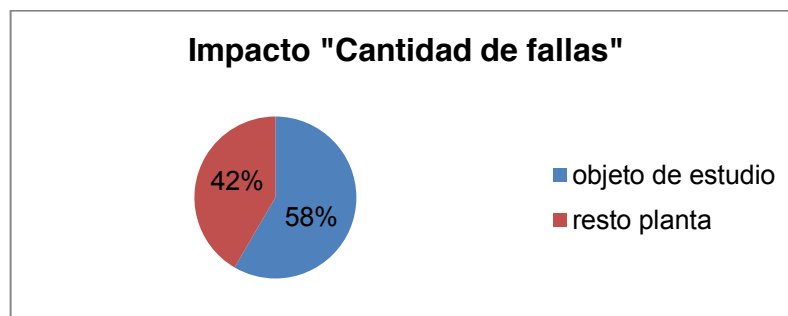
De la tabla 10, se desprenden los gráficos 2, 3 y 4. Donde se muestra el impacto del objeto de estudio versus el resto de la planta, de acuerdo a las dimensiones mostradas anteriormente.

Gráfico 2-Impacto costos de mantención anual "objeto de estudio vs resto planta".



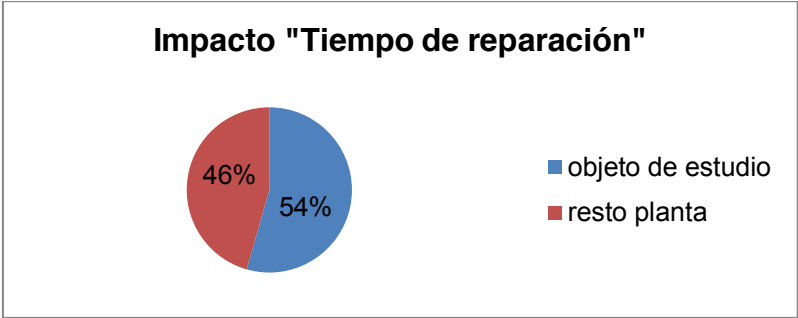
Fuente: Elaboración propia, en base a la tabla 10.

Gráfico 3-Impacto cantidad de fallas más recurrentes "objeto de estudio vs resto planta".



Fuente: Elaboración propia, en base a la tabla 10.

Gráfico 4- Impacto tiempo de reparación "objeto de estudio vs resto planta".



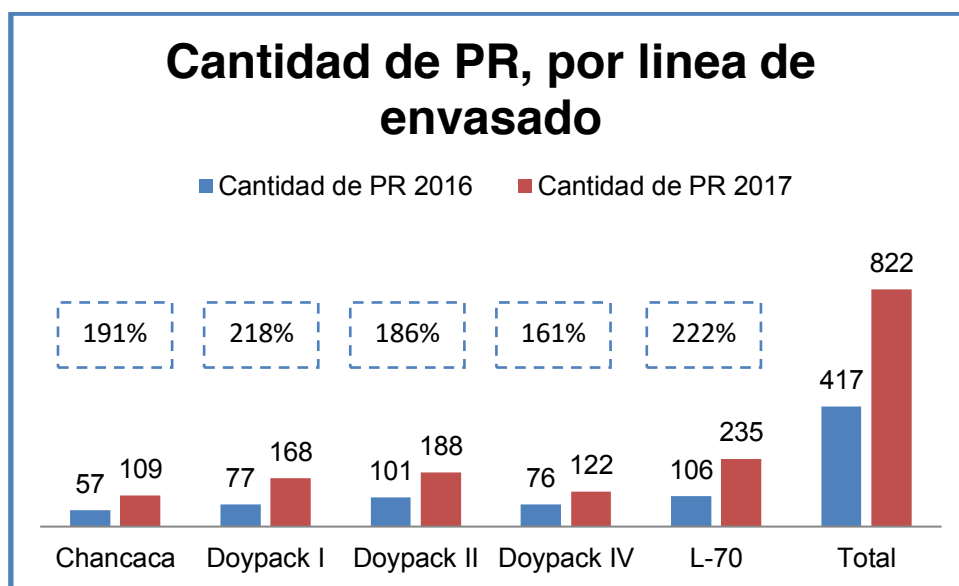
Fuente: Elaboración propia, en base a la tabla 10.

Como se puede apreciar en los gráficos 2, 3 y 4, el objeto de estudio impacta de manera significativa en relación al resto de la Planta, teniendo en cuenta que solo se seleccionaron 5 de las 14 líneas de producción, por lo que nuevamente se puede confirmar que el objeto de estudio está perfectamente delimitado.

1.5 El problema

Es necesario analizar los pedidos de reparación (“PR”) de cada una de las líneas de envasado seleccionadas, considerando los años 2016 y 2017, los datos se muestran en el gráfico 5.

Gráfico 5 - Cantidad de PR, por línea de envasado



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en el gráfico 5, la cantidad de reparaciones, es decir la cantidad de fallas, aumentó en un 197% entre el año 2016 y 2017, siendo la L-70, la línea con mayor porcentaje de aumento entre ambos años, llegando a un 222%, seguida por la línea Doypack I con un aumento de un 218%.

Consecuentemente, queda en evidencia que el problema recae en la disponibilidad de línea, y como se mencionó anteriormente, el único factor que impacta sobre la disponibilidad, son las detenciones provocadas por las fallas que ocurren en las diferentes máquinas y/o equipos, logrando detener la línea de producción completa. En consecuencia, se debe mejorar el tiempo productivo de cada una de las líneas de producción, es decir disminuir las detenciones de línea a través de un plan de mantenimiento preventivo.

En resumen, el problema:

“Baja disponibilidad de las líneas de producción.”

Se entiende baja disponibilidad de línea, ya que del 100% del tiempo que debería estar disponible la línea de producción para operar, solo está disponible el 55% del tiempo aproximadamente. Cabe recordar que ese 45% del tiempo que no está disponible la línea, se debe exclusivamente a detenciones de la línea de envasado, estas detenciones se deben a diferentes causas, las cuales se estudiarán en el próximo apartado. Cabe recordar que las líneas de producción se componen de diferentes máquinas y equipos que trabajan de forma vinculada para la fabricación algún producto en particular.

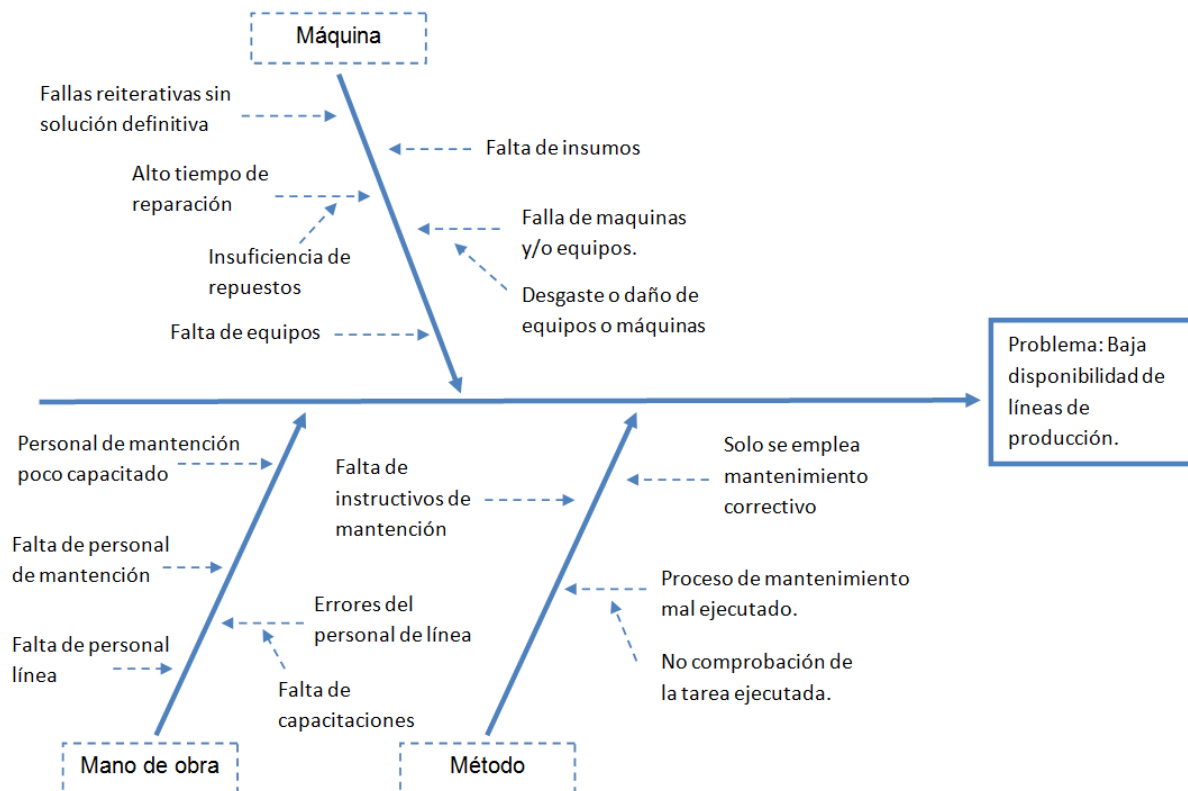
1.6 Causas del problema

Una vez identificado el problema, es necesario buscar las causas que lo provocan, y asimismo poder buscar una solución. Para esto se trabajará con los diagramas de Ishikawa y Pareto. Ambos métodos se llevaron a cabo gracias a una lluvia de ideas y una encuesta a expertos al departamento de mantenimiento y a los EPP de cada una de las 5 líneas en estudio.

1.6.1 Diagrama de Ishikawa

Las dimensiones a utilizar en el diagrama de Ishikawa, se definieron junto al jefe de mantenimiento y los dos supervisores a cargo, basándose en el método de las 5m se escogieron las tres “emes” que más impacto tienen, dejando afuera las dimensiones de materia prima y medio ambiente, debido a que dentro de estos factores no se encontraron causas relevantes que ocasionaran la baja disponibilidad de línea.

Diagrama 6 - Diagrama de Ishikawa



Fuente: Elaboración propia, en base a lluvia de ideas en EDSA.

Justificación de cada una de las causas:

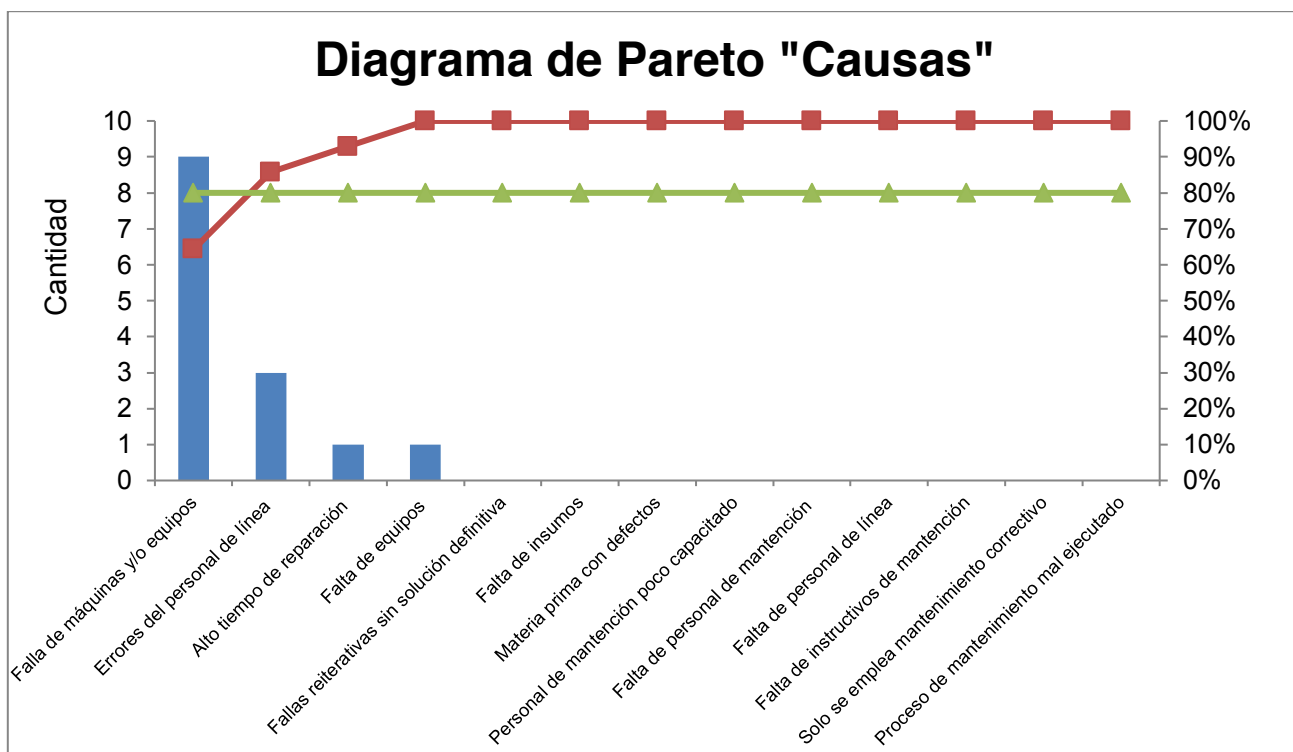
- Fallas reiterativas sin solución definitiva: Ya que hay máquinas o equipos que fallan de forma frecuente, donde aún no se encuentra la causa raíz de la detención, por lo que se repara de forma aligerada, fallando nuevamente en el futuro.
- Alto tiempo de reparación: Provocando un mayor tiempo de detención en la línea de producción, debido a que los repuestos no están siempre disponibles en la Planta. El promedio anual del tiempo que se pierde en reparaciones, solo considerando las 5 líneas de producción en estudio, es de 391,73 horas, es decir cercano a los 17 días.
- Falta de equipos: Ya que no se dispone de suficientes equipos inyectoras, para todas las líneas de producción. Solo cuentan con 8 inyectoras, para las 14 líneas de producción, por lo que estas se van rotando dependiendo de las líneas programadas para ese día en particular, provocando retrasos en el arranque de línea.
- Falta de insumos: Con esto se hace referencia a la falta de insumos de máquinas y/o equipos, como por ejemplo: tinta, cinta, solvente, etc. Lo que provoca que la línea se detenga hasta que el insumo llegue.
- Falla de máquinas y/o equipos: Esto tiene relación con el desgaste y daños de las máquinas o equipos que componen la línea de producción. Considerando los años 2016 y 2017, las diferentes máquinas y equipos han fallado 1.239 veces.
- Personal de mantención poco capacitado: Ya que al momento de ir a reparar alguna máquina o equipo deben llamar a su compañero para que le explique cómo solucionar el problema o que repuesto pedir a pañol, provocando pérdidas de tiempo importantes.
- Falta de personal de mantención: Se considera como una causa del problema, ya que el personal de mantención no da abasto para reparar varias máquinas a la vez, más cuando el tiempo de reparación tarda horas. Por lo tanto, cuando falla una línea y el personal de mantención está realizando otras labores, la línea queda detenida hasta que los colaboradores de mantención se desocupen. A no ser que la falla sea considerada como urgente.

- Falta de personal de línea: Debido a que cada línea cuenta con una dotación establecida. Al momento del arranque de línea deben encontrarse todos los operarios correspondientes en la línea, si no, esta no puede partir.
- Errores del personal de línea: También llamadas “fallas operacionales”. Estas provocan detenciones en las máquinas y/o equipos de las líneas de producción, debido a que los operadores no cuentan con buenas capacitaciones dentro de la Planta. Gracias a esta causa se pierden 47 minutos aproximadamente por turno.
- Falta de instructivos de mantención: Provocando que el tiempo de detención de la línea sea mayor.
- Solo se emplea mantenimiento correctivo: Es decir, se reparan las fallas que se presenten en un momento determinado. No cuentan con pautas de mantenimiento preventivo.
- Proceso de mantenimiento mal ejecutado: Ya que no existen procedimientos que indiquen la comprobación de la reparación recién ejecutada.

1.6.2 Diagrama de Pareto

Después de exponer todas las causas que logran ocasionar la baja disponibilidad de línea, es importante jerarquizar las mismas, por lo que se realiza una simple encuesta a expertos, y con sus resultados se genera un diagrama de Pareto. Cabe mencionar que la encuesta a expertos se realiza al departamento de mantención y a los 5 EPP de cada una de las líneas de producción en estudio, realizando la siguiente pregunta: “¿Cuál de estas causas usted considera más relevante, por lo tanto, la que provoca la baja disponibilidad de línea?”

Diagrama 7 - Diagrama de Pareto



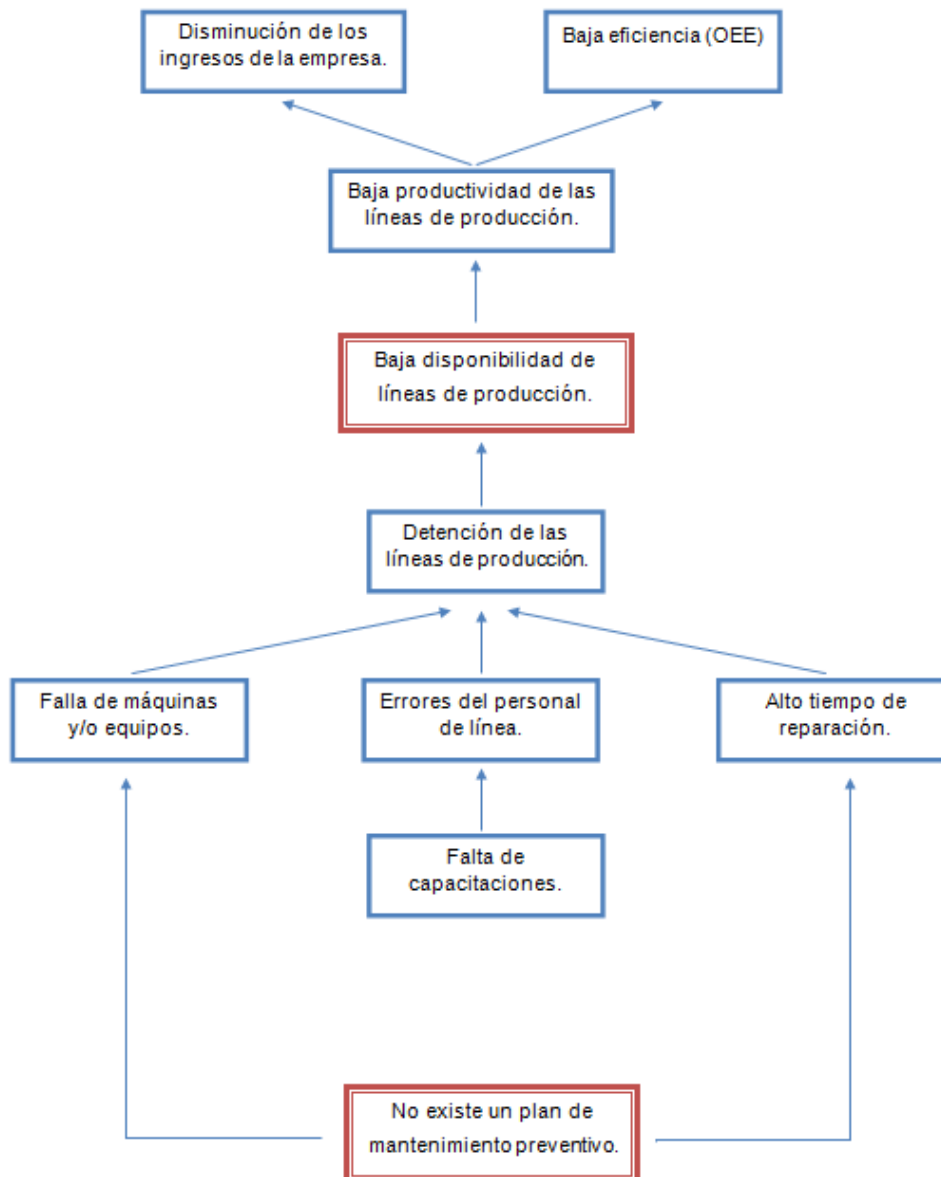
Fuente: Elaboración propia, en base a encuesta a expertos de EDSA.

Como se puede apreciar en el diagrama 7, las causas “Falla de máquinas y/o equipos” junto a los “Errores del personal de línea” cumplen con la regla de Pareto, superando el 80% de las causas, sin embargo, esta última causa solo depende de las capacitaciones hacia el personal de línea. Por lo que este trabajo de título prestará especial atención a la causa principal, es decir, a las fallas de las máquinas o equipos de cada una de las cinco líneas de producción en estudio.

1.7 Diagrama: Causa -> Problema -> Impacto

Ya identificadas las causas más importantes, se debe analizar el impacto de cada una de ellas. Para lo anterior, se utilizará el árbol de la realidad actual (ARA), buscando la causa raíz de la baja disponibilidad de línea.

Diagrama 8 - Árbol de la realidad actual (ARA)

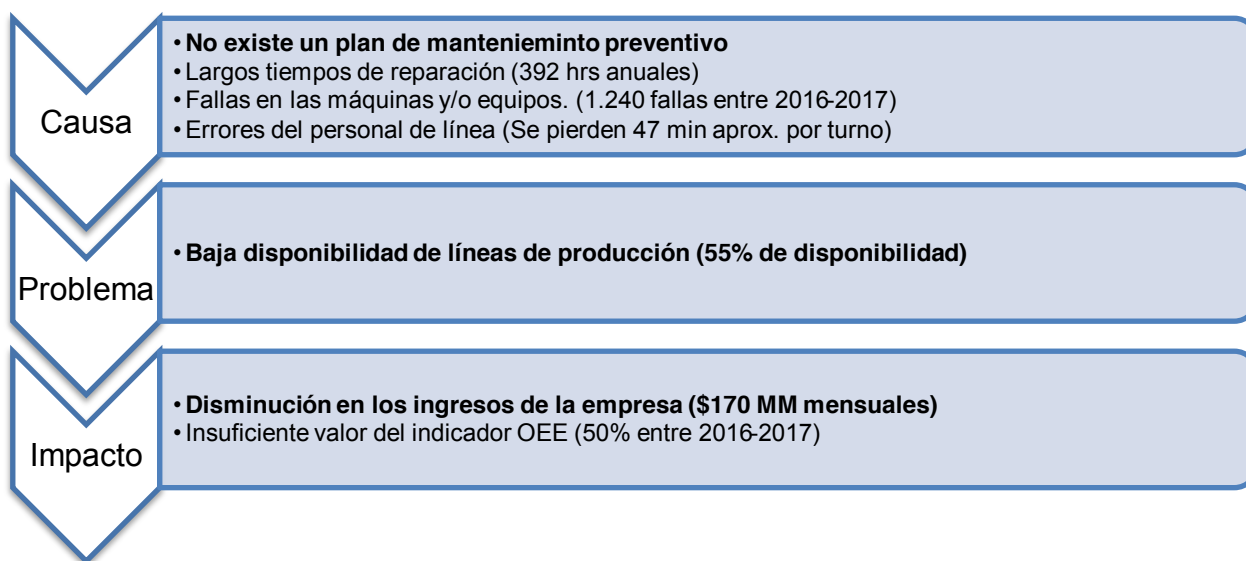


Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en el diagrama 9, la causa raíz de la baja disponibilidad de línea se debe a que no existe un plan de mantenimiento preventivo en la planta de producción de Empresas Demaria.

La justificación del árbol de la realidad actual, se encuentra en el diagrama 10, donde se muestran las causas e impactos del problema principal del presente trabajo de título, cada uno de estos con sus respectivos datos.

Diagrama 9 - Causa - problema - impacto



Fuente: Elaboración propia, en base a datos entregados por EDSA.

Tal como se mencionó en el apartado 1.5, el problema actual de Empresas Demaria es la baja disponibilidad de líneas de producción, esto, causado por la carencia de un plan de mantenimiento preventivo, ocasionando una disminución en los ingresos de la empresa, ya que debido a las detenciones de las 5 líneas de producción en estudio, se deja de producir en promedio \$170.000.000 mensuales¹⁷, impactando anualmente en la suma de \$2.030.000.000 aproximadamente. Lo anterior acompañado de un bajo valor del indicador OEE, el cual promedia un valor de un 50% entre los años 2016 y 2017, lo cual se considera como insuficiente.

¹⁷ Este valor se obtiene considerando los pallets que se dejan de producir, en el tiempo de reparación mensual promedio, multiplicándose por el valor del pallet respectivo.

1.8 Estado del arte

Ya identificado el problema con sus respectivas causas e impactos, se procede a estudiar la metodología a utilizar. Para esto se describirán tres metodologías que podrían dar solución al problema que afecta actualmente a Empresas Demaria S.A.

1.8.1 Total Productive Maintenance (TPM)

El TPM, también conocido como mantenimiento productivo total, busca la máxima eficiencia en las líneas de producción, a través de los siguientes conceptos: prevención, cero defectos, cero accidentes y la participación total de las personas de la organización, con esto se hace referencia a que las tareas del departamento de mantenimiento, pueden efectuarse también por los operarios de cada una de las líneas de producción¹⁸.

Tabla 11 - Ventajas y desventajas del TPM

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Mejora la calidad del producto final.	<ul style="list-style-type: none">• La implementación del método es costosa.
<ul style="list-style-type: none">• Mejora la productividad de las líneas de producción, ya que aumenta la disponibilidad de las mismas.	<ul style="list-style-type: none">• Requiere de capacitaciones hacia el personal, además de un cambio en la cultura organizacional.
<ul style="list-style-type: none">• Aprovechamiento del capital humano de la empresa.	<ul style="list-style-type: none">• El proceso de implementación requiere de varios años.
<ul style="list-style-type: none">• Reducción de los costos de mantenimiento.	

Fuente: Elaboración propia.

En la investigación realizada por Natalia Mansilla (2011)¹⁹, se aplica la metodología TPM, para la estandarización de procesos y reducción de pérdidas en la fabricación de goma de mascar en una industria nacional, enfocándose en dos líneas de producción, con el propósito de lograr una estandarización y una disminución de pérdidas en ambas líneas. El resultado de la investigación, demuestra que se logra reducir la cantidad de defectos de calidad, disminuir las paradas de las máquinas y equipos, reduciendo incluso el impacto

¹⁸ <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/lean-manufacturing/mantenimiento-productivo-total-tpm/>

¹⁹ http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/115896/mansilla_nl.pdf

medioambiental de cada una de las líneas de producción, además se disminuyó la cantidad de reproceso y se evitaron posibles accidentes laborales. Por lo que se demuestra que la metodología TPM, centrada en la estandarización del proceso, repercute de manera significativa en la reducción de las pérdidas de fabricación de chicle.

1.8.2 Reliability Centred Maintenance (RCM)

El mantenimiento centrado en la confiabilidad o RCM, es un método que permite detectar cuales son las tareas de mantenimiento adecuadas para cualquier activo físico, es decir para cualquier máquina o equipo que componga la línea de producción²⁰.

Tabla 12 - Ventajas y desventajas del RCM

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> Mejora la disponibilidad de equipos y sistemas. 	<ul style="list-style-type: none"> Requiere de personal debidamente capacitado.
<ul style="list-style-type: none"> Mejora la productividad, al reducir la tasa de falla de los equipos. 	<ul style="list-style-type: none"> Se requiere gran cantidad de información, debidamente ordenada.
<ul style="list-style-type: none"> Reducciones en los costos de mantenimiento. 	
<ul style="list-style-type: none"> Mayor cumplimiento de las normas de seguridad y medio ambiente. 	

Fuente: Elaboración propia.

En la investigación realizada por Raúl González (2015)²¹, sobre el desarrollo de RCM en un equipo crítico de la Planta CAP ACERO, se busca aumentar la disponibilidad y confiabilidad de sus activos físicos, a través de la metodología anteriormente nombrada. Donde se llega a la conclusión de que hubo una mejora significativa en la disminución de cantidad de horas de no disponibilidad de un año respecto a otro.

²⁰ <https://www.gestiopolis.com/rcm-mantenimiento-centrado-en-confiabilidad/>

²¹

http://repositorio.unab.cl/xmlui/bitstream/handle/ria/1038/a114449_Gonzalez_R_Desarrollo_de_RCM_en_un_equipo_2015_Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y

1.8.3 Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC)

El análisis de modos de falla, efectos y criticidad, es una metodología que tiene por objetivo identificar los modos de falla que representan un mayor riesgo, para posteriormente seleccionar la mejor tarea de mantenimiento a utilizar, ya sea preventiva, correctiva o predictiva. Esto, a través de una descomposición de cada una de las líneas de producción, analizando cada uno de sus componentes a través de análisis exhaustivos, para encontrar todas las causas de fallas y sus efectos²².

Tabla 13 - Ventajas y desventajas de AMFEC

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Mejora la fiabilidad del sistema.	<ul style="list-style-type: none">• Considera solo fallas individuales.
<ul style="list-style-type: none">• Identifica los modos de falla con mayor riesgo y los jerarquiza.	<ul style="list-style-type: none">• No se ajusta a sistemas complejos.
<ul style="list-style-type: none">• Capaz de determinar posibles fallas en el futuro.	
<ul style="list-style-type: none">• Disminución en los costos de mantenimiento.	

Fuente: Elaboración propia.

En la investigación realizada por Fabián Farfán (2014)²³, donde se realiza un plan de mantención preventiva al chancador primario Fuller, en División Codelco Andina, se utilizó el análisis de modo de falla, efectos y criticidad. Donde se pudo determinar los modos de falla de los componentes de un sistema, las causas que provocan la falla, los daños en sus mecanismos, el método de detección, las acciones a tomar y su gravedad. De esta forma se clasificaron las fallas por orden de importancia, permitiendo establecer estrategias de mantenimiento en las áreas con mayor índice de criticidad, con el fin de mitigarlas o eliminarlas por completo.

²² <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14606/1/UPS-CT007176.pdf>

²³ Fabián Farfán, "Realizar un plan de mantención preventiva del chancador primario fuller, en División Codelco Andina" (Valdivia, Chile), edición PDF.

1.8.4 Selección de la metodología

Con el objeto de seleccionar la metodología que mejor se adapte al problema actual de EDSA, se realiza una matriz de decisión, evaluando las dimensiones que contribuirán al aumento de la disponibilidad de línea en el corto plazo. Estas dimensiones se acordaron junto al jefe de mantención. La dimensión “corto plazo” se agrega debido a requerimientos de la empresa.

Figura 4 - Matriz de decisión para seleccionar metodología

Metodología / Criterios	Disponibilidad	Confiabilidad	Costos de mantenimiento	Corto plazo	TOTAL
Mantenimiento productivo total (TPM)	X		X		2
Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)	X	X	X	X	4
Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC)		X	X	X	3

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la figura 4, el método del mantenimiento centrado en la confiabilidad es el único que cumple con todas las dimensiones requeridas por la organización, por esta razón, la elección de esta metodología debería responder al problema detectado en Empresas Demaria.

Debido a lo anterior, se define que el método a emplear en el presente trabajo de título, corresponde al mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), lo que permitirá:

- Aumentar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos, impactando por lo tanto sobre las líneas de producción. Lo anterior a través de la detección de fallas, ya que éstas son analizadas desde el punto de vista causa-raíz.

- Reducir los costos de mantenimiento, al implementar tareas de mantenimiento preventivo.
- Generar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, a través de la identificación de fallas funcionales, modos de falla, efectos y consecuencias, previniendo fallas futuras, mediante tareas de mantenimiento.

1.9 Objetivos

En el siguiente apartado, se muestran los objetivos que se han definido para el presente trabajo de título.

1.9.1 Objetivo general

Proponer un plan de mantenimiento industrial utilizando el método RCM, para las líneas de producción Flowpack, L-70, Doypack I, II y IV, en Empresas Demaria S.A, para el año 2018.

1.9.2 Objetivos específicos

- Identificar las líneas críticas de la planta de producción, con el objeto de delimitar el estudio, mediante el uso de criterios.
- Proponer una metodología que responda al problema detectado en Empresas Demaria.
- Diseñar una propuesta de un plan de mantenimiento que permita la estandarización de procedimientos, calendarización de mantenciones, y control de las mismas.
- Calcular la rentabilidad del proyecto.

1.10 Limitaciones del estudio

El presente trabajo de título sólo considera los equipos críticos de las líneas de producción en estudio, es decir, de las líneas Chancaca, L-70, Doypack I, Doypack II y Doypack IV, tomando en cuenta los datos de los años 2016 y 2017.

Al concluir la investigación, se entregará un documento a la empresa con el resultado final de ésta, el cual contendrá además las pautas de mantenimiento para las líneas de producción antes mencionadas, basados en la metodología RCM.

Es importante destacar que este trabajo de título es solo un estudio, quedando la implementación a criterio de la empresa. Cabe mencionar, que, si bien la metodología escogida permite alcanzar los objetivos principales del presente trabajo de título, esto no garantiza la correcta implementación por parte de la empresa.

Capítulo II “Metodología”

De la misma manera que se mencionó en el apartado 1.8, la metodología escogida para dar solución a la baja disponibilidad de línea, es a través del mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM).

2.1 Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)

Como se mencionó en el apartado 1.8.2 “El mantenimiento centrado en la confiabilidad o RCM, es un método que permite detectar cuales son las tareas de mantenimiento adecuadas para cualquier activo físico, es decir para cualquier máquina o equipo que componga la línea de producción.” Para lo anterior se requiere gran cantidad de información, por lo que lo primero que se debe hacer es recopilar datos históricos del objeto de estudio.

El RCM, se basa en siete preguntas clave, las cuales deben quedar resueltas luego de la implementación del método²⁴.

1. ¿Cuáles son las funciones y los estándares de funcionamiento de cada sistema? (Funciones).
2. ¿Cómo falla cada equipo? (Fallas funcionales).
3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional? (Modos de falla).
4. ¿Qué parámetros monitorizan o alertan una falla? (Efectos de las fallas).
5. ¿Qué consecuencias tiene cada falla? (Consecuencias de las fallas).
6. ¿Cómo puede evitarse cada falla? (Tareas preventivas).
7. ¿Qué debe hacerse si no es posible evitar una falla? (Rediseño)

²⁴<http://ingenieriadelmantenimiento.com/index.php/26-articulos-destacados/17-plan-de-mantenimiento-basado-en-rcm>

La solución a estas preguntas, conduce a la determinación de fallas potenciales de las líneas de producción, sus causas respectivas, y las medidas preventivas que deben tomarse.

Para lograr este objetivo, el método cuenta con diez fases diferentes, las cuales se detallan a continuación²⁰.

2.1.1 Fase 1: Determinación de indicadores

Donde se debe tener en claro, que es lo que se quiere lograr al implementar RCM, determinando los indicadores claves, y valorizándolos, con el fin de compararlos luego de haber implementado el método.

Los indicadores que se utilizarán en el presente trabajo de título, fueron seleccionados en base a al problema detectado en EDSA, y estos se detallan a continuación:

2.1.1.1 Tiempo medio entre fallas (MTBF)

Es el promedio de tiempo transcurrido entre una falla y la siguiente. Su fórmula se muestra a continuación:

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

2.1.1.2 Disponibilidad mecánica

Es la capacidad de un activo o componente para estar operativo con el fin de realizar una función requerida, bajo condiciones dadas, en un instante de tiempo predeterminado, asumiendo que los recursos externos necesarios se han proporcionado. Su fórmula es la siguiente:

$$\textit{Disponibilidad} = \frac{\textit{Tiempo total de funcionamiento} - \textit{Tiempo por detenciones de mantenimiento}}{\textit{Tiempo total de funcionamiento}}$$

2.1.2 Fase 2: Sistemas, subsistemas y equipos que componen la línea de producción

En esta fase se deben listar todos los sistemas, subsistemas y equipos que componen las líneas de producción, a través de esquemas o diagramas.

2.1.3 Fase 3: Estudio detallado del funcionamiento del sistema

Donde se deben determinar las funciones del sistema y subsistema, listando las funciones primarias y secundarias de cada una de las líneas de producción y sus componentes. Cabe mencionar que la definición de una función consiste en un verbo, un objetivo y el estándar de funcionamiento deseado por el usuario²⁵.

- Funciones primarias: Razón principal por la cual fue adquirido el activo físico, por lo que su definición debe ser precisa.
- Funciones secundarias: Es lo que se espera de cada activo, sin considerar su función primaria.

2.1.4 Fase 4: Determinación de fallas funcionales

Se entenderá como fallo funcional, la incapacidad de cualquier activo físico de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable por el usuario²¹. Por lo mismo, si se realiza correctamente el listado de funciones, es más fácil determinar una falla.

2.1.5 Fase 5: Determinación de los modos de fallas

Un modo de falla es cualquier evento que causa una falla funcional. En esta fase se deben identificar los modos de fallas de cada una de las fallas funcionales definidas en la fase 4.

Cuando un sistema tiene muchas maneras posibles de fallar, tiene por tanto múltiples modos de fallas. Mientras más complejo es el sistema, mas modos de falla tendrá. Sin embargo, es aconsejable estudiar los modos de falla principales, y no seguir profundizando, si no se perderá información valiosa, pero a cambio se logrará realizar un análisis de falla de cada una de las líneas de producción en estudio, con recursos y tiempo razonable.

²⁵ John Moubray "Mantenimiento centrado en confiabilidad", edición español.

2.1.6 Fase 6: Estudio de las consecuencias de las fallas. Criticidad

El siguiente paso es determinar los efectos de cada modo de fallo, y una vez determinados, se deben clasificar según la gravedad de las consecuencias.

Se considerarán tres posibles casos:

1. Que el fallo sea crítico:
 - Que pueda ocasionar un accidente que afecte la seguridad o al medio ambiente, y que existan ciertas posibilidades de que ocurra.
 - Que suponga una parada de planta o afecte al rendimiento o a la capacidad de producción.
 - Que los costos de reparación del fallo, más los fallos provocados por el mismo (secundarios), sea superior a \$2.000.000.
2. Que el fallo sea importante:
 - No debe cumplir ninguna de las condiciones que lo hagan crítico.
 - Que pueda ocasionar un accidente grave, aunque la probabilidad sea baja.
 - Que pueda suponer una parada de planta, o afecte a la capacidad de producción, pero que la probabilidad de que ocurra sea baja.
 - Que los costos de reparación, se encuentren entre \$1.000.000 y \$2.000.000.
3. Que fallo sea tolerable: No debe cumplir ninguna condición que le haga ser crítico o importante, y además debe tener poca influencia en seguridad y medioambiente. No debe afectar la producción de planta y su costo de reparación sea bajo, es decir, menor a \$1.000.000.

2.1.7 Fase 7: Determinación de medidas preventivas

En esta fase se deben definir las medidas preventivas de cada modo de falla, las cuales se traducen finalmente en pautas de mantenimiento, es decir actividades que evitan posibles fallas o minimizan sus efectos. Estas tareas de mantenimiento pueden ser:

- Inspecciones visuales.
- Lubricaciones.
- Verificaciones del correcto funcionamiento de los activos, realizado con instrumentos propios del equipo.
- Verificaciones del correcto funcionamiento de los activos, realizado con instrumentos externos del equipo.
- Tareas condicionales, tales como, limpiezas, ajustes o cambio de piezas, en caso de ser necesario.
- Tareas sistemáticas, las cuales se realizan cada cierto tiempo, sin importar como se encuentre el equipo. Estas tareas pueden ser, limpieza, ajuste o cambio de piezas.
- Grandes revisiones o mantenimiento cero horas, el cual consiste en dejar el equipo, como si tuviera 0 horas de mantenimiento.

Las inspecciones visuales, junto con la lubricación aplican a todas las fallas, debido a su bajo costo. Lo mismo ocurre con las verificaciones del correcto funcionamiento realizado con instrumentos propios del equipo, la cual consiste en tomar datos de una serie de parámetros de funcionamiento, utilizando los propios medios del equipo.

Respecto a las verificaciones del correcto funcionamiento realizado con instrumentos externos al equipo, solo aplica a fallas críticas e importantes, debido a que se debe determinar si el equipo cumple con especificaciones prefijadas, pero como su nombre lo indica, con instrumentos o herramientas externos al equipo, implicando mayores costos. Lo mismo ocurre con las tareas condicionales, las cuales se realizan dependiendo del estado en que se encuentre el equipo.

Las tareas sistemáticas, se realizan cada ciertas horas de funcionamiento o cada cierto tiempo, sin importar como se encuentre el equipo, y aplican solo a fallas críticas. Lo mismo ocurre con las grandes revisiones o mantenimiento cero horas, el cual tiene como objetivo dejar el equipo como si tuviera cero horas de funcionamiento.

Cuanto mayor sea la gravedad de un fallo, mayores recursos se pueden destinar a su mantenimiento. Es por esto que en la fase anterior se clasifican los fallos según sus consecuencias.

Finalmente se debe determinar la frecuencia de las tareas de mantenimiento, la cual, según la literatura es conveniente fijar una frecuencia diaria para tareas de bajo costo, una frecuencia mensual para tareas que supongan montajes o desmontajes completos, y no esté justificado hacer a diario, y una frecuencia anual para tareas que necesiten que la línea de producción este detenida, y que no se justifica realizarlas de forma mensual²⁶.

2.1.8 Fase 8: Agrupación de medidas preventivas

En esta fase se diseña el plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), agrupando las medidas preventivas ya definidas en sus diferentes categorías, y estas a su vez se agruparán por línea de producción y por frecuencia.

2.1.9 Fase 9: Puesta en marcha de las medidas preventivas

Ya determinados los planes de mantenimiento preventivo de las cinco líneas de producción en estudio, se debe proceder con la implementación de estos. En este caso, esta fase no aplica, ya que la implementación queda a criterio de la empresa.

2.1.10 Fase 10: Evaluación de las medidas adoptadas

Una vez implementado el plan de mantenimiento basado en confiabilidad, se deben comparar los indicadores de mantenimiento seleccionados en la fase 1, es decir evaluar el MTBF y la disponibilidad de mecánica de la situación actual vs la situación propuesta. Nuevamente esta fase no aplica, debido a que la implementación queda a criterio de la empresa.

²⁶<http://mantenimientopetroquimica.com/index.php/que-es-rcm/30-rcm>

2.2 En resumen

En el siguiente apartado se muestra el resumen de lo que se necesita para la implementación del RCM, así como también el resultado esperado de este.

Cabe destacar, que de las diez fases mencionadas anteriormente solo se aplicarán ocho de ellas, debido a que las dos últimas corresponden a la implantación del método, y el presente trabajo de título solo es un estudio, por lo que se desarrollará desde la fase uno hasta la ocho.

2.2.1 Datos de entrada

Los antecedentes que se requieren para la implementación de RCM, son datos históricos, específicamente: la cantidad de fallas mecánicas por línea de producción, el tiempo de reparación promedio de dicha falla, la causa y efecto de la falla, además de las horas programadas de la línea de producción. Ya que este método opera considerando los siguientes indicadores de mantención: MTBF y disponibilidad mecánica.

2.2.2 Supuestos para la aplicación del método

Para que un proceso pueda ser descrito como RCM, debe cumplir con la norma SAE JA1011, el cual establece los criterios que cualquier proceso debe cumplir para ser llamado "RCM"²⁷.

Asimismo, para implementar esta metodología, se requiere gran cantidad de información debidamente ordenada, es decir datos históricos de las fallas de cada una de las líneas de producción, además de la experiencia del equipo de mantención y encargados del proceso productivo (EPP).

Se justifica el uso de RCM, cuando las paradas de las líneas de producción implican consecuencias drásticas, afectando la productividad de la empresa.

²⁷ <http://www.pdmtechusa.com/criterios-evaluacion-rcm/>

2.2.3 Limitaciones

- El método nunca va a ser 100% exacto, ya que no se sabe cuándo se producirá una nueva falla en el equipo.
- Debido a que la implementación queda a criterio de la empresa, se debe tener en cuenta que esta, deberá contar con suficientes recursos, ya sean humanos y/o físicos para lograr una correcta implementación.
- Al momento de implementar los planes preventivos basados en la confiabilidad, se generarán disminuciones de productividad en el corto plazo, ya que se requerirá la línea para realizar dichos mantenimientos preventivos. Pero a largo plazo, se verán los resultados, ya que la línea tendrá ausencia o disminución de fallas mecánicas.

2.2.4 Producto final

Luego de determinar las fallas, sus consecuencias y efectos, se determinan las medidas preventivas de los modos de falla, con el fin de evitar que estas se presenten nuevamente, finalmente se agrupan estas medidas y se elaboran las pautas de mantenimiento preventivo correspondiente.

Finalmente se obtiene un documento con los planes de mantenimiento preventivo basados en confiabilidad de las cinco líneas de producción en estudio, los cuales de igual forma se deben ir mejorando continuamente.

2.2.5 Resultados esperados

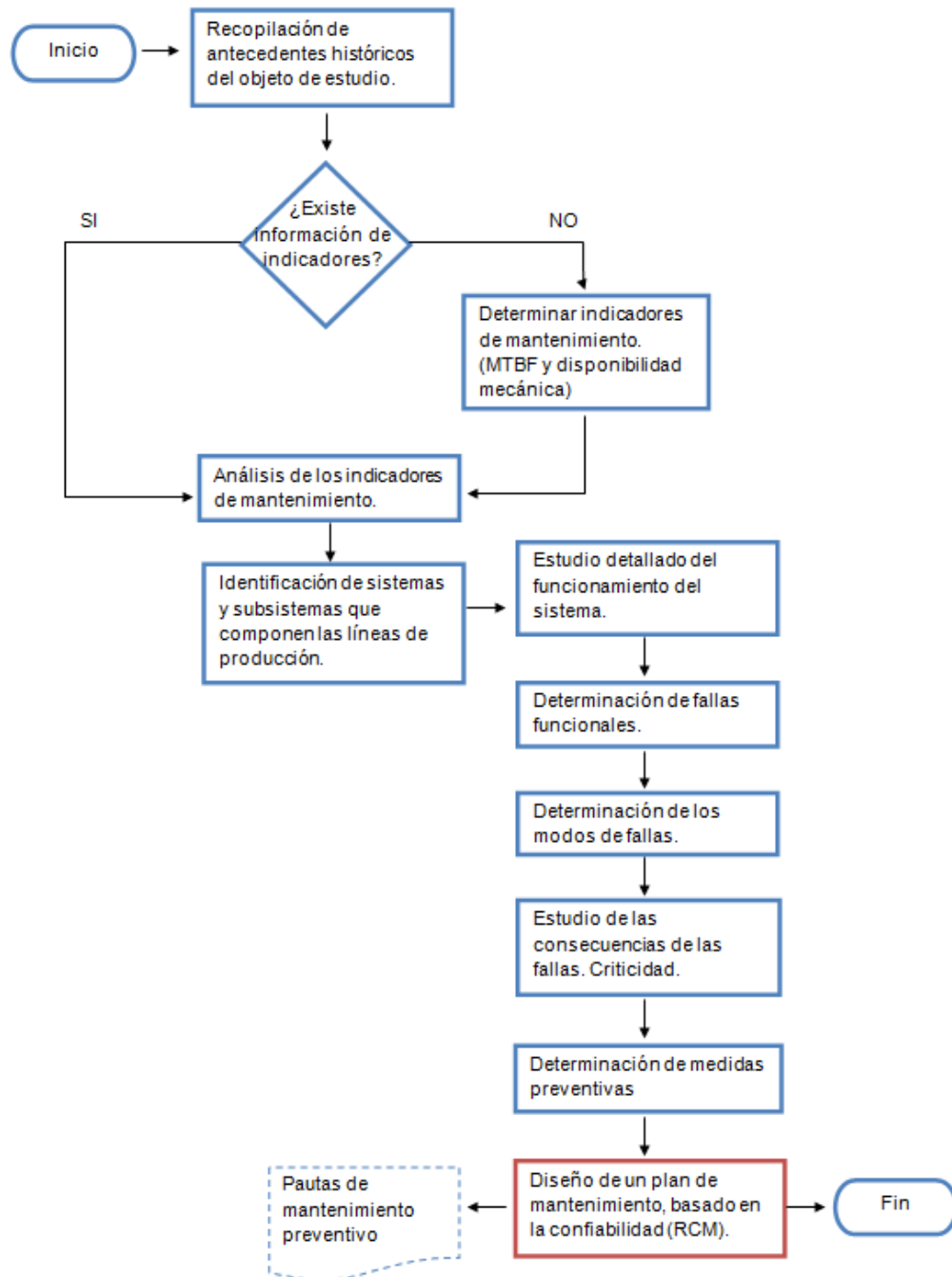
Al aplicar la metodología seleccionada, “mantenimiento centrado en la confiabilidad” (RCM), se espera lo siguiente:

- Analizar las fallas funcionales más comunes de cada una de las líneas de producción, para luego determinar las posibilidades de falla e identificar las medidas preventivas correspondientes.
- Generar un plan de mantenimiento con las actividades preventivas ya seleccionadas.

- Realizar un seguimiento a los indicadores de mantenimiento: MTBF y disponibilidad mecánica.

El método RCM, adaptado a Empresas Demaria, se muestra en el diagrama 11.

Diagrama 10-Metodología adaptada a EDSA



Fuente: Elaboración propia.

Capítulo III “Aplicación de la metodología”

El mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), permite definir cuáles son las actividades de mantenimiento adecuadas para cualquier activo físico.

Para verificar la correcta aplicación del método, se deberá dar respuesta a las siete preguntas claves de éste, las cuales se muestran a continuación:

3.1 Fase 1: Recopilación de antecedentes históricos del objeto de estudio

En esta primera fase se recopilan datos de fallas mecánicas de las líneas de producción en estudio, considerando los años 2016 y 2017. Lo anterior a través de un archivo que maneja el departamento de mantención, donde se registran todos los PR del año.

3.2 Fase 2: Determinación y análisis de indicadores de mantenimiento

Los indicadores seleccionados para el análisis de la situación actual y futura de la empresa, corresponden al tiempo medio entre fallas (MTBF), y la disponibilidad mecánica. El tiempo medio de reparación (MTTR) se deja fuera, ya que los tiempos que demoran en reparar una máquina o equipo son muy variados, pueden ser desde los 5 minutos hasta turnos completos.

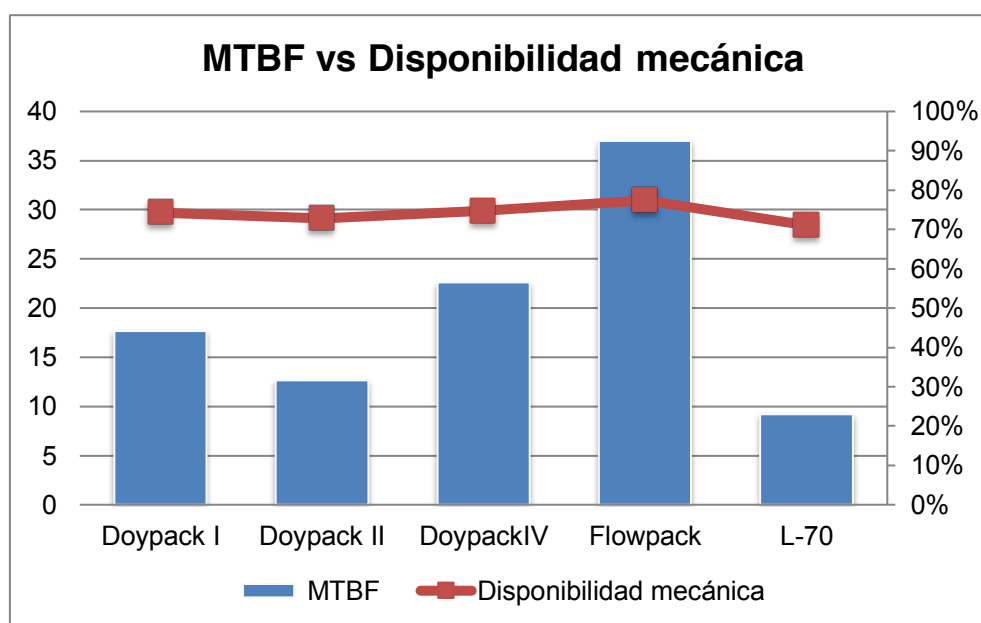
Debido a que la empresa, no cuenta con la valoración de dichos indicadores, estos se deben determinar con los antecedentes recopilados en la fase 1. Cabe destacar que estos valores se han multiplicado por un factor, por temas de confidencialidad de la organización. Dichos valores se muestran en la tabla 14.

Tabla 14 - Indicadores de mantención (MTBF y disponibilidad)

Línea de producción	TOTAL MTBF	Disponibilidad mecánica total
Doypack I	17,63	74%
Doypack II	12,62	73%
Doypack IV	22,59	75%
Flowpack	36,98	77%
L-70	9,21	71%
Promedio	19,81	74%

Fuente: Elaboración propia, en base a información entregada por EDSA.

Gráfico 6 - MTBF vs Disponibilidad mecánica, por línea de producción



Fuente: Elaboración propia, en base a información entregada por EDSA.

Como se puede apreciar en la tabla 14 y gráfico 6, la línea L-70 es la que tiene menor MTBF, cada 9,21 horas presenta una falla, asimismo es la que tiene menor disponibilidad mecánica, con un 71%. Al contrario, la línea Flowpack es la línea que tiene mayor MTBF, por lo mismo mayor disponibilidad mecánica, sin embargo, hay que considerar que esta línea se detiene un mes al año por temas de mantenimiento y sanitización.

Respecto al MTBF, este es muy variado dependiendo de la línea de producción. Caso contrario ocurre con la disponibilidad mecánica, ya que para el objeto de estudio esta

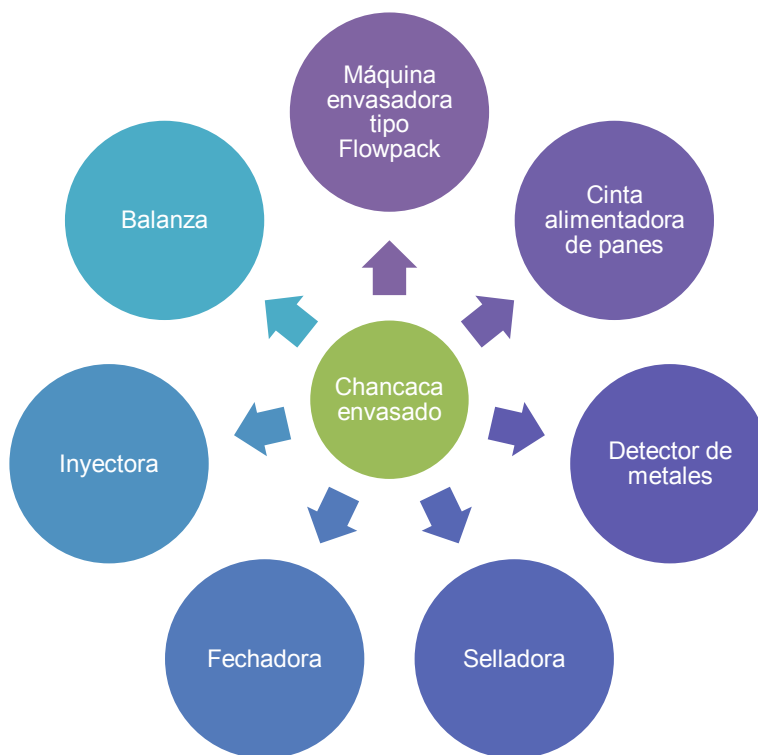
fluctúa sólo entre un 71% y 77%. Es importante mencionar, que se espera un valor de un 95% para este indicador²⁸.

3.3 Fase 3: Identificación de sistemas y subsistemas que componen las líneas de producción

Para la elaboración de un buen plan de mantenimiento, se debe tener en claro los sistemas y subsistemas que componen cada una de las cinco líneas de producción en estudio.

Se entenderá como sistema, cada línea de producción en estudio, y desde ese sistema se mostrarán los subsistemas correspondientes, entendiéndose como subsistemas los equipos principales de cada línea.

Figura 5 - Sistema Chancaca envasado



Fuente: Elaboración propia, en base a información entregada por EDSA.

²⁸ Porcentaje determinado por el Jefe de Mantenimiento, junto al Gerente de Planta.

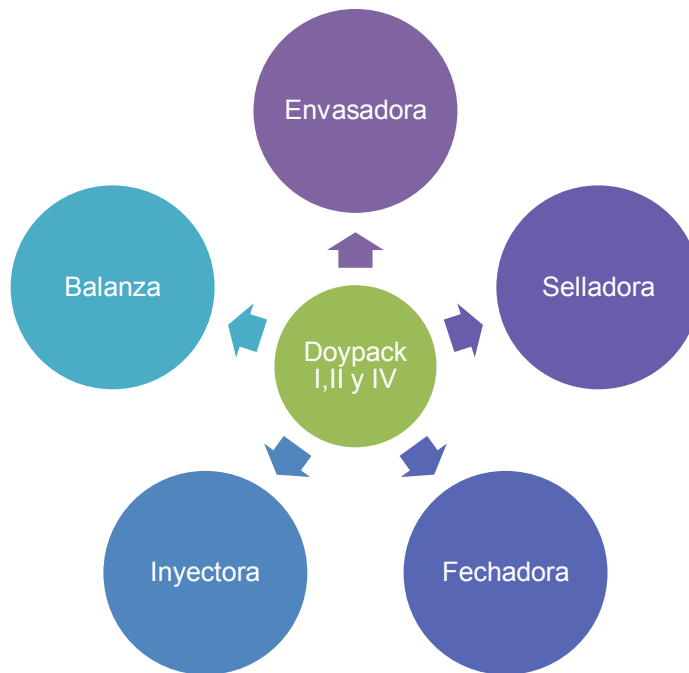
Figura 6 - Subsistema Chancaca envasado



Fuente: Elaboración propia, en base a información entregada por EDSA.

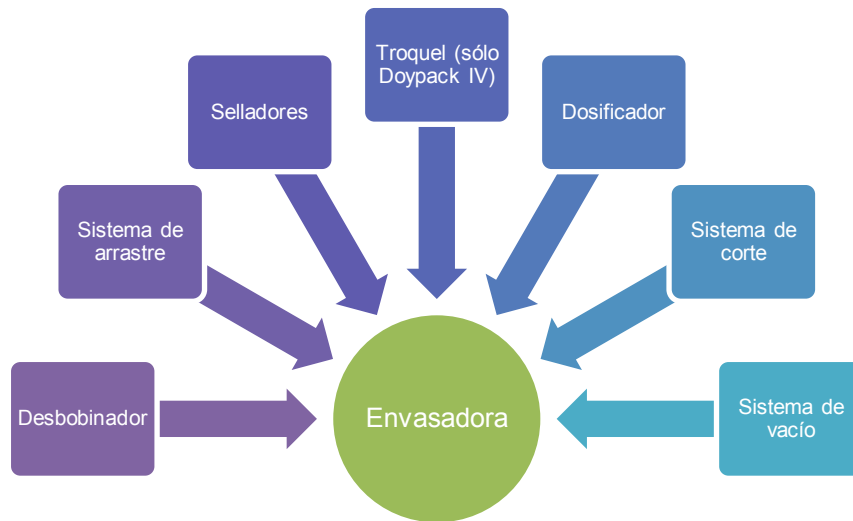
Como se puede apreciar en la fig. 5 y 6, el sistema de Chancaca envasado cuenta con siete equipos principales, de los cuales "máquina envasadora tipo flowpack" se subdivide en cuatro subsistemas a su vez.

Figura 7 - Sistema Doypack I, II y IV



Fuente: Elaboración propia, en base a información entregada por EDSA.

Figura 8 - Subsistema Doypack I, II, IV



Fuente: Elaboración propia, en base a información entregada por EDSA.

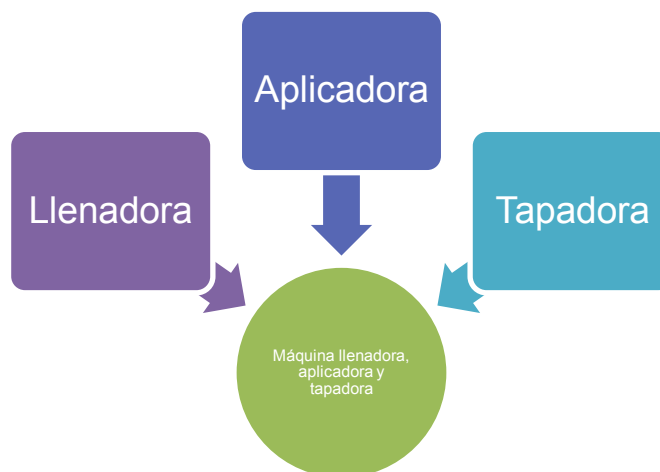
Como se muestra en la fig. 7 y 8, las líneas doypacks se componen de cinco equipos principales, y a su vez, el equipo más importante es la "envasadora", la cual se subdivide en 7 subsistemas, en el caso de la Doypack IV, y en 6 subsistemas en el caso de las Doypack I y II.

Figura 9 - Sistema L-70



Fuente: Elaboración propia, en base a información entregada por EDSA.

Figura 10- Subsistema L-70



Fuente: Elaboración propia, en base a información entregada por EDSA.

La línea L-70, se compone de seis equipos principales, tal como se muestra en la fig. 9, y uno de sus equipos principales, se subdivide en 3 subsistemas, estos son, la llenadora, aplicadora y tapadora.

Como se puede apreciar en las figuras 5, 7 y 9, cada una de las líneas de producción contiene selladora, fechadora, inyectora y balanza, de las cuales tres se encuentran al final de la línea, y la inyectora en el medio de ella.

3.4 Fase 4: Estudio detallado del funcionamiento del sistema

En esta fase se identifican las funciones primarias de cada sistema y subsistema del objeto de estudio. Es importante destacar que solo se detallarán los equipos y componentes significativos de cada sistema, ya que, si se identificaran todos los componentes de las líneas de producción, el presente trabajo de título sería interminable.

Tabla 15 - Funciones sistema Chancaca envasado

Sistema	Función
Máquina envasadora tipo Flowpack	Encargada de envasar los panes de chancaca en formatos de 225 gr o 450 gr.
Subsistema	Función
Desbobinador	Desenrollar la bobina de film y formar el envase.
Componentes	Función
Polines	Mantener la tensión del film.
Rodillo de arrastre	Desenrollar el film.
Lector de taca	Sensor que determina la posición entre un envase y otro.
Subsistema	Función
Selladores	Encargados de sellar el envase.
Componentes	Función
Calefactor	Encargado de dar temperatura a los selladores.
Sensor de temperatura	Mide la temperatura del sellado.
Mordazas de sellado	Presiona el envase, sellando el envase.
Subsistema	Función
Cinta de salida	Transportar la chancaca desde el término del sellado al siguiente proceso.
Componentes	Función
Cinta de tela	Transportar la chancaca desde el término del sellado al siguiente proceso.
Motor	Encargado de dar el movimiento a la cinta.
Tensores	Le da la tensión y el centrado a la cinta.
Subsistema	Función
Cadena de entrada de panes	Lleva los panes en la posición correcta para el sellado.
Componentes	Función
Cadena	Lleva los panes en la posición correcta para el sellado.
Triángulo formador de túnel	Encargado de dar la forma final al envase.
Sistema	Función
Cinta alimentadora de panes	Transportar los panes de chancaca hacia la máquina Flowpack.
Componentes	Función
Cinta metálica	Transportar los panes de chancaca hacia la máquina Flowpack.
Sistema de traspaso	Traspasar los panes desde la cinta alimentadora a la máquina Flowpack.
Motor	Encargado de dar el movimiento a la cinta.
Tensores	Le da la tensión y el centrado a la cinta.
Sistema	Función
Detector de metales	Detectar los panes que están contaminados con algún material metálico, y así expulsarlos.
Componentes	Función
Detector	Detectar los panes contaminados con algún material metálico.

Cinta transportadora	Transporta los panes a través del detector.
Sistema de rechazo	Expulsa los panes que están contaminados a través de un brazo neumático.
Sistema	Función
Selladora	Sellar las cajas con los productos terminados.
Componentes	Función
Cintas transportadoras	Encargadas de transportar la caja, a través de la selladora.
Porta rollo	Contener el scotch para sellar las cajas.
Cuchillos	Cortar el scotch.
Sistema	Función
Fechadora	Encargada de imprimir un mensaje en las cajas terminadas.
Componentes	Función
Tinta	Insumo para la impresión del mensaje.
Sistema	Función
Inyectora	Encargada de imprimir un mensaje en el envase de chancaca.
Componentes	Función
Tinta	Insumo para la impresión del mensaje.
Solvente	Insumo para la impresión del mensaje.
Sensor	Detecta el envase para realizar la impresión del mensaje.
Cabezal de impresión	Encargado de imprimir el mensaje.
Sistema	Función
Balanza	Pesar la caja con productos terminados.
Componentes	Función
Balanza	Pesar la caja con productos terminados.
Luces indicadoras	Indica si la caja está en el peso correspondiente con luz verde, en caso contrario, muestra luz roja cuando está bajo peso y luz amarilla cuando esta sobre peso.

Fuente: Elaboración propia, en base a información entregada por EDSA.

Tabla 16 - Funciones sistema Doypack I, II y IV

Sistema	Función
Envasadora	Encargada de envasar los diferentes FPF, en los formatos correspondientes.
Subsistema	Función
Desbobinador	Desenrollar la bobina de film y formar el envase.
Componentes	Función
Polines	Mantener la tensión del film.
Rodillo de arrastre	Desenrollar el film.
Lector de taca	Sensor que determina la posición entre un envase y otro.
Subsistema	Función
Sistema de arrastre	Encargado de mover el film a la posición correcta, para el corte y dosificado de cada envase.

Componentes	Función
Rodillo de arrastre	Tira el film, hasta la posición de corte.
Lector de taca	Sensor que determina la posición de corte.
Subsistema	Función
Selladores	Encargados de sellar el envase.
Componentes	Función
Calefactor	Encargado de dar temperatura a los selladores.
Sensor de temperatura	Mide la temperatura del sellado.
Mordazas de sellado	Presiona el envase, sellando el envase.
Subsistema	Función
Troquel (solo Doypack IV)	Encargado de cortar el espacio suficiente para la postura de válvula.
Componentes	Función
Equipo compacto	
Subsistema	Función
Dosificador	Encargado de dosificar la cantidad correspondiente de FPF dentro de los envases.
Componentes	Función
Cilindros volumétricos de llenado	Establece la cantidad de llenado para un envase en específico.
Boquillas	Dosifican el FPF en cada envase.
Tolva de FPF	Contiene el FPF.
Subsistema	Función
Sistema de corte	Encargado de cortar el film, separando un envase de otro.
Componentes	Función
Tijeras	Encargadas de cortar el film, separando un envase de otro.
Subsistema	Función
Sistema de vacío	Generar la apertura de los sobres.
Componentes	Función
Ventosas	Toman los sobres para su posterior apertura.
Bomba de vacío	Genera el vacío.
Sistema	Función
Selladora	Sellar las cajas con los productos terminados.
Componentes	Función
Cintas transportadoras	Encargadas de transportar la caja, a través de la selladora.
Porta rollo	Contener el scotch para sellar las cajas.
Cuchillos	Cortar el scotch.
Sistema	Función
Fechadora	Encargada de imprimir un mensaje en las cajas terminadas.
Componentes	Función
Tinta	Insumo para la impresión del mensaje.
Sistema	Función
Inyectora	Encargada de imprimir un mensaje en el envase de chancaca.

Componentes	Función
Tinta	Insumo para la impresión del mensaje.
Solvente	Insumo para la impresión del mensaje.
Sensor	Detecta el envase para realizar la impresión del mensaje.
Cabezal de impresión	Encargado de imprimir el mensaje.
Sistema	Función
Balanza	Pesar la caja con productos terminados.
Componentes	Función
Balanza	Pesar la caja con productos terminados.
Luces indicadoras	Indica si la caja está en el peso correspondiente con luz verde, en caso contrario, muestra luz roja cuando está bajo peso y luz amarilla cuando esta sobre peso.

Fuente: Elaboración propia, en base a información entregada por EDSA.

Tabla 17 - Funciones sistema L-70

Sistema	Función
Máquina llenadora, aplicadora y tapadora	Encargada de llenar los envases, instalar el aplicador y luego taparlos.
Subsistema	Función
Llenadora	Encargada de llenar el envase con FPF.
Componentes	Función
Cilindros volumétricos	Establece la cantidad de llenado para un envase en específico.
Estrella	Mover los envases desde la entrada de la llenadora hasta el siguiente proceso.
Boquillas	Dosifican el FPF en cada envase.
Subsistema	Función
Aplicadora	Encargada de colocar los aplicadores sobre el envase.
Componentes	Función
Cabezales de aplicador	Encargado de tomar el aplicador y colocarlo sobre el envase.
Estrella	Mover los envases desde la entrada de la aplicadora hasta el siguiente proceso.
Contenedor de aplicadores	Almacena los aplicadores, para su posterior aplicación.
Subsistema	Función
Tapadora	Encargada de poner las tapas sobre los envases.
Componentes	Función
Cabezales de tapado	Encargado de tomar la tapa y ponerla sobre el envase.
Estrella	Mover los envases desde la entrada de la tapadora hasta el siguiente proceso.
Contenedor de tapas	Almacena las tapas, para su posterior aplicación.
Sistema	Función
Etiquetadora	Encargada de pegar las etiquetas en el envase.
Componentes	Función

Cinta transportadora	Transporta los envases, dentro de la etiquetadora.
Cabezal de etiqueta y contra etiqueta	Soportar los rollos de etiqueta, para luego pegarlas el envase.
Sistema	Función
Selladora	Sellar las cajas con los productos terminados.
Componentes	Función
Cintas transportadoras	Encargadas de transportar la caja, a través de la selladora.
Porta rollo	Contener el scotch para sellar las cajas.
Cuchillos	Cortar el scotch.
Sistema	Función
Fechadora	Encargada de imprimir un mensaje en las cajas terminadas.
Componentes	Función
Tinta	Insumo para la impresión del mensaje.
Sistema	Función
Inyectora	Encargada de imprimir un mensaje en el envase de chancaca.
Componentes	Función
Tinta	Insumo para la impresión del mensaje.
Solvente	Insumo para la impresión del mensaje.
Sensor	Detecta el envase para realizar la impresión del mensaje.
Cabezal de impresión	Encargado de imprimir el mensaje.
Sistema	Función
Balanza	Pesar la caja con productos terminados.
Componentes	Función
Balanza	Pesar la caja con productos terminados.
Luces indicadoras	Indica si la caja está en el peso correspondiente con luz verde, en caso contrario, muestra luz roja cuando está bajo peso y luz amarilla cuando esta sobre peso.

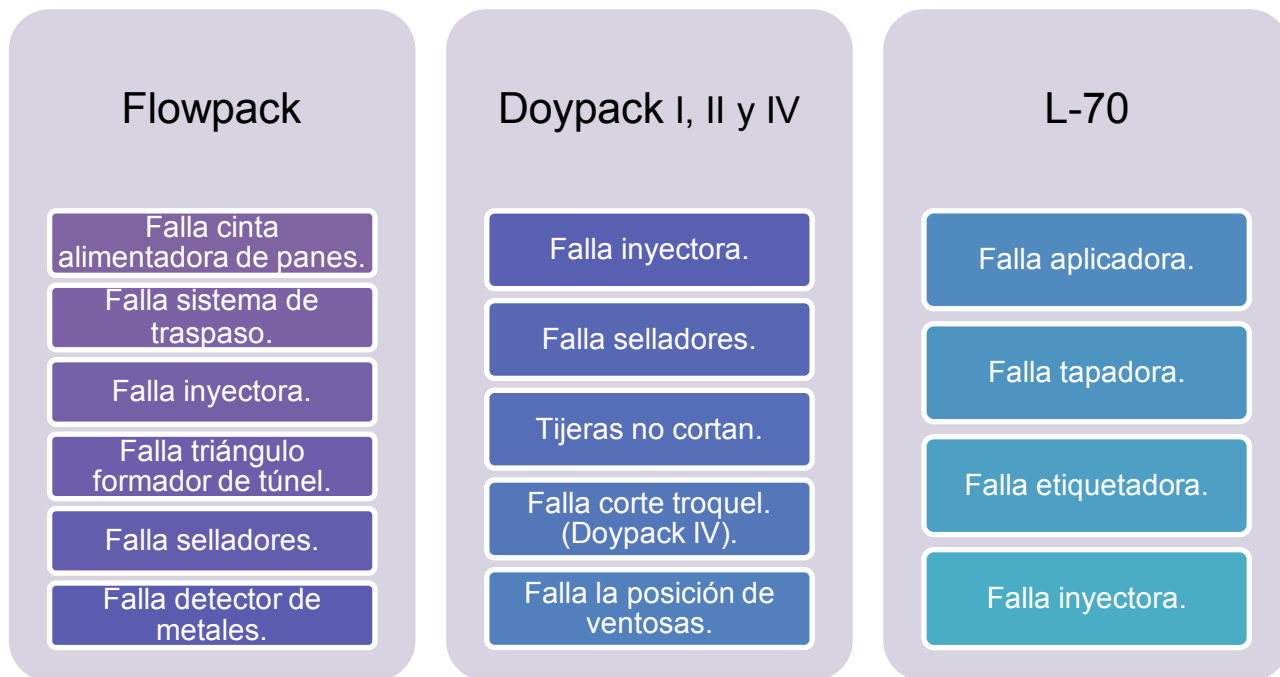
Fuente: Elaboración propia, en base a información entregada por EDSA.

3.5 Fase 5: Determinación de fallas funcionales

Se entenderá como falla funcional, la incapacidad de cualquier activo físico de cumplir alguna de sus funciones. Por ello, es importante realizar de forma correcta la fase 4, ya que, si se realiza correctamente el listado de funciones, es más fácil determinar una falla, ya que se tendrá un posible fallo por cada función que tenga la línea de producción y sus equipos.

El listado de las fallas funcionales más comunes del objeto de estudio, se muestran en la figura 11.

Figura 11 - Falla funcionales más comunes

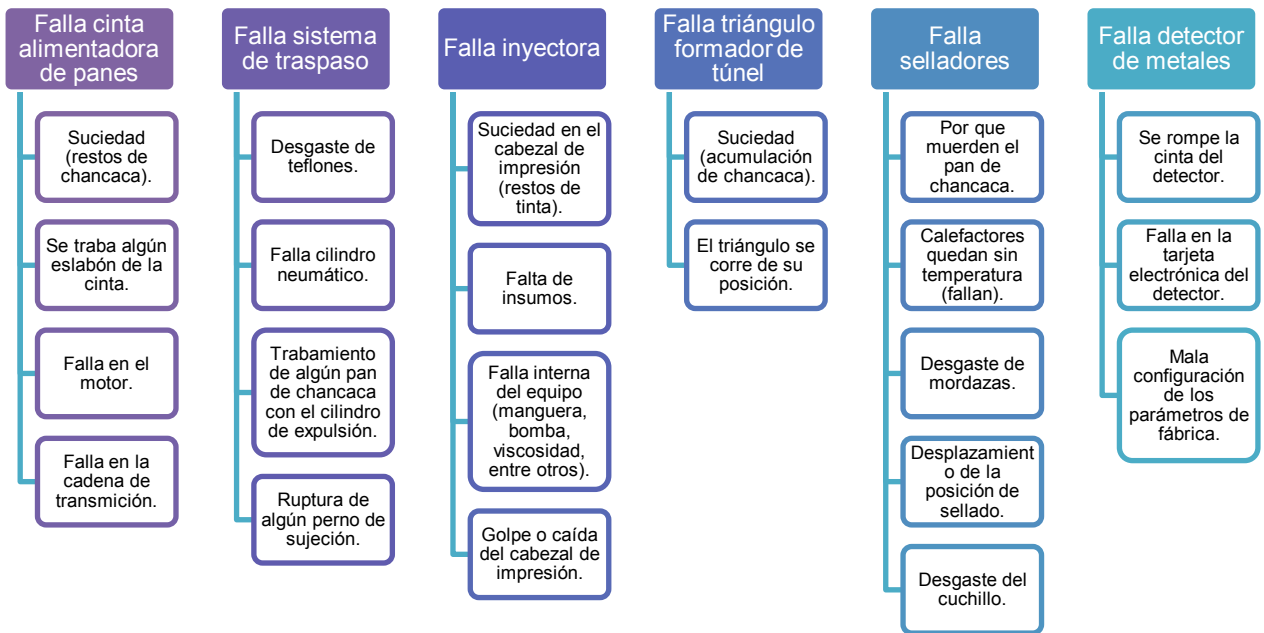


Fuente: Elaboración propia, en base a información entregada por EDSA.

3.6 Fase 6: Determinación de los modos de fallas

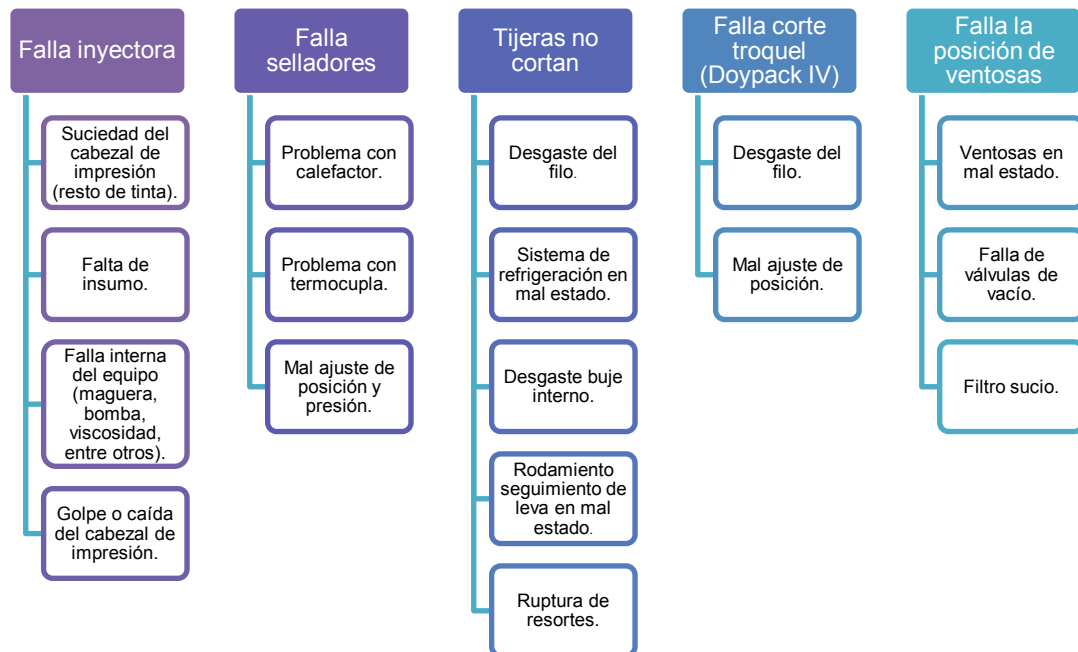
Un modo de falla es cualquier evento que causa una falla funcional. Cada falla funcional puede tener más de un modo de falla, a continuación, se muestran los modos de falla de cada una las líneas de producción en estudio.

Figura 12 - Modos de falla Flowpack



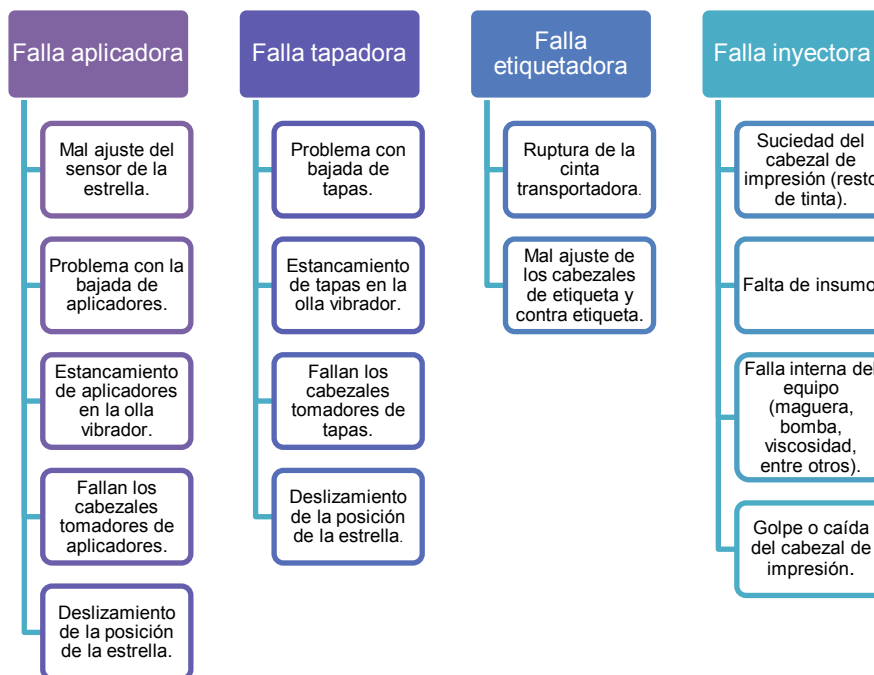
Fuente: Elaboración propia, en base a información entregada por EDSA.

Figura 13 - Modos de falla Doypack I, II y IV



Fuente: Elaboración propia, en base a información entregada por EDSA.

Figura 14 - Modos de falla L-70



Fuente: Elaboración propia, en base a información entregada por EDSA.

3.7 Fase 7: Estudio de las consecuencias de las fallas. Criticidad

Luego de detectar los modos de falla de cada una de las fallas funcionales más comunes del objeto de estudio, se deben determinar los efectos de cada uno de ellos, posteriormente clasificarlos según la gravedad de las consecuencias, es decir se debe realizar un análisis de criticidad²⁹.

Se considerarán tres posibles casos, que la falla sea crítica, importante o tolerable. La descripción de cada una de ellas, se muestra en la tabla 18.

²⁹<http://mantenimientopetroquimica.com/index.php/que-es-rcm/30-rcm>

Tabla 18 - Fallas críticas, importantes y tolerables

Falla / Posibilidad de ocurrencia	Posibilidades de que ocurra la falla	Posibilidad de ocasionar un accidente grave	Posibilidad de ocasionar la detención de la línea y/o disminución de la capacidad productiva	Costos de mantención
Crítica	Alta	Alta	Alta	> a \$2.000.000
Importante	Baja	Alta	Media	entre \$1.000.000 y \$2.000.000
Tolerable	Baja	Baja	Nula o baja	< a \$1.000.000

Fuente: Elaboración propia, en base a información entregada por EDSA.

A continuación, se muestran los efectos de cada modo de falla, indicando si se considera falla crítica, importante o tolerable. Cabe mencionar, que estos datos se identificaron a través del registro de PR, además del conocimiento de los mecánicos y eléctricos del departamento de mantención.

Es importante señalar que la posibilidad de ocasionar un accidente grave es baja en todos los efectos de falla, por lo que esta no se considerará, lo mismo ocurre con los costos de mantención, ya que ninguna de las fallas más comunes sobrepasa los \$2.000.000. Por lo que la tabla 18 solo es una referencia, la tabla real con todas las consecuencias de los modos de falla se adaptará a esta, con el fin de definir la criticidad de cada efecto de falla.

Tabla 19 - Efectos de los modos de falla, línea Flowpack

Falla	Modo de falla	Efecto			
		Probabilidad de que ocurra la falla	Posibilidad de ocasionar la detención de la línea y/o disminución de la capacidad productiva	Costos de mantención	Criticidad
Falla cinta alimentadora de panes	Suciedad (restos de chancaca)	Alta	Baja	< \$1.000.000	Tolerable
	Se traba algún eslabón de la cinta	Alta	Media	< \$1.000.000	Importante
	Falla en el motor	Baja	Alta	Entre \$1.000.000 y	Importante

				\$2.000.000	
	Falla en la cadena de transmisión	Baja	Media	< \$1.000.000	Tolerable
Falla sistema de traspaso	Desgaste de teflones	Baja	Baja	< \$1.000.000	Tolerable
	Falla cilindro neumático	Baja	Media	< \$1.000.000	Tolerable
	Trabamiento de algún pan de chancaca con el cilindro de expulsión	Alta	Baja	< \$1.000.000	Importante
	Ruptura de algún perno de sujeción	Baja	Media	< \$1.000.000	Tolerable
Falla inyectora	Suciedad en el cabezal de impresión (restos de tinta)	Baja	Alta	< \$1.000.000	Importante
	Falta de insumos	Baja	Media	< \$1.000.000	Tolerable
	Falla interna del equipo (manguera, bomba, viscosidad, entre otros)	Baja	Alta	< \$1.000.000	Importante
	Golpe o caída del cabezal de impresión	Baja	Alta	< \$1.000.000	Importante
Falla triángulo formador de túnel	Suciedad (acumulación de chancaca)	Baja	Media	< \$1.000.000	Tolerable
	El triángulo se corre de su posición	Baja	Media	< \$1.000.000	Tolerable
Falla selladores	Muerde el pan de chancaca	Alta	Media	< \$1.000.000	Importante
	Calefactores quedan sin temperatura (fallan)	Baja	Media	< \$1.000.000	Tolerable
	Desgaste de mordazas	Baja	Alta	< \$1.000.000	Importante
	Desplazamiento de la posición de sellado	Alta	Media	< \$1.000.000	Importante
	Desgaste del cuchillo	Baja	Media	< \$1.000.000	Tolerable
Falla detector de metales	Se rompe la cinta del detector	Baja	Alta	< \$1.000.000	Importante
	Falla en la tarjeta electrónica del detector	Baja	Alta	Entre \$1.000.000 y \$2.000.000	Importante
	Mala configuración de los parámetros de fábrica	Baja	Alta	< \$1.000.000	Importante

Fuente: Elaboración propia, en base a información entregada por EDSA.

Tabla 20 - Efectos de los modos de falla, líneas Doypack I, II y IV

Falla	Modo de falla	Efecto			
		Probabilidad de que ocurra la falla	Posibilidad de ocasionar la detención de la línea y/o disminución de la capacidad productiva	Costos de mantención	Criticidad
Falla inyectora	Suciedad en el cabezal de impresión (restos de tinta)	Baja	Alta	< \$1.000.000	Importante
	Falta de insumos	Baja	Media	< \$1.000.000	Tolerable
	Falla interna del equipo (manguera, bomba, viscosidad, entre otros)	Baja	Alta	< \$1.000.000	Importante
	Golpe o caída del cabezal de impresión	Baja	Alta	< \$1.000.000	Importante
Falla selladores	Problemas con calefactor	Baja	Alta	< \$1.000.000	Importante
	Problema con termocupla	Baja	Alta	< \$1.000.000	Importante
	Mal ajuste de posición y presión	Baja	Media	< \$1.000.000	Tolerable
Tijeras no cortan	Desgaste del filo	Alta	Alta	< \$1.000.000	Crítica
	Sistema de refrigeración en mal estado	Baja	Baja	< \$1.000.000	Tolerable
	Desgaste del buje interno	Alta	Baja	< \$1.000.000	Importante
	Rodamiento seguimiento de leva en mal estado	Alta	Baja	< \$1.000.000	Importante
	Ruptura de resortes	Alta	Baja	< \$1.000.000	Importante
Falla corte troquel (Doypack IV)	Desgaste del filo	Alta	Alta	< \$1.000.000	Crítica
	Mal ajuste de posición	Baja	Alta	< \$1.000.000	Importante
Falla la posición de ventosas	Ventosas en mal estado	Baja	Alta	< \$1.000.000	Importante
	Falla de válvulas de vacío	Baja	Alta	< \$1.000.000	Importante
	Filtro sucio	Baja	Alta	< \$1.000.000	Importante

Fuente: Elaboración propia, en base a información entregada por EDSA.

Tabla 21 - Efectos de los modos de falla, línea L-70

Falla	Modo de falla	Efecto			
		Probabilidad de que ocurra la falla	Posibilidad de ocasionar la detención de la línea y/o disminución de la capacidad productiva	Costos de mantención	Criticidad
Falla aplicadora	Mal ajuste del sensor de estrella	Baja	Baja	< \$1.000.000	Tolerable
	Problema con la bajada de aplicadores	Alta	Baja	< \$1.000.000	Importante
	Fallan los cabezales tomadores de aplicadores	Baja	Alta	< \$1.000.000	Importante
	Deslizamiento de la posición de estrella	Baja	Alta	< \$1.000.000	Importante
Falla tapadora	Problema con bajada de tapas	Alta	Media	< \$1.000.000	Importante
	Fallan los cabezales tomadores de tapas	Alta	Alta	< \$1.000.000	Crítica
	Deslizamiento de la posición de estrella	Baja	Alta	< \$1.000.000	Importante
Falla etiquetadora	Ruptura de cinta transportadora	Baja	Alta	< \$1.000.000	Importante
Falla inyectora	Suciedad en el cabezal de impresión (restos de tinta)	Baja	Alta	< \$1.000.000	Importante
	Falta de insumos	Baja	Media	< \$1.000.000	Tolerable
	Falla interna del equipo (manguera, bomba, viscosidad, entre otros)	Baja	Alta	< \$1.000.000	Importante
	Golpe o caída del cabezal de impresión	Baja	Alta	< \$1.000.000	Importante

Fuente: Elaboración propia, en base a información entregada por EDSA.

3.8 Fase 8: Determinación de medidas preventivas

En el presente apartado se determinarán las medidas preventivas que permitirán evitar la falla o bien minimizar sus efectos.

De acuerdo a lo que se mencionó en el apartado 2.1.7 se elabora una tabla indicando las medidas preventivas que aplican a cada efecto de falla, según su criticidad. Cabe mencionar que la tabla 22 solo de utilizará de guía para elaborar los planes de mantenimiento, ya que, para la fabricación de estos, también se considerará la experiencia de los mecánicos y eléctricos del departamento de mantención.

Tabla 22 – Fallas a las que pueden aplicarse las tareas de mantenimiento según criticidad

Tipos de tareas de mantenimiento	Tipos de falla a los que puede aplicarse
1. Inspecciones visuales.	Todas las fallas
2. Tareas de lubricación.	Todas las fallas
3. Verificaciones del correcto funcionamiento realizado con instrumentos propios del equipo.	Todas las fallas
4. Verificaciones del correcto funcionamiento realizado con instrumentos externos del equipo.	Fallas importantes y críticas
5. Tareas condicionales.	Fallas importantes y críticas
6. Tareas sistemáticas.	Fallas críticas
7. Grandes revisiones o mantenimiento cero horas.	Fallas críticas

Fuente: Elaboración propia, en base a³⁰.

Las medidas preventivas para cada modo de falla se muestran en el anexo 6.3.

3.8.1 Determinación de la frecuencia de las tareas de mantenimiento

Una vez determinadas las tareas de mantenimiento, es necesario determinar con qué frecuencia es necesario realizarlas. Para efectos del presente trabajo de título, se

³⁰<http://mantenimientopetroquimica.com/index.php/que-es-rcm/30-rcm>

determinará la frecuencia a través de datos históricos de fallas, junto con una encuesta a expertos, ya que los datos permiten conocer la frecuencia con la que se produce la falla, y la encuesta considera el posible error humano al momento de ingresar los PR a la planilla Excel.

La frecuencia de cada medida preventiva se determinó que fuera diaria, mensual o semestral, esto, debido a la experiencia y opinión de todo el departamento de mantención. La frecuencia de cada medida preventiva se muestra en el anexo 6.3.

3.9 Fase 9: Agrupación de medidas preventivas. Elaboración del plan de mantenimiento

Una vez determinadas las medidas preventivas, el siguiente paso es agrupar estas medidas por línea de producción y por frecuencia, para luego facilitar su implementación.

El resultado de la agrupación de medidas preventivas serán planes de mantenimiento, basados en RCM, compuesto por el conjunto de tareas de mantenimiento resultante del análisis de fallas.

Se propone que las tareas de mantenimiento diario se ejecuten por el EPP de la línea de producción al finalizar el turno en caso de que la actividad requiera la línea detenida, ya que son tareas básicas que requieren de una capacitación mínima. En cambio, las tareas de mantenimiento mensual y semestral deberían ser ejecutadas por los mecánicos y/o eléctricos del departamento de mantención, según la actividad que corresponda.

A continuación, se muestran los planes de mantenimiento de las diferentes líneas de producción:

Figura 15 - Plan de mantenimiento preventivo diario, Flowpack

MANTENIMIENTO PREVENTIVO DIARIO LÍNEA FLOWPACK				
Fecha ejecución:			Tiempo efectivo de la pauta:	
N°	SISTEMA	ACTIVIDAD	OBSERVACIONES	EQUIPO EN FUNCIONAMIENTO O DETENIDO
1	Cinta alimentadora de panes	Limpieza de cinta		Detenido
		Limpieza de guías		Detenido
		Inspección visual de la cadena de transmisión		Funcionando
		Lubricación de la cadena de transmisión	En caso de ser necesario	Funcionando
2	Sistema de traspaso	Limpieza de guías	Inspección de teflón	Detenido
3	Inyectora	Inspección visual del cabezal de impresión		Funcionando
		Inspección de stock de insumos		Funcionando
		Limpieza del cabezal de impresión		Detenido
4	Triángulo formador de túnel	Limpieza del triángulo	Se reemplazan pernos de fijación	Detenido
5	Selladores	Lubricación de cadena		Detenido
		Inspección visual de los calefactores		Detenido
		Inspección visual de mordazas	Alinear en caso de ser necesario	Detenido
		Inspección visual de la posición de sellado		Funcionando
		Inspección visual del cuchillo	Limpiar en caso de ser necesario	Detenido

Fuente: Elaboración propia, en base a datos históricos y experiencia de los colaboradores.

Figura 16 - Plan de mantenimiento preventivo diario, Doypack I, II y IV

MANTENIMIENTO PREVENTIVO DIARIO LÍNEA DOYPACK I, II y IV				
Fecha ejecución:			Tiempo efectivo de la pauta:	
N°	SISTEMA	ACTIVIDAD	OBSERVACIONES	EQUIPO EN FUNCIONAMIENTO O DETENIDO
1	Inyectora	Inspección visual del cabezal de impresión		Funcionando
		Inspección de stock de insumos		Funcionando
		Limpieza del cabezal de impresión		Detenido
2	Selladores	Inspección visual del calefactor		Detenido
		Inspección visual de la posición y presión de los selladores	Prueba de calco	Funcionando
3	Sistema de corte	Inspección visual del filo		Funcionando
		Inspección visual del buje interno	Lubricar en caso de ser necesario	Detenido
4	Troquel (Doypack IV)	Inspección visual del filo	Lubricar en caso de ser necesario	Funcionando
		Inspección visual de la posición del troquel	Lubricar en caso de ser necesario	Funcionando
5	Ventosas	Inspección visual del filtro		Funcionando

Fuente: Elaboración propia, en base a datos históricos y experiencia de los colaboradores.

Figura 17 - Plan de mantenimiento preventivo diario, L-70

MANTENIMIENTO PREVENTIVO DIARIO LÍNEA L-70				
Fecha ejecución:			Tiempo efectivo de la pauta:	
N°	SISTEMA	ACTIVIDAD	OBSERVACIONES	EQUIPO EN FUNCIONAMIENTO O DETENIDO
1	Tapadora	Limpieza del cabezal tomador	Reemplazar oring en el cabezal, en caso de ser necesario	Detenido
		Inspección visual de la posición de la estrella		Funcionando
2	Aplicadora	Inspección visual del sensor de estrella	Ajustar posición, si es necesario	Detenido
		Limpieza del cabezal tomador	Reemplazar oring en el cabezal, en caso de ser necesario	Detenido
		Inspección visual de la posición de la estrella		Funcionando
3	Etiquetadora	Limpieza de cinta	Lubricar descansos, en caso de ser necesario	Detenido
4	Inyectora	Inspección visual del cabezal de impresión		Funcionando
		Inspección de stock de insumos		Funcionando
		Limpieza del cabezal de impresión		Detenido

Fuente: Elaboración propia, en base a datos históricos y experiencia de los colaboradores.

Figura 18 - Plan de mantenimiento preventivo mensual, Flowpack

MANTENIMIENTO PREVENTIVO MENSUAL LÍNEA FLOWPACK										
Fecha ejecución:		Tiempo efectivo de la pauta:								
N°	SISTEMA	ACTIVIDAD	OBSERVACIONES	MECÁNICO/ELECTRICO	HOMBRES	REPUESTOS	CÓDIGO	CANTIDAD	EQUIPO EN FUNCIONAMIENTO O DETENIDO	
1	Cinta alimentadora de panes	Verificación del correcto funcionamiento de la cinta Lubricación de la cadena de transmisión		Mecánico	0,17				Funcionando	
2	Sistema de traspaso	Verificación del desgaste de teflones Ajuste de guías	En caso de ser necesario, reemplazar En caso de ser necesario	Mecánico	0,25	Lubricante en spray JAX	2010760	1	Detenido	
3	Inyectora	Verificación de la sujeción del cabezal		Mecánico	0,25	Teflon 5 mm	2010780	1	Detenido	
4	Triángulo formador de	Verificación de la posición del triángulo Verificación del correcto funcionamiento del triángulo formador de túnel	En caso de ser necesario, ajustar	Eléctrico	0,17				Detenido	
		Verificación de la temperatura de los selladores		Mecánico	0,33				Funcionando	
5	Selladores	Verificación del desgaste de mordazas Lubricación de engranajes	Alinear en caso de ser necesario	Eléctrico	0,17	Control de temperatura	20100514	2	Detenido	
		Verificación del filo del cuchillo	En caso de ser necesario, cambiar cuchillos	Mecánico	0,25	Lubricante en spray JAX	2010760	1	Detenido	
6	Detector de metales	Verificación del estado de la cinta	En caso de ser necesario, reemplazar	Mecánico	0,33	Cuchillo flowpack	160000933	2	Detenido	
				Mecánico	0,50				Detenido	

Fuente: Elaboración propia, en base a datos históricos y experiencia de los colaboradores.

Figura 19 -Plan de mantenimiento preventivo mensual, Doypack I, II y IV

MANTENIMIENTO PREVENTIVO MENSUAL LINEA DOYPACK I, II y IV									
Fecha ejecución:									
N°	SISTEMA	ACTIVIDAD	OBSERVACIONES	MECÁNICO/ELECTRICO	HORAS HOMBRES	REPUESTOS	CÓDIGO	CANTIDAD	EQUIPO EN FUNCIONAMIENTO O DETENIDO
1	Inyectora	Verificación de la sujeción del cabezal Verificación de la temperatura del calefactor Ajustar la posición y presión de los selladores, en caso de ser necesario		Mecánico	0.2				Funcionando
2	Selladores	Verificación del filo de las tijeras Verificación del correcto funcionamiento del sistema de refrigeración.	Prueba de calco	Mecánico	0.5				Detenido
3	Sistema de corte	Verificación del correcto funcionamiento del buje interno Verificación del estado del rodamiento de leva	Verificar si existe algún tipo de desgaste, en caso de existir cambiar buje	Mecánico	0.8	Buje	312004	1	Detenido
4	Corte troquel (Doypack IV)	Inspección de resortes Verificación del correcto funcionamiento del filo Ajuste de la posición del troquel, en caso de ser necesario	En caso de ser necesario, reemplazar	Mecánico	0.5	Rodamiento 5201	2010179	1	Detenido
5	Ventosas	Inspección visual de ventosas Verificación del correcto funcionamiento de las válvulas de vacío Limpieza del filtro, en caso de ser necesario	En caso de ser necesario, reemplazar	Mecánico	0.5	Resortes	14420020	2	Detenido
				Mecánico	0.5				Funcionando
				Mecánico	0.3				Detenido
				Mecánico	0.3	Ventosa tipo fuelle	2010860	4	Detenido
				Mecánico	0.5				Detenido
				Mecánico	0.5	Filtro	2010333	1	Detenido

Fuente: Elaboración propia, en base a datos históricos y experiencia de los colaboradores.

Figura 20 - Plan de mantenimiento preventivo mensual, L-70

MANTENIMIENTO PREVENTIVO MENSUAL LÍNEA L-70									
Fecha ejecución:									
Tiempo efectivo de la pauta:									
N°	SISTEMA	ACTIVIDAD	OBSERVACIONES	MECÁNICO/ELECTRICO	HORAS HOMBRES	REPUESTOS	CÓDIGO	CANTIDAD	EQUIPO EN FUNCIONAMIENTO O DETENIDO
1	Tapadora	Verificación del ajuste de guías	Ajustar en caso de ser necesario	Mecánico	0,5				Detenido
		Verificación del estado del resorte y el oring de los cabezales	Reemplazar en caso de ser necesario	Mecánico	1,5	oring 26 x 3mm	2010007	8	Detenido
		Verificación de la altura de la estrella, y si es necesario ajustar		Mecánico	0,5				Detenido
2	Aplicadora	Verificación de la posición del sensor	Ajustar posición en caso de ser necesario	Mecánico	0,5				Detenido
		Verificación del ajuste de guías	Ajustar en caso de ser necesario	Mecánico	0,5				Detenido
		Verificación del estado del resorte y el oring de los cabezales	Reemplazar en caso de ser necesario	Mecánico	1	oring 15 x 3 mm	2010010	8	Detenido
3	Etiquetadora	Verificación de la altura de la estrella, y si es necesario ajustar		Mecánico	0,5				Detenido
		Verificación del estado de la cinta	Reemplazar eslabones de la cinta rotos	Mecánico	0,5	cinta transportadora j1815	3050015	1	Detenido
4	Inyectora	Verificación de la sujeción del cabezal		Eléctrico	0,5				Funcionando

Fuente: *Elaboración propia, en base a datos históricos y experiencia de los colaboradores.*

21 - Plan de mantenimiento preventivo semestral, Flowpack

MANTENIMIENTO PREVENTIVO SEMESTRAL LÍNEA FLOWPACK									
Fecha ejecución:									
Tiempo efectivo de la pauta:									
N°	SISTEMA	ACTIVIDAD	OBSERVACIONES	MECÁNICO/ELECTRICO	HORAS HOMBRES	REPUESTOS	CÓDIGO	CANTIDAD	EQUIPO EN FUNCIONAMIENTO O DETENIDO
1	Cinta alimentadora de panes	Inspección mecánica y eléctrica del correcto funcionamiento del motor Cambiar teflones, en caso de ser necesario	Reapriete de conexiones en caso de ser necesario	Mecánico y eléctrico	1				Detenido
2	Sistema de traspaso	Verificación del correcto funcionamiento Inspección de los pernos de sujeción		Mecánico	1,5				Detenido
3	Inyectora	Mantenimiento externo Cambio de calefactores, en caso de ser necesario		Mecánico	0,2				Funcionando
4	Selladores	Cambio de cuchillos, en caso de ser necesario Inspección de la tarjeta electrónica		Mecánico	0,5				Detenido
5	Detector de metales	Verificación de los parámetros del detector de metales	Revisar estado de conexiones Calibración y verificación del correcto funcionamiento con patrones certificados	Eléctrico	4				Detenido
				Eléctrico	0,5				Detenido
				Mecánico	2	Cuchillo máquina flowpack	3060052	1	Detenido
				Eléctrico	0,5				Detenido
				Eléctrico	0,5				Detenido

Fuente: *Elaboración propia, en base a datos históricos y experiencia de los colaboradores.*

Figura 22 - Plan de mantenimiento preventivo semestral, Doypack I, II y IV

MANTENIMIENTO PREVENTIVO SEMESTRAL LINEA DOYPACK I, II y IV									
Fecha ejecución:									
Tiempo efectivo de la pauta:									
N°	SISTEMA	ACTIVIDAD	OBSERVACIONES	MECÁNICO/ELECTRICO	HOMBRES	REPUESTOS	CÓDIGO	CANTIDAD	EQUIPO EN FUNCIONAMIENTO O DETENIDO
1	Inyectora	Mantenimiento externo		Externo	4				Detenido
2	Selladores	Cambio de calefactor, en caso de ser necesario		Eléctrico	3	Calefactor 12.5 x 250mm 400W 48V	1010884	8	Detenido
		Cambio de termocupla, en caso de ser necesario		Eléctrico	2	Termocupla J T/Carucho 4mm	10010101	8	Detenido
3	Sistema de corte	Cambio de tijeras		Mecánico	1	Rectificado de tijeras	15020013	1	Detenido
		Mantenimiento externo al sistema de refrigeración		Externo	2				Detenido
		Cambio del buje		Mecánico	1	Buje	312004	1	Detenido
		Cambio del rodamiento de leva		Mecánico	0,5	Rodamiento 5201	2010179	1	Detenido
4	Corte troquel (Doypack IV)	Cambio de resorte, en caso de ser necesario		Mecánico	0,5	Resortes	14420020	2	Detenido
		Cambio de troquel, en caso de ser necesario		Mecánico	0,5	Rectificado troquel	15020012	1	Detenido
5	Ventosas	Cambio de ventosas		Mecánico	0,5	Ventosa tipo fuelle	2010860	4	Detenido
		Limpieza de mangueras, en caso de ser necesario		Mecánico	1				Detenido
		Cambio de filtro, en caso de ser necesario		Mecánico	0,5	Filtro	2010333	1	Detenido

Fuente: Elaboración propia, en base a datos históricos y experiencia de los colaboradores.

Figura 23 - Plan de mantenimiento preventivo semestral, L-70

MANTENIMIENTO PREVENTIVO SEMESTRAL LÍNEA L-70									
Fecha ejecución:		Tiempo efectivo de la pauta:							
N°	SISTEMA	ACTIVIDAD	OBSERVACIONES	MECÁNICO/ELECTRICO	HORAS HOMBRES	REPUESTOS	CÓDIGO	CANTIDAD	EQUIPO EN FUNCIONAMIENTO O DETENIDO
1	Tapadora	Cambio de oring y lubricación del eje de resortes		Mecánico	0,5	oring 26 x 3mm	2010007	8	Detenido
2	Aplicadora	Cambio de oring y lubricación de resortes		Mecánico	1	oring 15 x 3 mm cinta transportadora j1815	2010010	8	Detenido
3	Etiquetadora	Cambio del eslabón de la cinta en mal estado	En caso de ser necesario	Mecánico	1		3050015	1	Detenido
4	Inyectora	Mantenimiento externo	Mantenimiento cada 2000 horas	Eléctrico	4				Detenido

Fuente: *Elaboración propia, en base a datos históricos y experiencia de los colaboradores.*

Capítulo IV “Resultados y análisis”

En el presente apartado se expondrán los resultados y análisis de la aplicación de la metodología mostrada en el capítulo 3. Además de comparar los costos de mantenimiento de la situación actual de la empresa versus la situación propuesta.

Como se mostró en el capítulo anterior, para la aplicación del método se debe contar con datos históricos de fallas para determinar los indicadores de mantenimiento (MTBF y disponibilidad mecánica), ya que actualmente la empresa no cuenta con la valoración de estos. Para su determinación se tuvo que buscar físicamente los PR del 2017 de las 5 líneas de producción, ya que digitalmente aún no se ingresan, a diferencia del año 2016, por lo que la valoración de los indicadores de mantenimiento fue lenta.

Luego se determinaron los sistemas y subsistemas que componen cada una de las líneas de producción en estudio, señalando la función de cada una de ellas, además de identificar las fallas funcionales más comunes de cada una de las líneas, y sus respectivas causas o modos de fallas. Esto se hizo a través de una reunión con el mantenedor respectivo de cada línea y el EPP correspondiente, además de los datos que se encuentran digitalmente sobre las fallas. La dificultad del proceso anterior, fue encontrar disponible al mecánico y al EPP de la línea de producción, ya que ellos diariamente tienen su turno completo de actividades.

Posteriormente se estudiaron las consecuencias de las fallas, identificando cada una de ellas como falla crítica, importante o tolerable, y de acuerdo a ese análisis de criticidad se determinaron las medidas preventivas y su frecuencia, con el fin de evitar la falla o minimizar sus efectos. Una vez determinadas las medidas preventivas, estas se agrupan por línea de producción y por frecuencia, generando finalmente las pautas de mantenimiento. Una vez listas las pautas de mantenimiento estas debían ser aprobadas por el jefe de mantenimiento, en caso de existir alguna modificación u observación. La determinación de estas medidas fue un proceso bastante lento, ya que la empresa solicitó, además, que se tomara en consideración el manual del fabricante, el cual solo existía para las líneas Doypack IV y L-70.

Finalmente, la aplicación de la metodología RCM genera pautas de mantenimiento para cada una de las líneas de producción en estudio, las cuales se agrupan por frecuencia,

diaria, mensual y semestral. Cada una de estas pautas detallan la actividad a realizar por el operador, en caso de que la pauta sea diaria, o por el mantenedor, en caso de corresponda una pauta mensual o semestral, además se indica si lo debe realizar un eléctrico o un mecánico específicamente. En caso de ser necesario realizar algún cambio de pieza, se muestra el código del repuesto y la cantidad que se requiere. Asimismo, la pauta muestra si el equipo o máquina se debe encontrar detenida o funcionando para realizar la actividad descrita. Completar las pautas de mantenimiento fue difícil, debido a que no todos los repuestos estaban ingresados en el sistema, por lo que se tuvieron que buscar y generar su código respectivo. Además, se tuvo que tener en cuenta el tiempo estimativo de cada pauta, ya que la línea se pedirá a planificación para cumplir dichas actividades, por lo que se llegó a un acuerdo de tiempo donde la pauta diaria no debe superar los 15 minutos, la mensual como máximo debe durar un turno y la semestral como tope 3 días.

Los efectos que se esperan al aplicar la metodología, es decir ejecutar dichas pautas de mantenimiento preventivo son, una disminución en la cantidad de fallas anuales entre un 40% y un 70% aproximadamente³¹, aumentando por ende la disponibilidad mecánica y total de cada una de las líneas de producción. Asimismo, se incrementará el valor del indicador OEE, y de la misma forma se produciría un aumento en los ingresos anuales de la empresa, ya que los costos de mantenimiento disminuirían de forma considerable en el largo plazo.

En virtud de lo anterior, se analizó la situación propuesta en el peor y mejor escenario, es decir:

- a) Opción A (peor escenario): disminución eventual de un 40% en la cantidad de fallas anuales al aplicar el RCM.
- b) Opción B (mejor escenario): disminución eventual de un 70% en la cantidad de fallas anuales al aplicar el RCM.

Para comparar la situación actual versus ambos escenarios de la situación propuesta, se realizó una tabla donde se evaluaron los ámbitos más relevantes del presente trabajo de título. Dicha tabla se muestra a continuación.

³¹Leonardo Aguiar Guzmán y Hender Rodríguez Borja, "Análisis de modos y efectos de falla para mejorar la disponibilidad operacional en la línea de producción de gaseosas", edición pdf.

Tabla 23 - Comparación situación actual vs situación propuesta

	Situación actual	Situación propuesta (opción A)	Situación propuesta (opción B)
Pautas de mantenimiento preventivo	No existen	Si existen	Si existen
Cantidad de fallas en las máquinas y/o equipos	580 fallas anuales aproximadamente.	348 fallas anuales aproximadamente.	174 fallas anuales aproximadamente.
Disponibilidad de las líneas de producción	Insuficiente (55%)	77%	93,50%
Ingresos de la empresa	Disminución de estos, ya que se dejan de producir aproximadamente \$170.000.000 mensuales.	Disminución de estos en un primer año de \$103.000.000 aproximadamente, y con el tiempo este valor debería seguir reduciéndose.	Disminución de estos en un primer año de \$51.000.000 aproximadamente, y con el tiempo este valor debería seguir reduciéndose.
Indicador OEE	Insuficiente (50%)	65%	79%

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la tabla 23, ambos escenarios de la situación propuesta cuentan con planes de mantenimiento preventivo para las cinco líneas de producción en estudio, por lo que la cantidad de fallas disminuiría de forma significativa en ambos escenarios, llegando incluso a una reducción de 580 fallas a 174 fallas anuales aproximadamente en el mejor escenario. Lo que impactaría de forma positiva en la disponibilidad de línea, ya que en la situación actual el valor de este indicador es de solo un 55%, el cual podría llegar entre 77% y 93,5%, aplicando el método RCM.

Respecto a los ingresos de la empresa, existe una disminución de estos actualmente, ya que se dejan de producir \$170.000.000 mensuales, debido a paradas de línea. Al aplicar la metodología escogida, los ingresos solo disminuirían entre \$103.000.000 y \$51.000.000, lo cual se considera como aceptable en un primer año, ya que a largo plazo este número debe seguir disminuyendo, debido a que los planes de mantenimiento constantemente se deben ir mejorando y actualizando. En relación al indicador OEE, este debería aumentar entre un 65% y un 79% al aplicar el método RCM, lo cual se considera como bueno, ya que EDSA espera un 70% promedio mensual para este indicador.

Para obtener estos valores se consideró el peor escenario de acuerdo al rendimiento, es decir se hizo un supuesto donde el rendimiento de línea no aumentaba al aplicar el método, es decir este indicador se mantendría en un 84% aproximadamente (valor de la situación actual).

Cabe destacar que, para el cálculo de la disponibilidad de línea, se hace un supuesto por turno, es decir, el turno completo dura 9 hrs, por lo que para la situación actual el tiempo productivo sería de 4,95 hrs. Como el tiempo productivo es directamente proporcional con la disminución de la cantidad de fallas, para la opción A, ese tiempo aumentaría en un 40% ya que en este porcentaje disminuirían las fallas, y para la opción B aumentaría en un 70%, quedando entonces un tiempo productivo para la opción A de 6,93 hrs y para B de 8,415 hrs. Por lo que la disponibilidad de línea para la opción A sería de un 77% y la de B sería de un 93,5%, considerándose estos valores aceptables, ya que de un 55% de disponibilidad se puede llegar hasta un 93,5% en el mejor escenario.

Con los valores mostrados en la tabla 23, se estiman los valores de los indicadores de mantenimiento para las situaciones A y B, los cuales se muestran en la tabla 24.

Tabla 24–Comparación de los indicadores de mantenimiento de la situación actual vs la situación propuesta

Línea de producción	Situación actual		Situación propuesta (opción A)		Situación propuesta (opción B-)	
	MTBF	Disponibilidad mecánica	MTBF	Disponibilidad mecánica	MTBF	Disponibilidad mecánica
Doypack I	17,63	74%	29,39	85%	58,77	92%
Doypack II	12,62	73%	21,04	84%	42,08	92%
Doypack IV	22,59	75%	37,65	85%	75,3	92%
Flowpack	36,98	77%	61,63	86%	123,25	93%
L-70	9,21	71%	15,35	83%	30,7	91%
PROMEDIO	19,81	74%	33,012	84%	66,02	92%

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la tabla 24, al aplicar el método RCM, el MTBF aumentaría de forma considerable, lo que significa que el tiempo entre fallas sería el doble o triple de extenso en comparación a la situación actual, lo que se considera como bueno, ya que se tendría una disminución considerable de fallas por línea de producción.

Respecto a la disponibilidad mecánica, esta aumentaría en un 10% promedio para la opción A y un 20% aproximadamente para la opción B, lo cual se considera como bueno ya que en el mejor escenario se llegaría a una disponibilidad mecánica sobre el 90%. Cabe recordar que la disponibilidad mecánica variará de acuerdo al tiempo que se encuentre detenida la línea por temas de mantenimiento. Para obtener los valores de la disponibilidad mecánica, se hizo un supuesto donde se dice que el tiempo detenido debido al departamento de mantenimiento disminuye linealmente de acuerdo a la cantidad de fallas, es decir, si las fallas disminuyen en un X%, el tiempo mecánico detenido disminuye también en X%.

4.1. Cálculo de la rentabilidad del proyecto (peor y mejor escenario)

Tomando en cuenta los datos entregados en el apartado anterior, se generan dos flujos de caja, con el fin de poder calcular la rentabilidad del proyecto en ambos escenarios. Estos se muestran a continuación:

Tabla 25–Flujo de caja peor escenario

Año	0	1	2	3	4	5
(+) Ingresos		7029,45	7732,40	8505,64	9356,20	10291,82
(-) Egresos		-6792,86	-6792,86	-6792,86	-6792,86	-6792,86
MO		-2271,43	-2271,43	-2271,43	-2271,43	-2271,43
Costos de mantención		-3235,71	-3235,71	-3235,71	-3235,71	-3235,71
Inversión inicial	-1628,57	-1285,71	-1285,71	-1285,71	-1285,71	-1285,71
(=) Margen		236,60	939,54	1712,78	2563,35	3498,97
(=) Utilidad antes de impuestos		236,60	939,54	1712,78	2563,35	3498,97
(-) Impuestos (27%)		-63,88	-253,68	-462,45	-692,10	-944,72
(=) Utilidad después de Impuestos		172,72	685,87	1250,33	1871,24	2554,25
(=) Flujo de Caja	-1628,57	172,72	685,87	1250,33	1871,24	2554,25
(=) Flujo de Caja Actualizado	-1628,57	157,01	566,83	939,39	1278,08	1585,99
(=) Flujo de Caja Acumulado	-1628,57	-1471,56	-904,72	34,67	1312,75	2898,74

Fuente: Elaboración propia. (Valores en UF)

Tabla 26 - Indicadores peor escenario

VAN	2.899	UF
TIR	46%	porcentaje
PRI	3	años

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27 - Flujo de caja mejor escenario

Año	0	1	2	3	4	5
(+) Ingresos		12538,79	13792,67	15171,93	16689,13	18358,04
(-) Egresos		-6792,86	-6792,86	-6792,86	-6792,86	-6792,86
MO		-2271,43	-2271,43	-2271,43	-2271,43	-2271,43
Costos de mantención		-3235,71	-3235,71	-3235,71	-3235,71	-3235,71
Inversión inicial	-1628,57	-1285,71	-1285,71	-1285,71	-1285,71	-1285,71
(=) Margen		5745,93	6999,81	8379,08	9896,27	11565,18
(=) Utilidad antes de impuestos		5745,93	6999,81	8379,08	9896,27	11565,18
(-) Impuestos (27%)		-1551,40	-1889,95	-2262,35	-2671,99	-3122,60
(=) Utilidad después de Impuestos		4194,53	5109,86	6116,73	7224,28	8442,58
(=) Flujo de Caja	-1628,57	4194,53	5109,86	6116,73	7224,28	8442,58
(=) Flujo de Caja Actualizado	-1628,57	3813,21	4223,03	4595,59	4934,28	5242,18
(=) Flujo de Caja Acumulado	-1628,57	2184,64	6407,66	11003,25	15937,53	21179,71

Fuente: Elaboración propia. (Valores es UF)

Tabla 28 - Indicadores mejor escenario

VAN	21.180	UF
TIR	278%	porcentaje
PRI	1	años

Fuente: Elaboración propia.

4.1.1 Explicación flujos de caja

En ingresos se considera el ahorro que anualmente dejaría de perder la empresa debido al aumento en la producción que se generaría al aplicar el método RCM. La gran diferencia que existe en los valores de los ingresos en ambos flujos de caja, se debe a que en el primer escenario se considera una disminución de un 40% en la cantidad de fallas y una disminución de un 70% en el segundo y mejor escenario. Además, que en estos, solo se considera el 25% de la capacidad productiva de las líneas de producción.

Respecto a los egresos, estos se mantienen igual en ambos escenarios, ya que se considera solo la mano de obra, los costos de mantenimiento y la inversión (donde se considera también las capacitaciones que se deben realizar al personal de planta).

Luego para el cálculo de la tasa de descuento, se utiliza el método CAPM. Su fórmula se muestra a continuación:

$$R = R_f + (R_m - R_f) * B$$

Donde:

Rf: Tasa libre de riesgo, en este caso se utilizará 5,65%³².

Rm: Tasa de rentabilidad observada en el mercado manufacturero, en este caso 10,74%³³.

B: Beta: Relación que existe entre el riesgo del proyecto respecto al riesgo del mercado, en este caso es de un 0,91³⁴, ya que se considera una empresa de servicios industriales. Al ser un valor menor a 1, el proyecto se considera menos riesgoso respecto al riesgo del mercado.

Por lo tanto, la tasa de descuento sería:

$$R = 5,65\% + (10,74 - 5,65\%) * 0,91 = 10,28\%$$

Finalmente, se puede concluir de acuerdo a los indicadores mostrados en las tablas 26 y 27, que el proyecto es rentable en ambos escenarios, ya que el VAN es mayor a 0, es decir, la aplicación del método RCM en Empresas Demaria S.A, generaría una ganancia entre 2.899 y 21.180 UF. Respecto a la tasa interna de retorno (TIR), la cual fluctuaría entre un 46% y un 278%, se considera como buena, ya que este sería el porcentaje de beneficio que tendría implementación del método. En último lugar, el periodo de recuperación de la inversión se vería entre el primer y tercer año, dependiendo de la disminución de la cantidad de fallas que se genere al aplicar el método.

³² <http://www.bcentral.cl/web/guest/-/estimacion-del-premio-por-riesgo-en-chi-1>

³³ https://www.subtel.gob.cl/images/stories/articles/procesostarifarios/asocfile/estt_ctr_anexoiii.pdf

³⁴ Adamodar online (<http://pages.stern.nyu.edu/adamodar>).

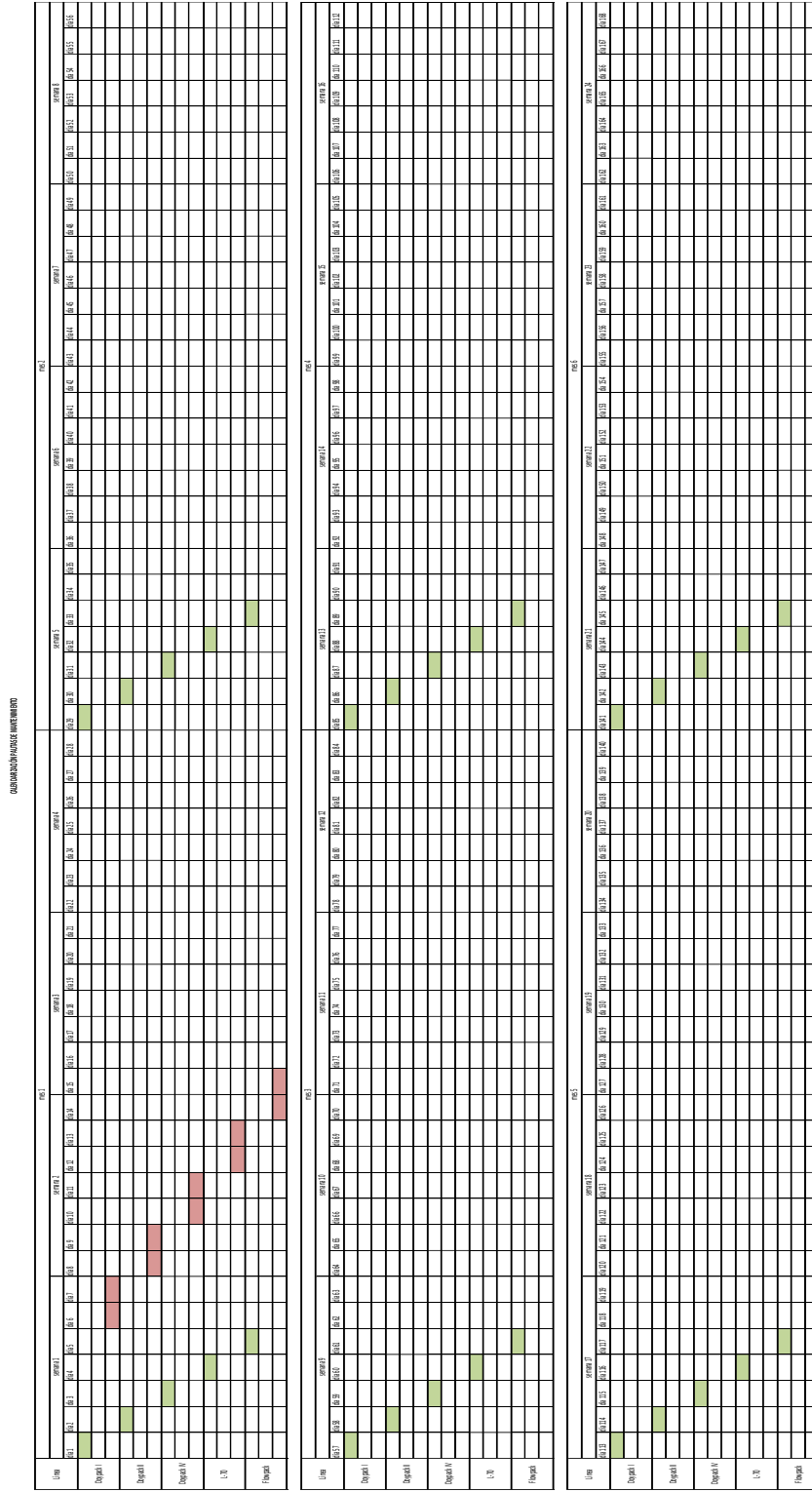
Conclusiones y recomendaciones

En el siguiente apartado, se muestran las conclusiones y recomendaciones, del presente trabajo de título.

5.1. Conclusiones

- Se identificaron las líneas críticas de la planta de producción de Empresas Demaria S.A, delimitando el objeto de estudio a solo cinco de las catorce líneas de producción, estas son: Chancaca envasado o Flowpack, Doypack I, Doypack II, Doypack IV y L.70.
- Se encontró que el problema principal de Empresas Demaria S.A, recae en la baja disponibilidad de las líneas de producción, ya que actualmente la organización cuenta con una disponibilidad de un 55% promedio, es decir, que del 100% del tiempo que debería estar disponible la línea de producción para producir, solo está disponible el 55% del tiempo aproximadamente. El 45% del tiempo restante, se debe exclusivamente a detenciones de la línea de envasado, ya sea por fallas mecánicas u operacionales.
- Se propuso la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), para atacar el problema actual de EDSA, con la cual se pretende disminuir la cantidad de fallas alrededor de un 40% a 70% y así, aumentar la disponibilidad de línea de un 55% a un 93% en el mejor escenario.
- Se realizó una propuesta de pautas de mantenimiento, la cual se mostró en el capítulo anterior, agrupada por línea de producción y luego por frecuencia (diaria, mensual o anual). Las cuales se deben calendarizar, tal como se muestra en la figura 24, mostrando la fecha en la cual se deben realizar las pautas mensuales y semestrales.

Figura 24 - Ejemplo de la calendarización de pautas preventivas



Fuente: Elaboración propia.

Donde los recuadros de color verde indicarían las mantenciones preventivas mensuales y los recuadros de color rojo las mantenciones preventivas semestrales. (Solo se muestran 6 meses en el ejemplo).

- Anualmente la organización deja de producir \$170.000.000 promedio debido a detenciones de línea provocadas por fallas mecánicas. Sin embargo, con la implementación del RCM se espera una disminución de este valor hasta de \$120.000.000 anuales aproximadamente en el mejor escenario.
- Asimismo, la implementación del método, permitiría un aumento en el indicador OEE, de un 50% a un 79% aproximadamente en el mejor escenario. Lo que se considera como bueno, ya que la meta de EDSA es llegar a un OEE promedio de 70% mensual.
- Además, se ve una mejora importante en los indicadores de mantenimiento (MTBF y disponibilidad mecánica). Ya que el tiempo medio entre fallas aumentaría el doble o triple dependiendo de la disminución de la cantidad de fallas al aplicar la metodología. Y la disponibilidad mecánica podría llegar incluso sobre un 90% en el mejor escenario, generando por ende una mejora sustancial en la confiabilidad de la planta.
- Finalmente, para conocer la rentabilidad del proyecto, se calculó el VAN de cada uno de los flujos de caja (peor y mejor escenario), siendo este mayor a cero en ambas ocasiones. Por lo que la implantación del método RCM a las cinco líneas de producción en estudio, se considera rentable, generando una ganancia entre 2.899 UF y 21.180 UF aproximadamente. Además, tasa interna de retorno (TIR), fluctuaría entre un 46% y un 278%, considerándose como buena, ya que este sería el porcentaje de beneficio que tendría implementación del método. En último lugar, el periodo de recuperación de la inversión se vería entre el primer y tercer año, dependiendo de la disminución de la cantidad de fallas que se genere al aplicar el método.

Debido a todos los puntos mencionados anteriormente, se llega a la conclusión de que la implementación del método RCM para las 5 líneas de producción en estudio (Flowpack, L-70, Doypack I, II y IV) de Empresas Demaria S.A, es totalmente rentable y aconsejable para la organización.

5.2. Recomendaciones

- Revisar el método del cálculo de la disponibilidad total de planta.
- Mejorar la planilla en la cual se registran los PR, asimismo ir registrando día a día estos datos, con el fin de que en un futuro se cuente con registro histórico confiable para seguir mejorando los planes de mantenimiento, y así ir reduciendo la cantidad de fallas por línea de producción.
- Instalar la lubricación automática en cada una de las líneas de producción.
- Capacitaciones hacia el personal de planta sobre los ajustes básicos de las máquinas y/o equipos que componen las líneas de producción.
- En el caso de que la empresa quiera implementar el método RCM, se recomienda considerar este método como parte de la estrategia de la organización, y no como una iniciativa exclusivamente del departamento de mantención.
- Es importante también mencionar, que al momento de implementar RCM, es importante tener retroalimentación, para así ir mejorando continuamente.
- Además, se debe tener en cuenta que la implementación del RCM requiere de personal capacitado y suficiente.
- Se debe tener en cuenta que no todos los problemas de mantenimiento deben atacarse a través de la metodología RCM, es decir, hay veces en que solo es necesario mantener el mantenimiento correctivo, o en otros casos se debe realizar un estudio de reingeniería para las máquinas y/o equipos que aun con mantenimiento preventivo las fallas se siguen presentando.
- Finalmente, se debe tener en cuenta, que los resultados de la implementación del RCM no son inmediatos, si no que estos se podrán ver en el periodo de uno a tres años.

Anexos

6.1. Encuesta para la selección de procesos

Con el fin de delimitar el objeto de estudio, se realiza una encuesta al equipo de mantenimiento, al cual se le muestran los criterios acordados junto al jefe del mismo departamento, teniendo ellos que otorgar puntaje de 1 a 6, en orden de importancia según el impacto que estos tienen hacia la Planta de producción, siendo seis el “más relevante” y 1 el “menos relevante”. Los resultados se muestran a continuación:

Criterio	Puntaje otorgado
Volumen de producción.	4
Frecuencia de fallas.	5
Costos de mantención.	6
Ingreso por venta.	2
Tasa de ocupación.	1
Tiempo de detención.	3

Criterio	Puntaje otorgado
Volumen de producción.	3
Frecuencia de fallas.	6
Costos de mantención.	4
Ingreso por venta.	2
Tasa de ocupación.	1
Tiempo de detención.	5

Criterio	Puntaje otorgado
Volumen de producción.	6
Frecuencia de fallas.	5
Costos de mantención.	4
Ingreso por venta.	1
Tasa de ocupación.	2
Tiempo de detención.	3

Criterio	Puntaje otorgado
Volumen de producción.	5
Frecuencia de fallas.	6
Costos de mantención.	3
Ingreso por venta.	2
Tasa de ocupación.	1
Tiempo de detención.	4

Criterio	Puntaje otorgado
Volumen de producción.	5
Frecuencia de fallas.	6
Costos de mantención.	3
Ingreso por venta.	4
Tasa de ocupación.	2
Tiempo de detención.	1

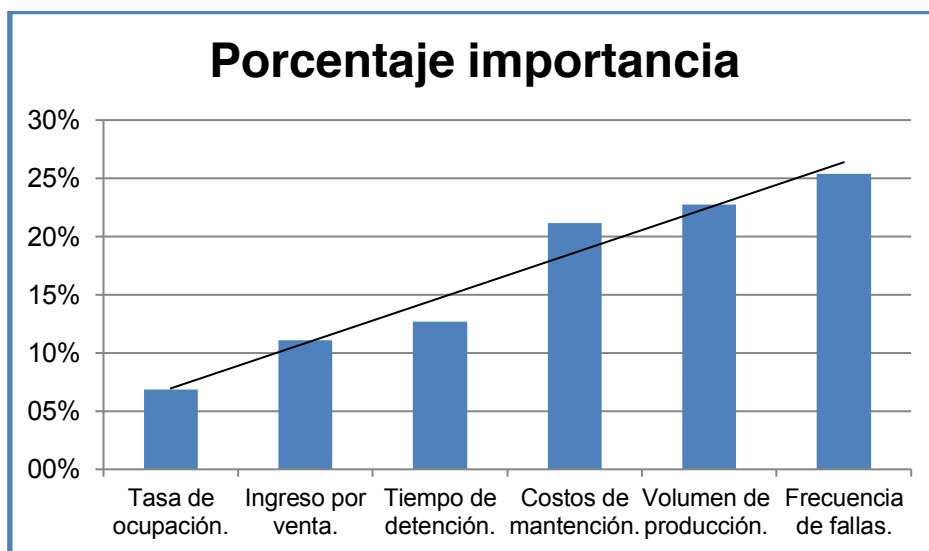
Criterio	Puntaje otorgado
Volumen de producción.	4
Frecuencia de fallas.	6
Costos de mantención.	5
Ingreso por venta.	3
Tasa de ocupación.	1
Tiempo de detención.	2

Criterio	Puntaje otorgado
Volumen de producción.	4
Frecuencia de fallas.	5
Costos de mantención.	6
Ingreso por venta.	2
Tasa de ocupación.	1
Tiempo de detención.	3

Criterio	Puntaje otorgado
Volumen de producción.	6
Frecuencia de fallas.	4
Costos de mantención.	5
Ingreso por venta.	3
Tasa de ocupación.	1
Tiempo de detención.	2

Criterio	Puntaje otorgado
Volumen de producción.	6
Frecuencia de fallas.	5
Costos de mantención.	4
Ingreso por venta.	2
Tasa de ocupación.	3
Tiempo de detención.	1

Gráfico 7 - Porcentaje encuesta



Fuente: Elaboración propia.

Al finalizar la encuesta, se muestra una clara tendencia hacia los tres criterios que están directamente relacionados con el objeto de estudio, estos son, frecuencia de falla, volumen de producción y costos de mantención, los cuales tienen cerca del 70% de importancia.

6.2. Encuesta para la selección de causas

Con el fin de jerarquizar las causas mencionadas en el diagrama de Ishikawa, se realiza un diagrama de Pareto, para lo cual se realiza una encuesta a expertos, dirigida al departamento de mantenimiento, y a los 5 EPP de cada una de las líneas de producción en estudio, siendo un total de 14 encuestados. Los cuales tendrán que indicar, cual es la causa principal, que ellos creen que genera la baja disponibilidad de línea. Los resultados se muestran a continuación:

Tabla 29 - Causas jerarquizadas, elaboración diagrama de Pareto

Causas	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada
Falla de máquinas y/o equipos	9	64%	64%
Errores del personal de línea	3	21%	86%
Alto tiempo de reparación	1	7%	93%
Falta de equipos	1	7%	100%
Fallas reiterativas sin solución definitiva	0	0%	100%
Falta de insumos	0	0%	100%
Materia prima con defectos	0	0%	100%
Personal de mantenimiento poco capacitado	0	0%	100%
Falta de personal de mantenimiento	0	0%	100%
Falta de personal de línea	0	0%	100%
Falta de instructivos de mantenimiento	0	0%	100%
Solo se emplea mantenimiento correctivo	0	0%	100%
Proceso de mantenimiento mal ejecutado	0	0%	100%

Fuente: Elaboración propia, en base a encuesta a expertos de EDSA.

Tal como se puede apreciar en la tabla 11, la causa “Falla de máquinas y/o equipos” obtiene un 64% de importancia sobre las demás causas, seguida por “Errores del personal de línea” con un 21%, pero cabe recordar que este último factor solo depende de capacitaciones hacia los operadores. Por lo que es necesario poner especial atención a las fallas de las máquinas y/o equipos de cada una de las cinco líneas de producción en estudio.

6.3. Medidas preventivas y frecuencia de estas, para cada modo de falla

En el presente apartado se muestran las medidas preventivas con su respectiva frecuencia para cada modo de falla, para cada una de las líneas de producción en estudio. Cabe destacar que solo se tomaron en consideración las fallas más comunes.

Tabla 30 - Medidas preventivas, Flowpack

Falla	Modo de falla	Criticidad	Medidas preventivas		
			Diaria	Mensual	Semestral
Falla cinta alimentadora de panes	Suciedad (restos de chancaca)	Tolerable	Limpieza de cinta		
	Se traba algún eslabón de la cinta	Importante	Limpieza de guías	Verificación del correcto funcionamiento de la cinta	
	Falla en el motor	Importante			Inspección mecánica y eléctrica del correcto funcionamiento del motor
	Falla en la cadena de transmisión	Tolerable	Inspección visual de la cadena de transmisión	Lubricación de la cadena de transmisión	
Falla sistema de traspaso	Desgaste de teflones	Tolerable		Verificación del desgaste de teflones	Cambiar teflones, en caso de ser necesario
	Falla cilindro neumático	Tolerable			Verificación del correcto funcionamiento
	Trabamiento de algún pan de chancaca con el cilindro de expulsión	Importante	Limpieza de guías	Ajuste de guías, en caso de ser necesario	
	Ruptura de algún perno de sujeción	Tolerable			Inspección de los pernos de sujeción
Falla inyectora	Suciedad en el cabezal de impresión (restos de tinta)	Importante	Limpieza del cabezal de impresión		
	Falta de insumos	Tolerable	Inspección de stock de insumos		

	Falla interna del equipo (manguera, bomba, viscosidad, entre otros)	Importante			Mantenimiento externo
	Golpe o caída del cabezal de impresión	Importante	Inspección visual del cabezal de impresión	Verificación de la sujeción del cabezal	
Falla triángulo formador de túnel	Suciedad (acumulación de chancaca)	Tolerable	Limpieza del triángulo		
	El triángulo se corre de su posición	Tolerable	Limpieza del triángulo	Verificación de la posición del triángulo	
Falla selladores	Muerde el pan de chancaca	Importante	Lubricación de cadena	Verificación del correcto funcionamiento del triángulo formador de túnel	
	Calefactores quedan sin temperatura (fallan)	Tolerable	Inspección visual de los calefactores	Verificación de la temperatura de selladores	Cambio de calefactores, en caso de ser necesario
	Desgaste de mordazas	Importante	Inspección visual de mordazas	Verificación del desgaste de mordazas	
	Desplazamiento de la posición de sellado	Importante	Inspección visual de la posición de sellado	Lubricación de engranajes	
	Desgaste del cuchillo	Tolerable	Inspección visual del cuchillo	Verificación del filo del cuchillo	Cambio de cuchillos, en caso de ser necesario
Falla detector de metales	Se rompe la cinta del detector	Importante		Verificación del estado de la cinta, en caso de ser necesario cambiar	
	Falla en la tarjeta electrónica del detector	Importante			Inspección de la tarjeta electrónica
	Mala configuración de los parámetros de fábrica	Importante			Verificación de los parámetros del detector de metales

Fuente: Elaboración propia, en base a datos históricos y experiencia de los colaboradores.

Tabla 31 - Medidas preventivas, Doypack I, II y IV

			Medidas preventivas		
Falla	Modo de falla	Criticidad	Díaria	Mensual	Semestral
Falla inyectora	Suciedad en el cabezal de impresión (restos de tinta)	Importante	Limpieza del cabezal de impresión		
	Falta de insumos	Tolerable	Inspección de stock de insumos		
	Falla interna del equipo (manguera, bomba, viscosidad, entre otros)	Importante			Mantenimiento externo
	Golpe o caída del cabezal de impresión	Importante	Inspección visual del cabezal de impresión	Verificación de la sujeción del cabezal	
Falla selladores	Problemas con calefactor	Importante	Inspección visual del calefactor	Verificación de la temperatura del calefactor	Cambio de calefactor, en caso de ser necesario
	Problema con termocupla	Importante			Cambio de termocupla, en caso de ser necesario
	Mal ajuste de posición y presión	Tolerable	Inspección visual de la posición y presión de los selladores	Ajustar la posición y presión de los selladores, en caso de ser necesario	
Tijeras no cortan	Desgaste del filo	Crítica	Inspección visual del filo	Verificación del filo de las tijeras	Cambio de tijeras
	Sistema de refrigeración en mal estado	Tolerable		Verificación del correcto funcionamiento del sistema de refrigeración	Mantenimiento externo
	Desgaste del buje interno	Importante	Inspección visual del buje interno	Verificación del correcto funcionamiento del buje interno	Cambio del buje
	Rodamiento seguimiento de leva en mal estado	Importante		Verificación del estado del rodamiento de leva	Cambio del rodamiento de leva

	Ruptura de resortes	Importante		Inspección de resortes	Cambio de resorte, en caso de ser necesario
Falla corte troquel (Doypack IV)	Desgaste del filo	Crítica	Inspección visual del filo	Verificación del correcto funcionamiento del filo	Cambio de troquel, en caso de ser necesario
	Mal ajuste de posición	Importante	Inspección visual de la posición del troquel	Ajuste de la posición del troquel, en caso de ser necesario	
Falla la posición de ventosas	Ventosas en mal estado	Importante		Inspección visual de ventosas	Cambio de ventosas
	Falla de válvulas de vacío	Importante		Verificación del correcto funcionamiento de las válvulas de vacío	Limpeza de mangueras, en caso de ser necesario
	Filtro sucio	Importante	Inspección visual del filtro	Limpeza del filtro, en caso de ser necesario	Cambio de filtro, en caso de ser necesario

Fuente: Elaboración propia, en base a datos históricos y experiencia de los colaboradores.

Tabla 32 - Medidas preventivas, L-70

			Medidas preventivas		
Falla	Modo de falla	Criticidad	Diaria	Mensual	Semestral
Falla tapadora	Problema con bajada de tapas	Importante		Verificación del ajuste de guías	
	Fallan los cabezales tomadores de tapas	Crítica	Limpeza del cabezal tomador	Verificación del estado del resorte y el oring de los cabezales	Cambio de oring y lubricación del eje de resortes
	Deslizamiento de la posición de estrella	Importante	Inspección visual de la posición de la estrella	Verificación de la altura de la estrella, y si es necesario ajustar	
Falla aplicadora	Mal ajuste del sensor de estrella	Tolerable	Inspección visual del sensor de estrella	Verificación de la posición del sensor	
	Problema con la bajada de aplicadores	Importante		Verificación del ajuste de guías	

	Fallan los cabezales tomadores de aplicadores	Importante	Limpieza del cabezal tomador	Verificación del estado del resorte y el oring de los cabezales	Cambio de oring y lubricación de resortes
	Deslizamiento de la posición de estrella	Importante	Inspección visual de la posición de la estrella	Verificación de la altura de la estrella, y si es necesario ajustar	
Falla etiquetadora	Ruptura de cinta transportadora	Importante	Limpieza de cinta	Verificación del estado de la cinta	Cambio del eslabón de la cinta en mal estado, en caso de ser necesario
Falla inyectora	Suciedad en el cabezal de impresión (restos de tinta)	Importante	Limpieza del cabezal de impresión		
	Falta de insumos	Tolerable	Inspección de stock de insumos		
	Falla interna del equipo (manguera, bomba, viscosidad, entre otros)	Importante			Mantenimiento externo
	Golpe o caída del cabezal de impresión	Importante	Inspección visual del cabezal de impresión	Verificación de la sujeción del cabezal	

Fuente: Elaboración propia, en base a datos históricos y experiencia de los colaboradores.