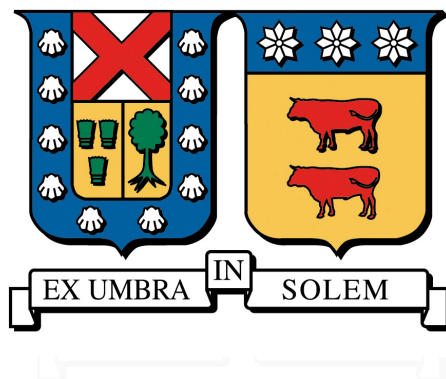


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS
VALPARAÍSO - CHILE



**DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE MEJORA PARA EL ABASTECIMIENTO DE
REPUESTOS EN EL ÁREA DE MANTENIMIENTO DE CMPC PLANTA ENVASES
IMPRESOS S.A.**

NICOLÁS ALFONSO MARTÍN PAVEZ

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

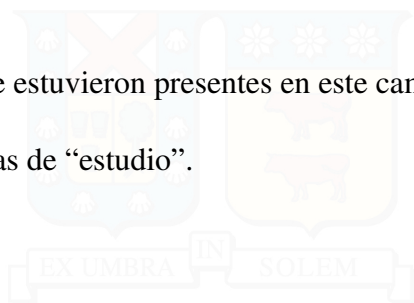
PROFESOR GUÍA : FREDY KRISTJANPOLLER
PROFESOR CORREFERENTE :

MAYO 2019

AGRADECIMIENTOS

Agradezo en primer lugar a mi Familia quienes me dieron todo su apoyo durante este proceso. Gracias por la confianza y el ánimo entregado.

También a mis amigos que estuvieron presentes en este camino. Fueron fundamentales, en particular por esas largas veladas de “estudio”.



Por último, agradecer a mis profesores, quienes me entregaron importantes herramientas para poder desenvolverme en el mundo laboral.

Gracias!!!

RESUMEN EJECUTIVO

Debido al alto nivel de exportaciones desde Chile hacia el mundo, existe un uso intensivo de envases de cartón, particularmente para la industria hortofrutícola y vitivinícola. Es por esta razón que los equipos utilizados para su fabricación deben encontrarse disponibles para cumplir con los plazos de entrega establecidos. A partir de esta necesidad, una correcta gestión de abastecimiento e inventario de repuestos se vuelve crucial para asegurar la continuidad operacional.

El objetivo principal de este trabajo es determinar la estrategia de abastecimiento para la máquina con mayor criticidad de la cadena productiva dentro de CMPC - Envases Impresos S.A., para así, a largo plazo, implementar la estrategia dentro de toda la empresa.

De manera previa, se realiza un diagnóstico para corroborar que la mala gestión de repuestos es realmente una limitante dentro del área de mantenimiento.

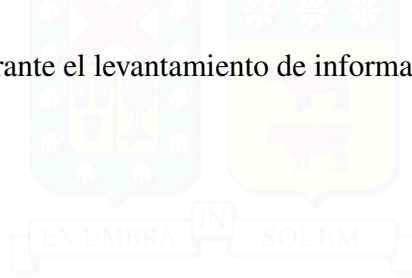
Para entregar el nivel de servicio adecuado que requiere la máquina corrugadora (encargada de fabricar y suministrar placas de cartón al resto de máquinas), se debe definir los repuestos críticos y así determinar cuales deben encontrarse en stock de manera constante. Para ello se utilizó un análisis cualitativo (ABCZ) en conjunto con el área de mantenimiento de la empresa para determinar el nivel de criticidad de los repuestos.

Utilizando las herramientas de gestión de inventario y ayudado por Pandas (Python), se determinaron los inventarios de seguridad para cada repuesto generando 3 propuestas a analizar.

Con la intención de disminuir los costos de inventario y aumentar la disponibilidad de repuestos utilizado en las labores de mantenimiento, se selecciona la estrategia con menor costo de implementación y que entrega el mayor nivel de servicios entre las 3. El costo de su

implementación es de \$374.656.496 sin embargo, tras valorizar el inventario excedente en caso de aplicar la política seleccionada , se obtiene un total de s \$391.239.752 en activos inmovilizados, lo cual si bien no entrega liquidez, genera ahorros a largo plazo en caso de direccionar recursos a la compra de repuestos por debajo del stock de seguridad propuestos.

Finalmente se realiza una serie de recomendaciones al área de mantenimiento con el fin de mejorar falencias detectadas durante el levantamiento de información y desarrollo de propuestas.



Índice de Contenidos



Capítulo 1	Introducción	1
Capítulo 2	Problema de investigación	3
Capítulo 3	Objetivos	6
3.1	Objetivo General	6
3.2	Objetivos Específicos	6
Capítulo 4	Marco Teórico	8
4.1	Mantenimiento	8
4.1.1	Políticas de Mantenimiento	9
4.2	Auditoría MWCS	14
4.3	Análisis Causa Raíz	16
4.4	Análisis de Criticidad	17
4.4.1	Modelo de Criticidad semicuantitativo CTR	17
4.4.2	Análisis ABC	21
4.4.3	Análisis ABCZ	23

4.5	Modelos de Gestión de Inventario	24
4.5.1	Modelo de Cantidad Fija o Económica de Pedido (EOQ)	25
4.5.2	Sistema de Revisión Continua	27
4.5.3	Sistema de Revisión Periódica	29
4.6	5S	30
4.7	Mantenimiento basado en confiabilidad	31
4.8	Pandas	31
Capítulo 5	Antecedentes	33
5.1	Descripción de la empresa	33
5.2	Descripción planta Buin	34
5.2.1	Organización	34
5.2.2	Mercados	35
5.2.3	Linea productiva	35
5.3	Etapas de Fabricación	38
5.3.1	Corrugado	40
5.3.2	Conversión	45
5.4	Área de mantenimiento	46
Capítulo 6	Metodología	48
6.1	Detección del área de mejora	50
6.2	Detección de causas del problema	51
6.2.1	Diagnóstico	51
6.2.2	Análisis de diagnóstico	51

6.3	Formulación de objetivo	53
6.4	Seleccionar las acciones de mejora	53
6.4.1	Levantamiento de información	54
6.4.2	Análisis de Criticidad	55
6.4.3	Análisis de datos	55
6.5	Propuestas de mejora	56
6.6	Proyección de Mejora y pre-evaluación	56
Capítulo 7	Desarrollo y Resultados	57
7.1	Área de mejora	57
7.2	Diagnóstico	57
7.3	Diagrama Causa raíz	59
7.4	Análisis de Criticidad	62
7.4.1	Principio de Pareto	63
7.4.2	Repuestos críticos	65
7.5	Políticas de inventario	66
7.6	Propuestas	68
Capítulo 8	Recomendaciones	75
8.1	Eliminación de exceso de inventario	75
8.2	Estandarización de repuestos	76
8.3	Implementación de la metodología	76
8.4	Periodicidad del análisis	77
8.5	Gestión de talento	77

8.6 Transición hacia RCM y monitoreo de condiciones	78
Capítulo 9 Conclusiones	79
Capítulo 10 Bibliografía	82
Capítulo 11 Anexos	85



Índice de Tablas

4.1 Resumen evaluación Auditoría MES. (Fuente: Parra & Crespo, 2012.)	15
6.1 Categorización de problemáticas detectadas. (Fuente: Elaboración propia.)	52
6.2 Clasificación de duración en el desarrollo de mejora. (Fuente: Elaboración propia.)	52
6.3 Clasificación plazo esperado en implementación de mejora. (Fuente: Elaboración propia.)	52
6.4 Clasificación de impacto de la mejora. (Fuente: Elaboración propia.)	53
6.5 Clasificación costo. (Fuente: Elaboración propia.)	53
7.1 Categorización de problemáticas detectadas. (Fuente: Elaboración propia.)	59
7.2 Clasificación según criticidad. (Fuente: Elaboración propia.)	65
7.3 Demandas trimestrales totales. (Fuente: Elaboración propia.)	67
7.4 Máximas demandas trimestrales registradas $\forall n$ (Fuente : <i>Elaboración propia.</i>) @. (Fuente : <i>Elaboración propia.</i>)	68
7.5 Propuesta N°1. (Fuente: Elaboración propia.)	69
7.6 Propuesta N°2. (Fuente: Elaboración propia.)	70
7.7 Propuesta N°3. (Fuente: Elaboración propia.)	70

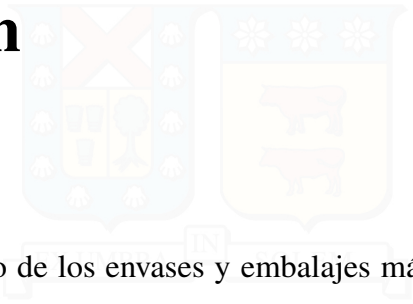
Índice de Figuras

4.1	Evolución de políticas de mantenimiento. (Fuente: Grajales, 2006.)	10
4.2	Diagrama Causa Raíz. (Fuente: Pedro Ruiz-López, 2005.)	16
4.3	Matriz análisis de criticidad. (Fuente: Cáceres, 2004.)	21
4.4	Análisis ABC. (Fuente: Waters, 2003.)	22
4.5	Clasificación de repuestos ABCZ. (Fuente: GTM, 2019.)	23
4.6	Modelo del Flujograma de criticidad. (Fuente: Crespo, 2017.)	24
5.1	Diagrama de Flujo por máquinas. (Fuente: Envases Impresos S.A. 2019.)	36
5.2	Diagrama de Flujo proceso de fabricación de caja. (Fuente: Envases Impresos S.A. 2019.)	39
5.3	Identificación de liner y papel onda. (Fuente: Elaboración propia)	40
5.4	Porta rollos y empalmador. (Fuente: Planta Buin Sur)	41
5.5	Polín corrugador. (Fuente: Planta Buin Sur.)	42
5.6	Mesa de secado. (Fuente: Planta Buin Sur.)	43
5.7	Slitter, máquina de corte longitudinal . (Fuente: Planta Buin Sur.)	44
5.8	Paletizado automático. (Fuente: Planta Buin Sur.)	44

5.9	Bodega de placas. (Fuente: Planta Buin Sur.)	45
5.10	Planta de conversión. (Fuente: Planta Buin Norte.)	46
6.1	Diagrama Metodológico. (Fuente: Elaboración propia.)	50
7.1	Valores Meta de MWCS. (Fuente: Envases Impresos S.A.)	58
7.2	Resultados cuestionario 2019. (Fuente: Envases Impresos S.A.)	58
7.3	Diagrama causa raíz. (Fuente: Elaboración propia.)	61
7.4	Clasificación ABC. (Fuente: Elaboración propia.)	63
7.5	Segmento propuesto a analizar . (Fuente: Elaboración propia.)	64
7.6	Comparación Costo/Nivel de Servicio. (Fuente: Elaboración propia.)	72
11.1	Matriz análisis de criticidad. (Fuente: Elaboración propia.)	86
11.2	Repuestos A+. (Fuente: Elaboración propia.)	87
11.3	Repuestos A. (Fuente: Elaboración propia.)	88
11.4	Repuestos A. (Fuente: Elaboración propia.)	89
11.5	Repuestos A. (Fuente: Elaboración propia.)	90
11.6	Repuestos B. (Fuente: Elaboración propia.)	91
11.7	Repuestos B. (Fuente: Elaboración propia.)	92
11.8	Repuestos B. (Fuente: Elaboración propia.)	93
11.9	Repuestos B. (Fuente: Elaboración propia.)	94
11.10	Repuestos B. (Fuente: Elaboración propia.)	95
11.11	Repuestos B. (Fuente: Elaboración propia.)	96
11.12	Repuestos B. (Fuente: Elaboración propia.)	97
11.13	Repuestos C. (Fuente: Elaboración propia.)	98

11.14 Repuestos C. (Fuente: Elaboración propia.)	99
11.15 Repuestos C. (Fuente: Elaboración propia.)	100
11.16 Repuestos C. (Fuente: Elaboración propia.)	101
11.17 Repuestos C. (Fuente: Elaboración propia.)	102
11.18 Repuestos C. (Fuente: Elaboración propia.)	103
11.19 Ejemplo obtención máximos puntos de reorden para periodos anteriores. (Fuente: Elaboración propia.)	104
11.20 Código Python. (Fuente: Elaboración propia.)	105
11.21 Código Python. (Fuente: Elaboración propia.)	106
11.22 Código Python. (Fuente: Elaboración propia.)	107
11.23 Código Python. (Fuente: Elaboración propia.)	108
11.24 Código Python. (Fuente: Elaboración propia.)	109
11.25 Código Python. (Fuente: Elaboración propia.)	110

1 Introducción



El cartón ondulado es uno de los envases y embalajes más utilizados en el mundo para agrupar, almacenar, transportar, exponer y vender productos de consumo. Pero hay un hecho que es la base de la actual demanda de envases y embalajes, el paso de la venta a granel anónima a la comercialización de productos envasados y embalados con marcas comerciales impresas. Según la (FNE, 2015) CMPC a través de un uso intensivo de maquinarias, es el actor más importante con una participación promedio anual de 40 % en la industria cartonera. Este uso intensivo trae como consecuencia que el mantenimiento forme parte integral del negocio de envases de cartón.

Se estima que el mantenimiento representa desde 20 % hasta el 35 % del total de los costos operacionales (Dhillon, 2008). Sin embargo, a pesar de que el mantenimiento debería ser uno de los objetivos principales del negocio, considerando que también un mantenimiento de excelencia extiende la vida útil de los equipos, esto no siempre se cumple. La estacionalidad presente en la demanda de cajas de cartón impulsan a aumentar la producción en los ciclos de alta demanda. Al utilizar la producción (ton/día) como indicador clave de desempeño, se incentiva a posponer mantenciones programadas, inspecciones, ignorar alertas tempranas de mantención, etc; para poder maximizar el tonelaje diario. Esta negligencia trae consigo un aumento en el mantenimiento

correctivo y con ello el aumento en los costos de mantención, disminución de la vida útil del equipo y además, afecta las predicciones de repuestos a utilizar en el periodo. Caso contrario ocurre en ciclos de baja demanda, donde la industria se concentra en el control de costos y donde la mantención es un nicho de optimización.

Dentro de los tiempos de mantención se encuentran los tiempos de mantenciones programadas, tiempos de mantenciones no programadas, tiempo de traslado del equipo y también existe un tiempo de espera logístico. Este tiempo de espera logístico, pocas veces considerado relevante, comprende los tiempos de espera por repuestos y por mantenedores. Si consideramos las economías de escala, una disminución en los tiempos de espera puede significar ahorros en términos de pérdidas de producción al encontrarse el equipo fuera de servicio.

Sin lugar a duda que la gestión de abastecimiento e inventario es un tema relevante en el negocio de esta industria. Si consideramos que la producción está ligada a la operación de equipos, se vuelve de vital importancia contar con los repuestos correctos, en el lugar correcto y en el tiempo correcto. Esto último asegurará la continuidad operacional de fabricación de cajas de cartón.

El objetivo de este trabajo es realizar un diagnóstico para identificar el estado del área de mantenimiento y posteriormente definir una estrategia de gestión de abastecimiento de repuestos para CMPC planta Envases Impresos S.A. Utilizando las herramientas de gestión de inventarios y análisis de criticidad se definen los repuestos críticos que asegurarán la continuidad operacional del equipo a analizar y se postulan 3 propuestas para luego seleccionar la que mejor se adecúe a las necesidades de la empresa.

2 Problema de investigación

En muchas empresas existe un conflicto constante entre los responsables de producción y mantenimiento. El primero se queja de que la atención entregada por parte de técnicos y responsables de mantenimiento no está al nivel de las mejores prácticas posibles y que las intervenciones tienen un efecto lamentable en los resultados de producción. El segundo, mantenimiento, se queja de que producción no permite detener las máquinas para realizar los mantenimientos preventivos necesarios, que muchas veces se ve obligado a realizar intervenciones correctivas y de escasa fiabilidad debido a la rapidez con que se debe entregar la máquina a producción y que además, el trato que reciben los equipos por parte del personal de producción se aleja del trato deseable.

En realidad, tal y como se constata en muchas plantas, ambos tiene razón pero es solo a través del trabajo coordinado entre ambos departamentos que se logran mejores resultados en cuanto a producción (utilización) y mantenimiento (disponibilidad). En caso de no existir sinergia entre ambas áreas se pueden provocar graves problemas para la empresa, como la disminución de productividad, uno de los aspectos que más preocupa a los ejecutivos, e incluso se puede poner en riesgo la vida de los operarios y mantenedores.

(Tavares, 2000) menciona que un mal mantenimiento y baja confiabilidad significan: bajos

ingresos, más costos de mano de obra y altos "stocks", clientes insatisfechos y productos de mala calidad, lo que, para las empresas, el costo puede significar decenas y hasta centenas de millones de dólares.

En particular para el caso de la empresa a estudiar, la entrega a tiempo del producto final se transforma en una determinante de calidad, ya que los principales clientes son empresas exportadoras de alimentos altamente perecederos y, por tanto, necesitan un rápido aprovisionamiento de envases para su transporte.

Desde este punto de vista, es de esperar que el mantenimiento trabaje en pos de mejorar/mantener la calidad de los procesos otorgando una mayor confiabilidad en el normal funcionamiento de equipos.

En la situación a analizar se presenta una problemática en este nivel, una de las máquinas que fabrica la materia prima para el resto de máquinas, posee una disponibilidad por debajo del rango meta lo cual, considerando un tiempo de operación de planta durante 24 horas diaria por 6 días a la semana, se traduce en tasas de utilización inferior a la esperada, generando constantes inconvenientes entre el área de operación, mantenimiento y una productividad fuera de los rangos deseados.

Dos caminos para abordar la disponibilidad resultante dentro del departamento de mantenimiento según (Kristjanpoller, 2018) son por medio de la Confiabilidad y Mantenibilidad. La primera se refiere a la robustez del diseño de operaciones de mantenimiento y la existencia de equipos de respaldo en aquellos que por sus condiciones lo requieran, el segundo, Mantenibilidad viene definido, según (Arata, Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales, 2009), por factores que condicionan el tiempo de ejecución del mantenimiento

dentro del intervalo de tiempo esperado. Dentro de estos factores se encuentra:

- Tiempo de preparación
- Tiempo de localización de la falla
- Tiempo de desmontaje
- Tiempo de obtención de las piezas y material necesario
- Tiempo de reparación propiamente tal
- Tiempo de ajuste y calibración
- Tiempo de montaje
- Tiempo de comprobación del buen funcionamiento del componente reparado
- Tiempo de limpieza

El principal reto es identificar el o los factores que causan esta baja disponibilidad, a través de un análisis que en primera instancia diagnostique la situación actual del área de mantenimiento y, a partir de esto, determinar y dar solución, por medio de herramientas de clase mundial, a los principales puntos que contribuyen a elevados tiempos de indisponibilidad.

3 Objetivos



3.1. Objetivo General

Desarrollo de una propuesta de mejora que aumente la disponibilidad y con ello, la rentabilidad sobre los activos fijos dentro de la línea de producción de CMPC planta Envases Impresos S.A. dando un énfasis en la criticidad de cada equipo y sus repuestos demandados.

3.2. Objetivos Específicos

Entre algunos de los objetivos específicos de esta memoria, se encuentran:

- Estudiar modelos de gestión de inventario existentes y prácticas aplicadas en empresas de clase mundial.
- Comprender el impacto producido por el quiebre de stock de repuestos dentro del proceso productivo de fabricación de cajas de cartón.
- Revelar el estado actual del área de mantenimiento de Envases Impresos S.A. por medio de un diagnóstico y su posterior evaluación.

- Desarrollar una herramienta de apoyo para la toma de decisiones en el área de mantenimiento orientada a la aprobación de compra de repuestos para los equipos de Envases Impresos S.A.
- Plantear cómo debe ser realizado el análisis de criticidad de repuestos para, en base a éste, determinar inventarios de seguridad.



4 Marco Teórico



4.1. Mantenimiento

Para abordar la problemática a estudiar, se debe tener en consideración que Envases Impresos S.A. posee un área destinada únicamente al área de mantenimiento, pero ¿qué es el mantenimiento?

Según Prando (1996) el mantenimiento se define como: *“todas aquellas actividades necesarias para mantener los equipos e instalaciones en una condición particular o volverlos a dicha condición”*.

El principal objetivo del mantenimiento es lograr la disponibilidad planeada al menor costo dentro de las recomendaciones de garantía y uso de los fabricantes de los equipos e instalaciones y las normas de seguridad. Para ello actúa sobre:

- La continuidad de la operación producción, es decir, la confiabilidad que se mide por el tiempo medio entre fallas consecutivas (MTBF).
- EL tiempo de paradas (MDT) cuando éstas se producen. El tiempo de paradas incluye el

tiempo efectivo de reparación (Mantenibilidad) MTTR que es función del diseño herramientas disponibles y destreza y capacitación del personal y, del tiempo de espera (MWT) (Soporte) que es función de la organización (sistemas y rutinas, herramientas y talleres disponibles, documentación técnica, capacitación, entrenamiento y suministro de piezas y/o repuestos).

De acuerdo con lo anterior, la disponibilidad viene dada por la relación porcentual entre el tiempo de funcionamiento y el tiempo total. Lo que se puede expresar de la forma siguiente (Ecuación 4.1):

$$Disponibilidad = \frac{MTBF}{MTBF + MDT} = \frac{MTBF}{MTBF + (MTTR + MWT)} \quad (4.1)$$

Por otra parte, el mantenimiento se debe entender como un conjunto de actividades dinámicas que a lo largo de la historia han sufrido diversos cambios, por ejemplo, desde finales del siglo XIX, gatillado por la segunda guerra mundial y la producción en serie (iniciada por Ford), la reparación del equipo ya no recaería en las manos del operario sino en un encargado de reparar las averías.

4.1.1. Políticas de Mantenimiento

Según los objetivos y metas de Envases Impresos S.A., el mantenimiento se debe implementar en post de su cumplimiento por medio de la política que mejor se adecúe.

Las políticas de mantenimiento y su evolución se presentan a continuación (Ver [Figura 4.1](#)):

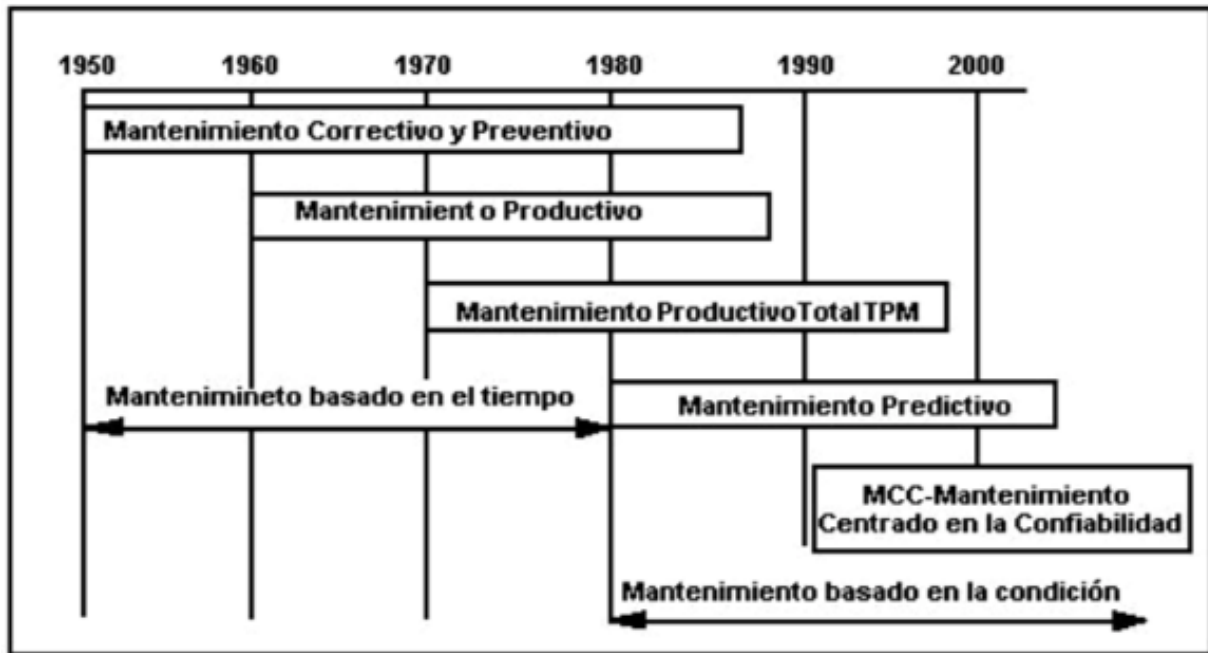


Figura 4.1: Evolución de políticas de mantenimiento.

(Fuente: Grajales, 2006.)

- **Correctivas:** se refiere a la sustitución de un elemento o equipo tras generarse una falla en el, estas a su vez se pueden clasificar en:
 - No planificado: Es el mantenimiento de emergencia. Se debe realizar con urgencia, ya sea por una avería imprevista a repararla lo mas pronto posible o por una condición imperativa que hay que satisfacer (problemas de seguridad, de contaminación, de aplicación de normas legales, etc.)
 - Planificado: Es aquel en donde se sabe con antelación que es lo que debe hacerse, de modo que cuando se detenga el equipo para efectuar la reparación, se disponga del personal, repuestos y documentos técnicos necesarios para realizarla correctamente.
- **Preventivas:** Consiste en la sustitución de elementos antes de falla. Esta política cubre todo el mantenimiento programado que se realiza con el fin de:

- Prevenir fallas. Se conoce como Mantenimiento Preventivo Directo o Periódico (mantenimiento basado en el tiempo), por cuanto sus actividades están controladas por el tiempo. Se basa en la confiabilidad de equipos (MTBF) sin considerar las peculiaridades de una instalación dada. Por ejemplo, la limpieza, lubricación, o recambios programados.
- Detectar las fallas antes que se desarrollen en una ruptura u otras interferencias en producción. Esta basado en inspecciones, medidas y control de nivel de condición de los equipos. También conocido como mantenimiento basado en condición. A diferencia del mantenimiento basado en el tiempo, que asume que los equipos e instalaciones siguen cierta clase de comportamiento estadístico, el mantenimiento basado en condición verifica muy de cerca la operación de cada máquina en su entorno real. Sus beneficios son difíciles de cuantificar, ya que no se dispone de métodos tipo para el cálculo de los beneficios o del valor derivado de su aplicación.
- **Predictivas:** Corresponde a la sustitución de elementos tras síntoma. Es una técnica para pronosticar el punto futuro de falla de un componente de una máquina, de tal forma que dicho componente pueda reemplazarse, con base en un plan, justo antes que falle. Así, el tiempo muerto del equipo se minimiza y el tiempo de vida del componente se maximiza.
- **Productiva:** Corresponde a la suma de acciones preventivas con las de mejoramiento continuo.
- **Mantenimiento productivo total:** Nace en Japón durante las décadas de los 70's y 80's orientado a los nuevos círculos de calidad total, basándose en 5 principios fundamentales
 - Incrementar la confiabilidad de los equipos buscando cero fallas (equipos libres de

mantenimiento).

- Mantenimiento autónomo, basado en que el operador debe efectuar parte del mantenimiento.
 - Prevención del mantenimiento, que implica equipos de trabajo entre las gerencias de Ingeniería, Proyectos y Mantenimiento para prevenir fallas desde el diseño.
 - Gente:
 - Adiestramiento centrado en formar mantenedores multi-oficio.
 - Programas de motivación personal.
 - Trabajo basado en pequeños grupos, integrados por operadores y mantenedores en la búsqueda de la causa raíz de las fallas de los equipos.
- **Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM):** La industria de la aviación civil internacional fue la pionera en el uso de la metodología RCM aplicándolo en sus equipos, con lo que logró dar mayor confiabilidad a sus vuelos y conseguir una baja tasa de accidentabilidad, lo que desemboca en un incremento de sus márgenes debido a que los pasajeros fueron con mayor certidumbre a tomar sus viajes. En la década de los 80 el RCM empezó a extender su horizonte de aplicación y es así como se tomó a la industria como nuevo foco, en el cual las maquinarias requerían de un sistema que aplicado a ellos pudiera dar mayor capacidad operativa y disminuir la cantidad de fallas.

El RCM es un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual. Además, se caracteriza por:

- Considerar la fiabilidad inherente o propia del equipo/instalación.
- Asegurar la continuidad del desempeño de su función.
- Mantener la calidad y capacidad productiva: Si se desea aumentar la capacidad, mejorar el rendimiento, incrementar la confiabilidad, mejorar la calidad de la producción, es necesario un rediseño.
- Tener en cuenta la condición operacional: dónde y cómo se está usando.

El proceso de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) formula una serie de preguntas acerca del activo ó sistema que intente analizar.

1. ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional ?
2. ¿De que manera falla en satisfacer sus funciones?
3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla? ¿De que manera importa cada falla?
5. ¿Qué puede hacerse para predecir ó prevenir cada falla?
6. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

Finalmente, el RCM se puede definir como la probabilidad que un sistema o componente pueda funcionar correctamente fuera de falla por un tiempo específico, donde la idea central es que los esfuerzos de mantenimiento sean dirigidos a mantener la función que realizan los equipos más que a los equipos mismos.

En los años 90's se conjugan los elementos principales de las filosofías o tendencias como

TPM (Mantenimiento Productivo Total) y RCM (Mantenimiento basado en Confiabilidad) para construir una filosofía llamada Mantenimiento de Clase Mundial, que sirve como referencia para determinar el nivel de excelencia de las empresas dentro de la disciplina o área de mercado donde se desenvuelve (Cáceres, 2004).

De este modo, conociendo qué es el mantenimiento, se puede reconocer de mejor manera las políticas implementadas dentro de la empresa y trabajar en post de su mejora.

4.2. Auditoría MWCS

Si se busca implementar mejoras en el área de mantenimiento, se debe realizar un diagnóstico previo con el fin de identificar de forma semicuantitativa el estado real del departamento y reconocer las áreas más deficientes dentro del mismo.

Para facilitar este diagnóstico, se puede utilizar la MWCS (Encuesta de Clase Mundial de Mantenimiento por sus siglas en Inglés) la cual, es una auditoría basada en un cuestionario de 198 preguntas repartidas en 12 áreas de mantenimiento. Las respuestas a cada pregunta se limitan a cinco posibles opciones (Parra & Crespo, 2012). De esta forma, tras la aplicación, se obtiene el estado real del área a estudiar.

La [Tabla 4.1](#) muestra de forma resumida los aspectos que evalúa el cuestionario, los rangos metas deseables y los pilares que se buscan consolidar dentro del departamento de mantenimiento.

Las preguntas que componen este cuestionario puede ser consultado en los Anexos ([Capítulo 11](#)).

Nº	Práctica	Meta	Pilar
P01	Mantenimiento autónomo.	0,5	Mantenimiento autónomo.
P02	Mantenimiento preventivo.	1,8	Mantenimiento planificado.
P03	Mantenimiento predictivo.	1	Mantenimiento planificado.
P04	Mantenimiento correctivo.	2,8	Mantenimiento planificado.
P05	Planificación y ejecución de grandes paradas.	1,7	Mantenimiento planificado.
P06	Análisis de fallas.	1	Áreas soporte de mantenimiento
P07	Gestión de costo.	1,6	Áreas soporte de mantenimiento
P08	Gestión de repuesto y compras.	1	Áreas soporte de mantenimiento
P09	Gestión de la documentación técnica.	2,3	Áreas soporte de mantenimiento
P10	Entrenamiento y evaluación del personal.	1	Organización y desarrollo humano
P11	Estándares operacionales.	1,5	Estándares operacionales
P12	Gerencia de datos (KPI's).	0,3	Áreas soporte de mantenimiento

Tabla 4.1: Resumen evaluación Auditoría MES.
(Fuente: Parra & Crespo, 2012.)

Existen puntos sobre los que se debe comenzar a trabajar tras la aplicación de la encuesta, donde, una herramienta efectiva para inspeccionar, estudiar procesos y desarrollar planes de recolección de datos, es el diagrama de Causa Raíz (Lopez, 2018).

4.3. Análisis Causa Raíz

Es una metodología utilizada para identificar las raíces físicas, humanas y latentes que originan las fallas.

La identificación de estas raíces y la generación de acciones para eliminarlas previenen la recurrencia de problemas o fallas; en beneficio se obtienen reducción de gastos y pérdidas de producción, asociada a fallas, mejoramiento de la eficiencia, rentabilidad y productividad de los procesos. La manera esquemática de presentarlo se ilustra en la siguiente figura.

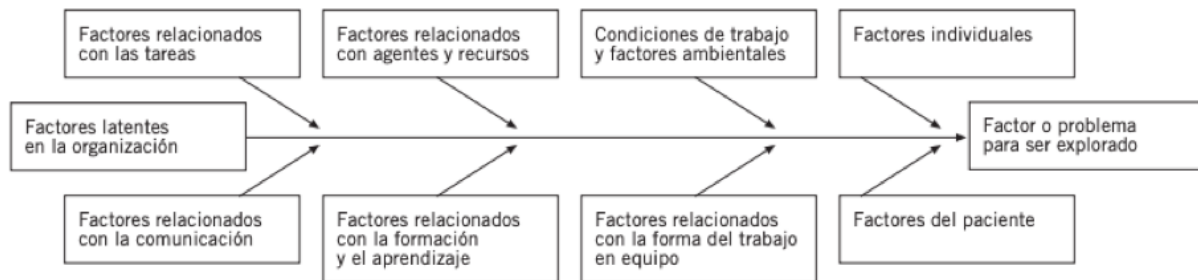


Figura 4.2: Diagrama Causa Raíz.

(Fuente: Pedro Ruiz-López, 2005.)

En este gráfico se estructuran las posibles causas del problema las cuales pueden ser categorizadas en aspectos como fallas por: diseño, ensamblaje, materiales, procedimientos operacionales, deficiencias en mantenimiento, entre otras.

Gracias a este diagrama se obtienen lineamientos de cómo comenzar a abordar la problemática y su posterior solución. Algunas herramientas/metodologías que ayudan a generar una propuesta de mejora son:

- Análisis de criticidad
- Análisis ABC

- Análisis ABCZ
- Modelos de Gestión de Inventario
- RCM
- Aplicación de KPI's
- Python y Pandas



4.4. Análisis de Criticidad

El análisis de criticidad es un estudio del equipo, repuestos o sistema del que se desee obtener información sobre su importancia durante el funcionamiento del proceso productivo, esta importancia se evalúa según distintos parámetros (Planas, 2014). Actualmente existen diversos métodos para medir que tan crítico puede llegar a ser un activo dentro del proceso productivo, a continuación se mencionarán los mas utilizados y los que tras su aplicación en diversas empresas, han mostrado resultados positivos.

4.4.1. Modelo de Criticidad semicuantitativo CTR

El modelo de criticidad total por riesgo (CTR) presentado a continuación, es un proceso de análisis semicualitativo, bastante sencillo y práctico, soportado en el concepto de riesgo, entendido como la consecuencia de multiplicar la frecuencia de un fallo por la severidad del mismo. Este método ha sido ampliamente desarrollado por consultoras y empresas internacionales (Woodhouse, 1996) y adaptado a un número importante de industrias.

A continuación se presentan de forma detallada, las expresiones utilizadas para jerarquizar los sistemas a partir del modelo CTR:

$$CTR = FF \cdot C \quad (4.2)$$

Donde:

CTR = Criticidad total por riesgo

FF = Frecuencia de fallos, rango de fallos en un tiempo determinado (fallos/año)

C = Consecuencia de los eventos de fallos

De donde se supone además que el valor de las consecuencias (C), se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$C = IO \cdot FO + CM + SHA \quad (4.3)$$

Siendo:

IO = Factor de impacto en la producción

FO = Factor de flexibilidad operacional

CM = Factor de costes de mantenimiento

SHA = Factor de impacto en seguridad, higiene y ambiente

La expresión final del modelo de priorización de *CTR* será la siguiente:

$$CTR = FF \cdot [(IO \cdot FO) + CM + SHA] \quad (4.4)$$

Los factores de cada uno de los criterios a ser evaluados por la expresión del riesgo se presentan a continuación:

Factor de Frecuencia de Fallos (Escala 1-4):

- 4: Frecuente: mayor a 2 eventos al año.
- 3: Promedio: 1 o 2 eventos al año.
- 2: Bueno: entre 0,5 y 1 evento por año.
- 1: Excelente: menos de 0,5 eventos al año.

Factores de consecuencias:

■ Impacto Operacional (*IO*) (escala 1-10):

- 10: Pérdidas de producción superiores al 75 %.
- 7: pérdidas de producción entre el 50 % y el 74 %.
- 5: pérdidas de producción entre el 25 % y el 49 %.
- 3: pérdidas de producción entre el 10 % y el 24 %.
- 1: pérdidas de producción menor al 10 %.

■ Impacto por Flexibilidad Operacional (*FO*) (escala 1-4):

- 4: No se cuenta con unidades de reserva para cubrir la producción, tiempos de reparación y

logística muy grandes.

2: Se cuenta con unidades de reserva que logran cubrir de forma parcial el impacto de producción, tiempo de reparación y logística intermedios.

1: Se cuenta con unidades de reserva en línea, tiempos de reparación y logística pequeños.

■ Impacto en Costes de Mantenimiento (*CM*) (escala 1-2)

2: Costos de reparación, materiales y mano de obra superiores a 20.000 USD.

1: Costo de reparación, materiales y mano de obra inferiores a 20.000 USD.

■ Impacto en Seguridad, Higiene y Ambiente (*SHA*) (escala 1-8)

8: Riesgo alto de pérdida de vida, daños graves a la salud del personal y/o incidente ambiental mayor (catastrófico) que exceden los límites permitidos.

6: Riesgo medio de pérdida de vida, daños importantes a la salud, y/o incidente ambiental de difícil restauración.

3: Riesgo mínimo de pérdida de vida y afección a la salud (recuperable en el corto plazo) y/o incidente ambiental menor (controlable), derrames fáciles de contener y fugas repetitivas.

1: No existe ningún riesgo de pérdida de vida, ni afección a la salud, ni daños ambientales.

La selección de los factores ponderados se realiza en reuniones de trabajo con la participación de las distintas personas involucradas en el contexto operacional del activo en estudio (operaciones, mantenimiento, procesos, seguridad y ambiente). Para obtener el nivel de criticidad de cada equipo/sistema, se toman los valores totales de cada uno de los factores principales:

frecuencia y consecuencia de los fallos y se ubican en la matriz de criticidad 4x4 (ver [Figura 4.3](#)).

El valor de frecuencia de fallos se ubica en el eje vertical y el valor de consecuencias se ubica en el eje horizontal (se toma el resultado final de la [Ecuación 4.3](#)). La matriz de criticidad mostrada a continuación permite jerarquizar los sistemas en tres áreas:

- Área de sistemas No Críticos (NC)
- Área de sistemas Media Criticidad (MC)
- Área de sistemas Críticos (C)

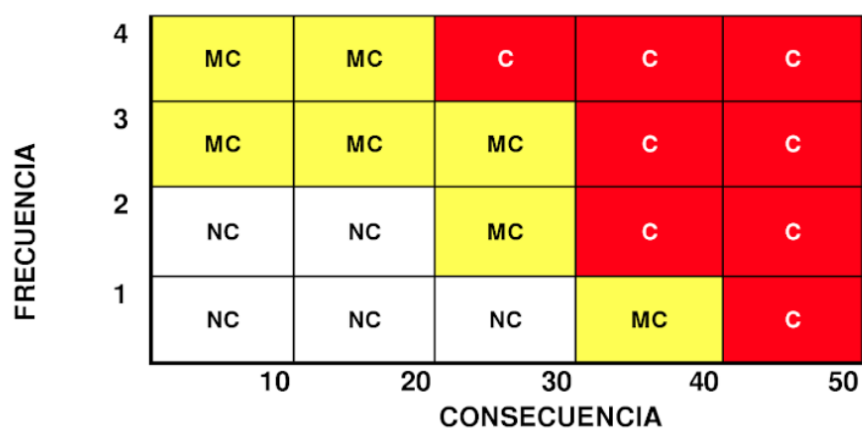


Figura 4.3: Matriz análisis de criticidad.
(Fuente: Cáceres, 2004.)

4.4.2. Análisis ABC

El análisis ABC es una herramienta de control de inventario basada en el principio de Pareto utilizada para categorizar los distintos elementos de un inventario. El principio de Pareto sugiere que el 20 % del inventario requiere el 80 % de la atención en el control de inventario, mientras que el 80 % restante solo requiere el 20 % de atención.

La categorización del análisis ABC sigue la siguiente lógica:

- A: Elementos de mayor valor dentro del inventario y requieren atención especial.
- B: Elementos de valor intermedio y que requieren atención estándar.
- C: Elementos de poco valor y que requieren poca atención.

Por lo general, el 70 % del valor de inventario en el periodo a evaluar corresponde al 10 % de los elementos en inventario, y estos se categorizan como elementos del tipo A. Mientras que el 20 % del valor de inventario corresponde a los elementos de categoría B, que representan el 30 % de los elementos en inventario. Finalmente, el 10 % del valor de inventario corresponde al 60 % de los elementos que componen el inventario, categoría C.

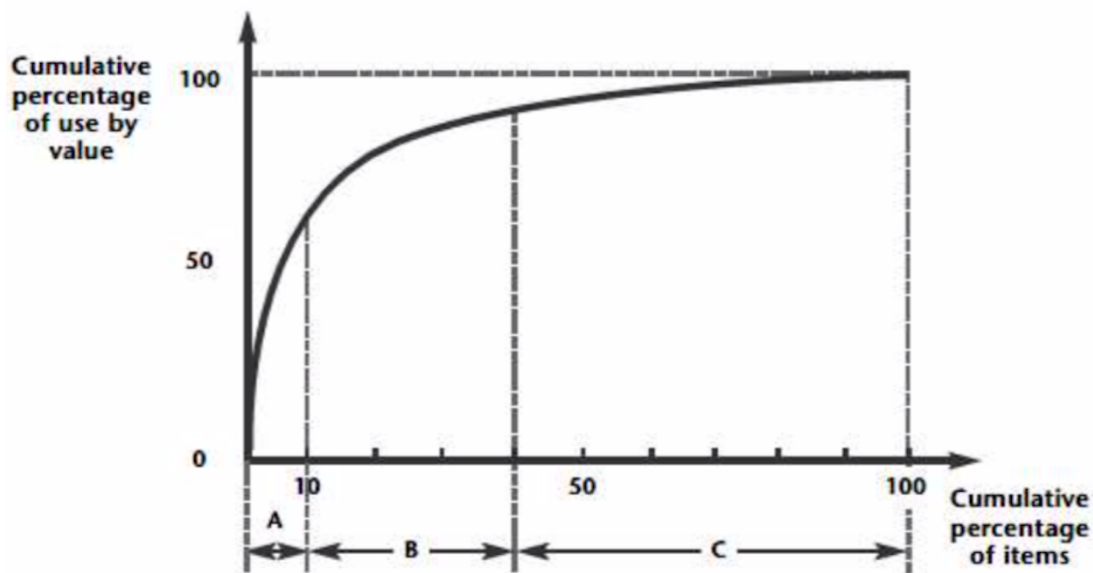


Figura 4.4: Análisis ABC.
(Fuente: Waters, 2003.)

4.4.3. Análisis ABCZ

De forma similar al Análisis ABC, el Análisis ABCZ clasifica la criticidad de los activos de una forma cualitativa tomando como criterio de clasificación los siguientes atributos.

		Clase		
		A	B	C
L	Regulación por la legislación	Existe riesgo o es requerido por la legislación	Requerido por políticas internas	No existe riesgo
C	Impacto económico de NO tener el repuesto	Impacto importante para el negocio (> 10.000 USD)	Impacto medio	Impacto bajo o nulo para la eficiencia (<2hrs y 500 USD/Año)
D	Tiempo de entrega	Mas de 90 días	Entre 15-90 días	Menos de 15 días
M	Estandarización (Existen sustitutos)	No existen sustitutos	Pocos representantes	Existen varios representantes
W	Nivel de servicio esperado	Z/A		

Figura 4.5: Clasificación de repuestos ABCZ.
(Fuente: GTM, 2019.)

En este método (Crespo, 2007) presenta una técnica de análisis sobre la jerarquía del equipo, máquina o piezas. Como se observa en la [Figura 4.6](#), el resultado del proceso es una clasificación de los equipos en 3 categorías: A, B, C, siendo los equipos A los que tienen mayor prioridad.

Para llegar a esta clasificación se procede de forma secuencial a realizar una serie de preguntas (ver [Figura 4.5](#)) al equipo de trabajo vinculado con el proceso de mantenimiento y operación de la máquina. La secuencia presente en la [Figura 4.6](#) refleja la importancia que da el equipo de trabajo a cada atributo que se analiza a la hora de establecer la prioridad de este. El orden en la secuencia marca el peso que se da en la gestión a cada uno de los atributos.

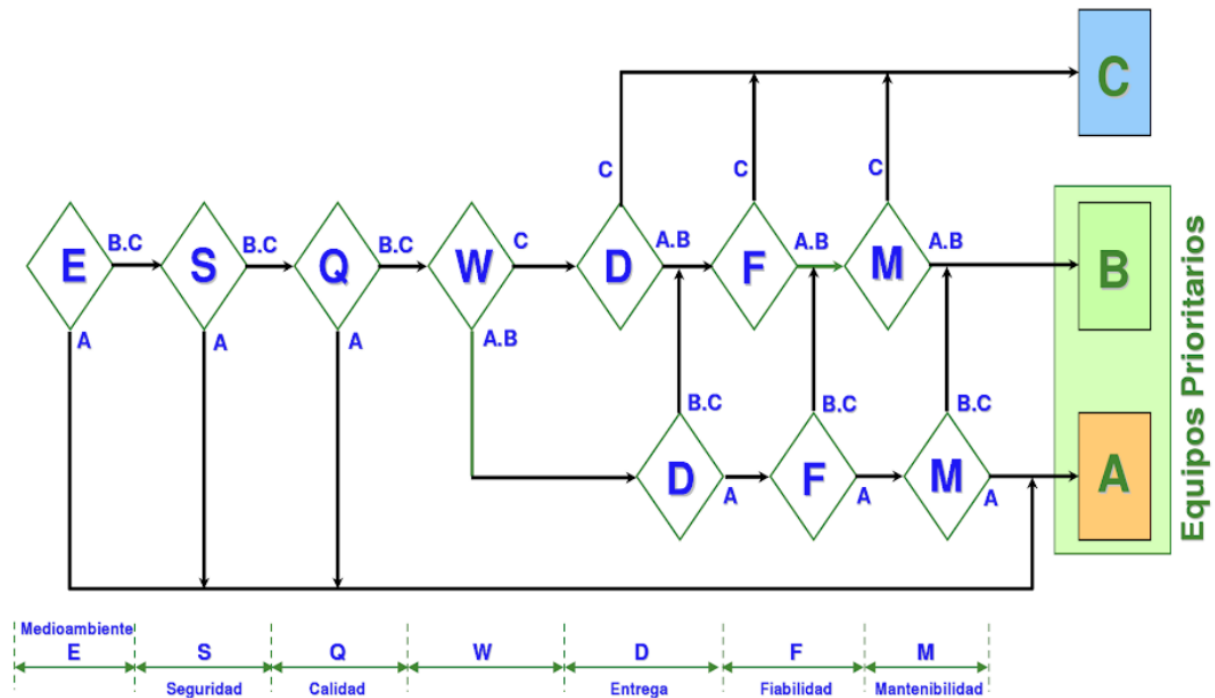


Figura 4.6: Modelo del Flujograma de criticidad.

(Fuente: Crespo, 2017.)

Existen empresas que determinan niveles de servicios para partes y piezas, esto dado que tras la avería del equipo se produce la falla de la máquina (detención inmediata) comprometiendo la producción y/o seguridad industrial. Estos repuestos o equipos se categorizan con la letra Z, donde aquellos que pertenecen a este grupo deben ser tratados con mayor severidad que aquellos pertenecientes al grupo A considerando revisiones periódicas exhaustivas y niveles de inventario en bodega que eviten quiebres de stock.

4.5. Modelos de Gestión de Inventario

Según lo establece (Gutiérrez,2008) existen diversos modelos para gestionar el inventario, a continuación, se muestran las más utilizadas.

4.5.1. Modelo de Cantidad Fija o Económica de Pedido (EOQ)

Creado por F.W. Harris en el año 1915, el EOQ (Economic Order Quantity) hace una serie de supuestos relevantes:

- Asume una demanda constante y conocida.
- Asume un tiempo de entrega o lead time L (tiempo comprendido desde la colocación de un pedido hasta su entrega) constante y conocido.
- No permite quiebres: al asumir una demanda y tiempos de entrega constantes, se puede determinar con exactitud el momento y cantidad óptima de productos a comprar para no incurrir en quiebres.
- No considera descuentos en compras por volumen (compras al por mayor).

Construcción del modelo

El primer paso para construir el modelo consiste en desarrollar una relación funcional entre las variables de interés y la medida de efectividad. En este caso, como preocupa el costo, la siguiente ecuación es la apropiada (considerando que este modelo no toma en cuenta los costos de inexistencias ya que supone que no existen quiebres):

Costo total anual =

Costo de compras anual+Costo de pedido anual+Costo de mantenimiento anual

$$CT = D \cdot C + \frac{D \cdot S}{Q} + \frac{Q \cdot H}{2} \quad (4.5)$$

Donde:

CT = Costo total anual

D = Demanda anual

C = Costo por unidad

Q = Cantidad a pedir (la cantidad óptima es conocida como cantidad económica de pedido, EOQ)

S = Costo de preparación o costo de hacer el pedido

H = Costo anual de mantenimiento y almacenamiento por unidad de inventario promedio (a menudo, el costo de mantenimiento se toma como un porcentaje del costo de la pieza, como $H = i \cdot C$, donde i es un porcentaje del costo de manejo, o costo de capital).

Los modelos de cantidad de pedido fija, tratan de determinar el punto específico, R, en que se hará un pedido, así como el tamaño de este, Q. El punto de pedido R, siempre es un número específico de unidades. Se hace un pedido de tamaño Q cuando el inventario disponible llega al punto R.

El segundo paso consiste en encontrar la cantidad óptima que minimice la ecuación de costos totales mostrada en el punto anterior. Luego de derivar con respecto a Q la ecuación de costos totales e igualando a 0, se obtiene la siguiente solución:

$$Q_{opt} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2DS}{iC}} \quad (4.6)$$

Donde Q_{opt} se conoce como Q de Wilson. Esta representa el tamaño de pedido que minimiza

los costos de inventario totales.

4.5.2. Sistema de Revisión Continua

Respecto al EOQ, este sistema tiene la ventaja de eliminar el supuesto de demanda constante, una de sus limitaciones más importantes. Por esta razón, también elimina el supuesto de la no existencia de quiebres (al tener una demanda aleatoria, considera posible quiebre).

El sistema de revisión continua, tal como lo dice su nombre, se basa en una revisión continua de la posición de existencia, la cual se define como sigue:

$$P = I + PT \quad (4.7)$$

Donde:

P = Posición de existencia

I = Inventario actual

PT = Producto en tránsito

Una vez que el inventario cae por debajo de un punto de reorden estipulado R , se coloca un pedido por una cantidad fija de producto Q . De esta forma, el sistema de revisión continua también es conocido como sistema (Q, R) .

La cantidad Q a pedir se determina de forma análoga a la utilizada en el sistema EOQ, donde el input de la demanda corresponde a la demanda promedio observada.

Por su parte, el punto de reorden R se basa en la distribución de probabilidad de la demanda

(la cual se asume típicamente como distribución normal) durante el tiempo de entrega del producto. Esto se debe a que el sistema considera que los riesgos de quiebre se concentran en el tiempo que transcurre entre la colocación del pedido y la llegada de este.

De esta forma, el punto de reorden se define como sigue:

$$R = m + s \quad (4.8)$$

Donde:

m = Demanda promedio estimada durante el tiempo de entrega L .

s = Inventario de seguridad.

Por su parte, el inventario de seguridad s se puede expresar de la siguiente forma:

$$s = z \cdot \sigma \quad (4.9)$$

Donde:

z = Factor de seguridad.

σ = Desviación estándar promedio de la demanda durante el tiempo de entrega L .

Cabe destacar que mediante el factor de seguridad z no solo es posible controlar el punto de reorden, sino que también el nivel de servicio deseado.

4.5.3. Sistema de Revisión Periódica

El sistema de reposición periódica (también conocido como sistema P) revisa la posición de existencia a intervalos de tiempo P fijos, en los cuales es capaz de realizar pedidos.

Este sistema fija un nivel de inventario objetivo T que busca cubrir la demanda estimada (la cual se asume sigue una distribución de probabilidad normal) durante el intervalo de tiempo P+L, con P el tiempo comprendido desde la revisión actual hasta la siguiente revisión y L el tiempo de entrega del pedido realizado en la siguiente revisión.

El tiempo entre revisiones P se define como sigue:

$$P = \frac{Q}{D} \quad (4.10)$$

Utilizando el Q determinado por el EOQ y reemplazándolo en la ecuación anterior se obtiene:

$$P = \sqrt{\frac{2S}{iCD}} \quad (4.11)$$

El inventario objetivo T se define de la siguiente forma:

$$T = m' + s' \quad (4.12)$$

Donde:

m' = Demanda promedio durante el periodo P+L

s' = Inventario de seguridad s' se define como:

$$s' = z \cdot \sigma' \quad (4.13)$$

Donde:

z = Factor de seguridad.

σ' = Desviación estándar promedio durante el periodo P+L.

Al igual que en el sistema anterior, el factor de seguridad z permite controlar no sólo el inventario objetivo, sino que también el nivel de servicio deseado para la cadena.

4.6. 5S

Existe un axioma que dice, “Los buenos talleres se desarrollan a partir de las 5S, los malos talleres se deshacen a partir de las 5S ”(Hirano, 2009).

El método 5S, así denominado por la primera letra del nombre que en japonés designa cada una de sus cinco etapas, es una técnica de gestión japonesa basada en cinco principios.

(Lopez, 2018) define estos 5 principios, ahora llamados “eses” de la siguiente manera:

- Seiri (separar): clasificación de los ítem del gembu (lugar de trabajo) en necesarios e innecesarios
- Seiton (ordenar): designa un lugar y un número máximo de ítem.
- Seiso (limpiar): el entorno de trabajo... máquinas, paredes, etc

- Seiketsu (sistematizar): la limpieza del operario y del entorno
- Shitsuke (estandarizar): auto-disciplina

4.7. Mantenimiento basado en confiabilidad

El Mantenimiento Basado en Confiabilidad o RCM por sus siglas en inglés, es un enfoque sistemático del mantenimiento, que analiza los componentes dentro de un sistema, para clasificarlos según sea su criticidad, creando una lista válida de tareas de mantenimiento preventivo más riguroso en las máquinas cruciales, y dando tanta atención a los otros componentes del sistema como sea necesario para proveer operaciones con un costo y eficacia uniformes.

Un proceso general de análisis RCM requiere la realización de las siguientes tareas (Pérez, 2010):

- Planteamiento del análisis.
- Análisis de criticidad.
- Selección de tareas de mantenimiento.
- Implantación de recomendaciones y seguimiento de resultados

4.8. Pandas

Como método de apoyo para un análisis de datos mas rápido, automatizable y con una basta capacidad de procesamiento de grandes bases de datos, se propone como recurso Pandas,

la cual es una biblioteca de software escrita como extensión de NumPy para manipulación y análisis de datos en lenguaje Python. En particular, ofrece estructuras de datos y operaciones para manipular tablas numéricas y series temporales. Es un software libre distribuido bajo la licencia BSD versión tres cláusulas. El nombre deriva del término "datos de panel", término de econometría que designa datos que combinan una dimensión temporal con otra dimensión transversal (Pandas, 2019).



5 Antecedentes



5.1. Descripción de la empresa

Empresas CMPC, es un holding forestal y papelerero en Chile fundado el 12 de marzo de 1920, como Compañía Manufacturera de Papeles y Cartones, posee plantas industriales en Chile, Argentina, Brasil, Perú, Uruguay, México, Colombia y Ecuador.

Las industrias en que CMPC centra sus operaciones son la producción y comercialización de productos forestales, celulosa, papeles, productos tissue y productos de papel. En particular se profundizará en el segmento papeles donde el principal producto fabricado son las cajas de cartón, en este segmento existen 4 plantas en Chile pertenecientes al holding ubicadas en Osorno, Til til, Puente Alto y Buin. En cada una de estas instalaciones se sigue la misma secuencia de producción variando únicamente en la antigüedad y nivel tecnológico de cada máquina.

5.2. Descripción planta Buin

5.2.1. Organización

La planta de Buin se encuentra bajo la dirección del sub gerente de planta, encargado de gran parte de las gestiones dentro de Envases Impresos S.A. Del área de operaciones se desprende un grupo de Ingenieros dedicados a la evaluación de proyectos y a la investigación constante de nuevas propuestas para la empresa. Además, existen encargados de cada zona productiva (para la zona de corrugado y conversión), un encargado de servicios generales, prevencionistas de riesgo, un área dedicada a la gestión de calidad, y otra destinada al mantenimiento de los equipos industriales. En esta última área se despliega el grupo de mantenimiento, encargados del cuidado de todas las máquinas dentro de la planta.

Bajo otra jefatura se encuentra Recursos Humanos donde la principal labor se centra en la contratación de personal, procesos de despidos, mejora continua en el ambiente y bienestar laboral.

El área comercial es la encargada de concretar ventas con distintos clientes, trabajan en compañía con el área de marketing, sin embargo este personal no se encuentra presente en la planta Buin ya que es la planta Puente Alto la que reúne en su mayoría esta sección.

Finalmente el departamento de Supply Chain trabaja desde el edificio corporativo teniendo contacto constante con el área de operaciones dentro de la planta Buin.

5.2.2. Mercados

Envases Impresos S.A. (planta ubicada en Buin, Chile) es una filial de CMPC Productos de Papel S.A. dedicada a la producción y comercialización de cajas de cartón corrugado de alto valor agregado. Como decisión estratégica del grupo CMPC, Envases Impresos S.A. se enfoca a los mercados de temporada de exportación de fruta fresca y vinos, especializándose en cajas con altos requisitos de resistencia, gran calidad de impresión y armado automático. Adicionalmente, la empresa exporta cajas de cartón corrugado a diversos países, tanto para el mercado hortofrutícola como industrial.

5.2.3. Línea productiva

Las 4 plantas ubicadas a lo largo de Chile siguen un proceso de fabricación idéntico, la única variante presente es el tipo de máquina utilizada diferenciándose únicamente en su grado de antigüedad y tecnología.

A continuación se muestra la secuencia lógica que sigue el proceso productivo por cada una de las máquinas.

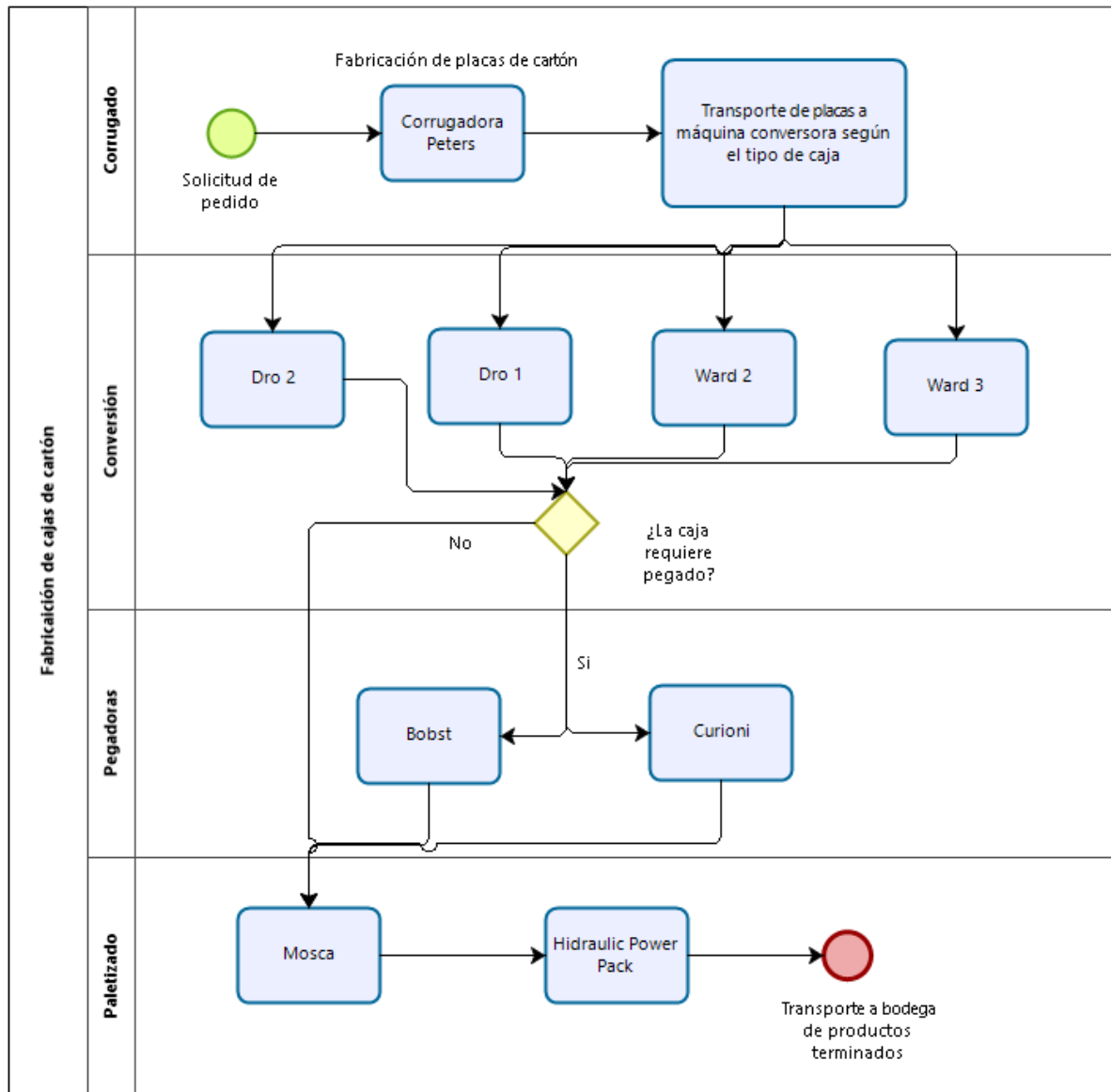


Figura 5.1: Diagrama de Flujo por máquinas.

(Fuente: Envases Impresos S.A. 2019.)

La función en detalle de cada una de las máquinas se describe a continuación:

- **Corrugadora Peters:** Con un largo de 114 metros es la máquina encargada, tal como se mencionó anteriormente, de fabricar las placas de cartón a partir de bobinas de papel.
- **DRO2:** Ubicada en la zona de conversión, se encarga de pintar y cortar las placas de cartón

para transformarlas en cajas de cartón.

- **DRO1:** Al igual que la DRO2 realiza corte y pintado, diferenciándose únicamente en la antigüedad de la máquina.
- **Ward 2:** Con mayor grado de antigüedad que las DRO1 y DRO2 realizan el corte y pintado teniendo la ventaja de poseer una mayor capacidad productiva.
- **Ward 3:** Tiene las mismas funciones que la Ward 2 diferenciándose únicamente en la antigüedad y el grado de uso que se le da, entre todas las máquinas de conversión es la más utilizada debido a su rango de trabajo superior al del resto.
- **Pegadora Bobst:** Las funciones de esta máquina son la de doblar y aplicar adhesivo a las cajas ya cortadas y pintadas para darles la forma deseada.
- **Pegadora Curioni:** De igual modo que la Pegadora Boobs, esta se encarga de aplicar adhesivo y pegar las cajas. Ambas, tanto la pegadora Bobst como esta última trabajan en conjunto con las máquinas DRO1 y DRO2.
- **Mosca:** Como última fase del proceso, las cajas o placas de cartón llegan a la zona de paletizado donde en la Mosca se aseguran con Zunchos para luego ser envueltas en un papel protector para su transporte.
- **Hidraulic Power Pack:** Este es un conjunto de dos brazos en paralelo que se encuentran dentro de una jaula en la que se envuelven los pallets ya enzunchados en papel film.

Como se logra apreciar, el proceso de corrugado es la etapa previa de todas las máquinas de impresión, por lo que el correcto funcionamiento del proceso es visto como el de mayor importancia dentro de Envases Impresos.

Para obtener el producto terminado existen distintas etapas de fabricación, en las cuales es necesario mantener los equipos productivos en condiciones de operación para asegurar la continuidad del proceso y la calidad del producto.

5.3. Etapas de Fabricación

Dentro de la fabricación de cajas existen 2 etapas, el corrugado, proceso en que se fabrican las placas de cartón, y la conversión, etapa en que se da forma y diseño a la caja a partir de la placa de cartón. A continuación, se muestra un diagrama resumiendo las actividades realizadas en cada etapa.

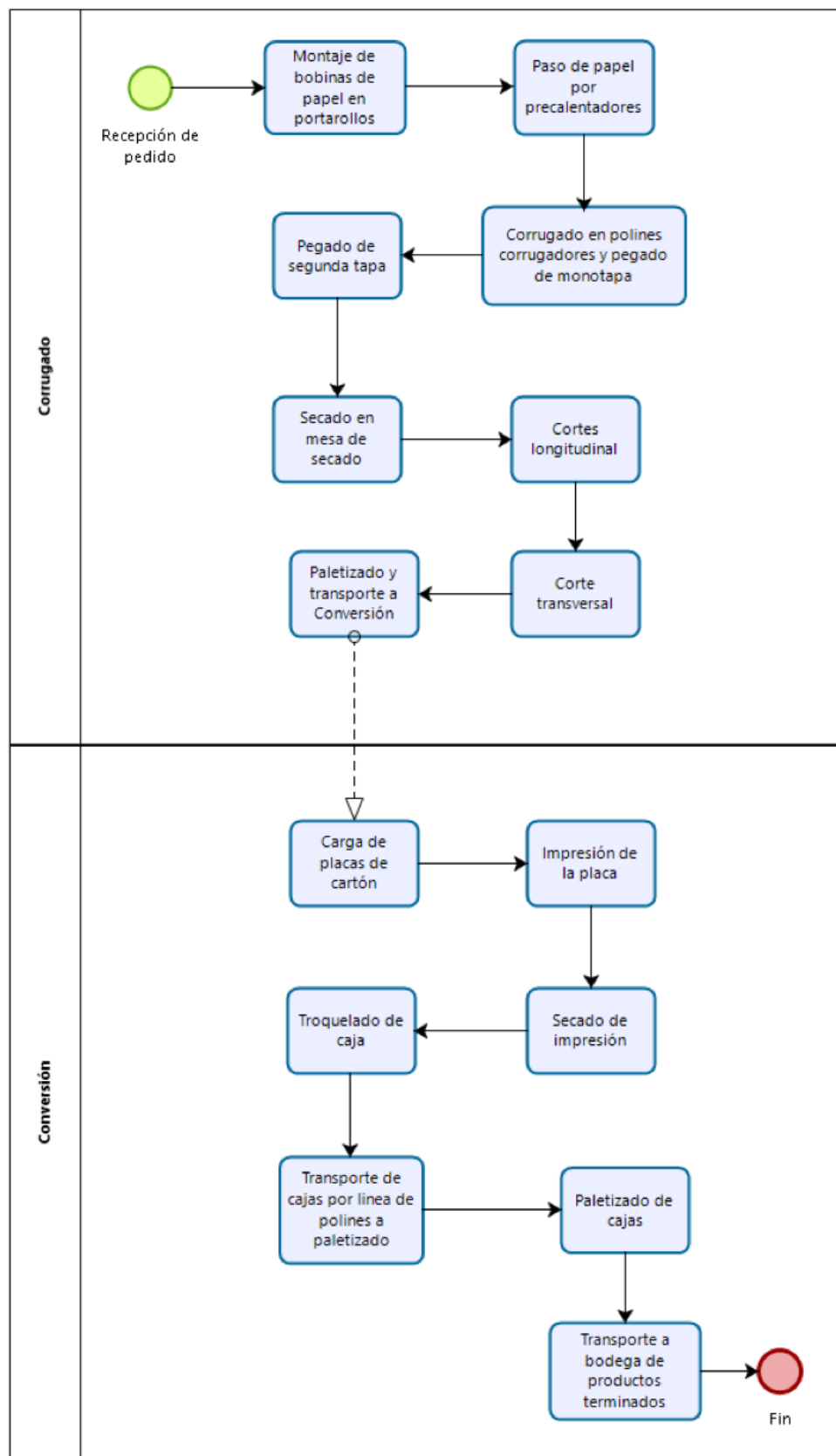


Figura 5.2: Diagrama de Flujo proceso de fabricación de caja.
(Fuente: Envases Impresos S.A. 2019.)

5.3.1. Corrugado

El principal objetivo de este proceso es trabajar los sustratos tales como Liner (exterior e interior), Papel Onda, Parafina Solida y Adhesivos varios, para la obtención de una placa de cartón corrugado con las características de calidad requeridas y para posteriormente dar paso al proceso de Conversión.

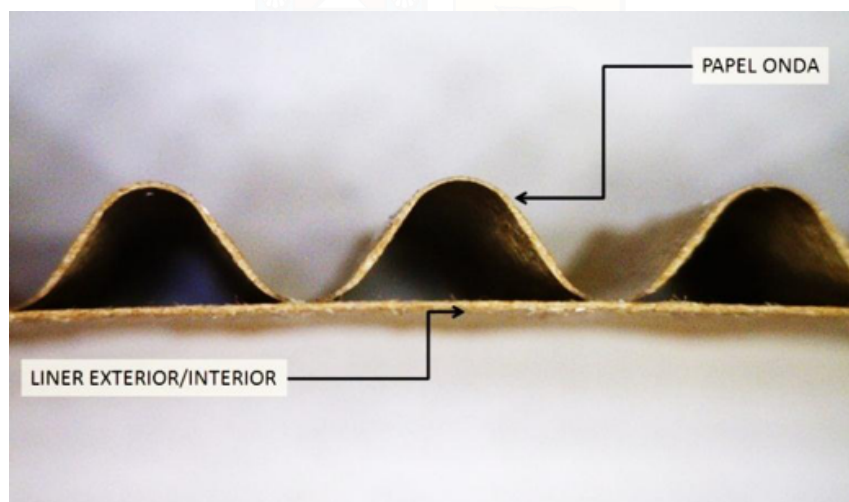


Figura 5.3: Identificación de liner y papel onda.
(Fuente: Elaboración propia)

El proceso de corrugado comienza con el montaje de las bobinas de papel determinado previamente por los diseñadores y solicitantes de acuerdo con las características que deberá cumplir la caja.

La bobina de papel se monta en un porta rollos, el cual lo desenrolla proporcionando la alimentación continua de papel hacia el cabezal corrugador, además, se cuenta con un porta rollos auxiliar, el cual mediante una etapa de empalme asegura la continua alimentación de papel.

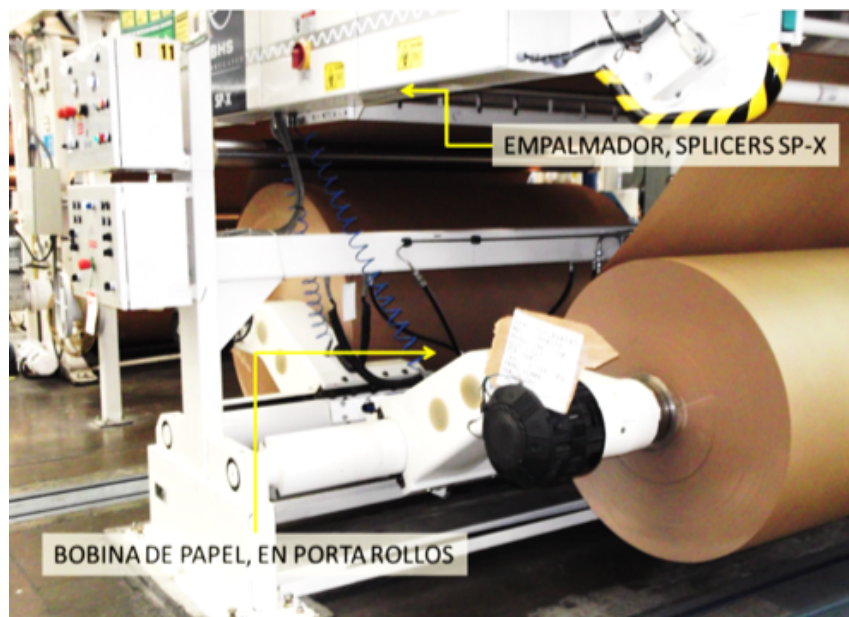


Figura 5.4: Porta rollos y empalmador.
(Fuente: Planta Buin Sur)

El Empalmador está incorporado directamente por encima del porta bobinas. Sirve para empalmar una bobina nueva con la otra bobina de papel que se está desbobinando y a punto de agotarse en el mismo porta bobinas.

La máquina consta de un bastidor que lleva colocado abajo dos carros empalmadores y una barra de impacto móviles. Por encima se encuentran dos rodillos de presión. Un rodillo guía en la salida de la máquina, dos rodillos guía en el llamado carro acumulador desplazable, dentro de la se ubica el almacén de papel, en la cual la banda de papel pasa de 2 hasta 4 veces la longitud de la máquina.

En servicio normal, el papel pasa de la bobina en trabajo hacia los rodillos guía del acumulador de papel. Dentro de este acumulador el papel se desplaza entre los extremos del bastidor antes de salir del Empalmador y ser conducido a la maquina siguiente.

Al agotarse la bobina de papel, se coloca durante la producción una nueva bobina en el

otro lado del Empalmador y se introduce el papel en el carro Empalmador correspondiente. A continuación, se corta la banda nueva de papel, se aplica cinta adhesiva doble cara y se posiciona la banda nueva de papel en el carro Empalmador. Después, un rodillo guía regulable eleva la banda de papel pasante y el carro Empalmador, con la banda nueva del papel preparada y la barra de impacto se ubican en la posición de empalme. Al iniciar el ciclo de empalme se para la banda de papel que se está desbobinando, se corta y se pega la nueva banda de papel. Para no tener que parar la producción, el carro acumulador se desplaza hacia la salida cediendo así el papel necesario durante el ciclo de empalme.

Después del proceso de empalme, el carro Empalmador y la barra de impacto se desplazan a la posición de preparación para el próximo ciclo y el rodillo guía regulable se baja. A continuación, vuelve a llenarse el almacén de papel en el Empalmador. Una vez que el papel es desenrollado asegurando la alimentación continua, pasa a través de un pre-calentador, acondicionando el papel con temperatura para su posterior etapa de corrugado, mediante polines corrugadores concéntricos que logran el corrugado con las dimensiones de onda preestablecido.



Figura 5.5: Polín corrugador.
(Fuente: Planta Buin Sur.)

A partir de la obtención de la lámina de papel ondulada, paralelamente mediante otros porta rollos y gracias a la aplicación de adhesivo, se obtiene una placa continua de cartón, como se muestra en la ilustración 5.

Producto de la humedad generada tras la aplicación de adhesivo, se pasa a una etapa de secado mediante calefactores y ventiladores.



Figura 5.6: Mesa de secado.
(Fuente: Planta Buin Sur.)

Posterior al secado, se realiza un corte longitudinal mediante un sistema de cuchillos circulares, los cuales cuentan con un sistema electro-neumático de lubricación y afilamiento cíclico, además de posicionamiento automático mediante encoder. La posición que adoptan los cuchillos viene dada por las características del diseño solicitado.



Figura 5.7: Slitter, máquina de corte longitudinal .
(Fuente: Planta Buin Sur.)

Una vez realizado el corte longitudinal de la placa de cartón se realiza el corte transversal mediante un polín circular que cuenta con una cuchilla. Para realizar el corte de precisión (CUT-OFF), se mide la velocidad tangencial del cartón por medio de un tacómetro y se regula la velocidad con el cual el corte se realiza en la posición determinada.



Figura 5.8: Paletizado automático.
(Fuente: Planta Buin Sur.)

Una vez ya cortado el cartón, las placas se encuentra aptas para el paletizado el cual es facilitado por medio de dos elevadores automáticos.

5.3.2. Conversión

Esta etapa tiene como objetivo realizar la impresión flexo gráfica, corte, plegado y pegado a las placas de cartón dimensionadas obtenidas en la etapa de corrugado.



Figura 5.9: Bodega de placas.
(Fuente: Planta Buin Sur.)

Los pallets de placas ingresan por un cargador, el cual las centra mediante sensores fotoeléctricos, y posteriormente alimenta paulatinamente a la maquina impresora, las cuales cuentan con 2 a 5 cuerpos impresores (2 a 5 colores).

Los cuerpos impresores o flexos cuentan con un sistema de vacío, el cual asegura el correcto desplazamiento de la placa durante el proceso. El sistema de impresión se realiza mediante una matriz de diseño llamada “cliché”, la cual entra en contacto con la tinta y se impregna de esta.

Mediante la convergencia del polín que arrastra la placa y el que porta el cliché, se logra realizar la impresión mediante una presión regulable. Esta etapa se puede repetir dependiendo del diseño y de los colores necesarios para el producto acabado.

Posterior a la etapa de impresión, se realiza un secado rápido mediante resistencias eléctricas

controladas.



Figura 5.10: Planta de conversión.
(Fuente: Planta Buin Norte.)

Una vez seca la impresión, se realiza el troquelado de la placa, el cual realiza el corte y pliegues que finalmente determinara las características físicas del modelo de la caja. Es necesario mencionar que este proceso debe contar con el control de las variables necesarias para la coordinación de este proceso, como velocidad y posición de los ejes y motores involucrados.

Para finalizar este proceso se transportan las cajas terminadas por un elevador, el cual apila las cajas dependiendo de la cantidad indicada por el operador en paquetes simétricos, para su posterior embalaje y distribución.

5.4. Área de mantenimiento

El área de mantenimiento se compone por el Jefe de Mantenimiento, Planificadores, Encargados de compras/contrataciones, Ingenieros, Mecánicos y Eléctricos. Además, existen 2 talleres de mantenimiento, uno se ubica en la planta Buin Sur y el segundo en Buin Norte, la

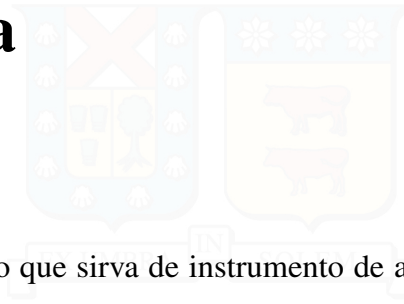
bodega de repuestos se encuentra en una instalación equidistante entre ambas plantas ,además, dentro de cada taller existe un stock constante de los repuestos mas utilizados. Actualmente, dentro de ambas plantas, se practica la filosofía 5S, esto con el objetivo de insertar en el futuro el mantenimiento total productivo (TPM), el cual actualmente se encuentra en las primeras etapas de su implementación.

La máquina corrugadora ubicada en Buin Sur, es la máquina sobre la cual se destina la mayor cantidad de recursos evitando en todo momento (e incluso postergando tareas programadas para otros equipos) su detención o mal funcionamiento. Esto ocurre principalmente por la gran cantidad de placas de cartón que se producen durante su periodo de utilización, material que se utiliza como insumo para el resto de máquinas.

La planta de Envases Impresos S.A. no cuenta con un plan de abastecimiento para los repuestos demandados por el área de mantenimiento, este punto se declara como “urgente” por el departamento, en particular, las cantidades de repuestos compradas son por medio de los consejos del encargado de bodega, quien al final del día recomienda comprar los mismos ítems que fueron sacados de bodega durante ese día.

Existe evidencia de que las detenciones por fallas e incluso durante mantenimientos programados, tienen una duración superior a la esperada dada la ausencia del(los) repuesto(s) necesario(s) al momento de intervenir las máquinas. Esto, sumado a la alta dependencia del proceso productivo con la Corrugadora, hace que la Jefatura del área precise de un plan de abastecimiento que en un comienzo sea implementado en la máquina Corrugadora.

6 Metodología



Para establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de una planta compleja y que permita subdividir los elementos en secciones fácilmente manejables y auditables, se utilizará un análisis de criticidad.

Según (Lalanne, 2018), para realizar un análisis de criticidad, se deben seguir los siguientes pasos:

1. Definir lugares donde se realizará el análisis, ya sea equipos, sistemas o instalación de acuerdo con los requerimientos de jerarquización.
2. Cálculo del nivel de criticidad: para determinar el nivel de criticidad se debe aplicar alguna técnica cuantitativa o cualitativa que entregue de forma clara y concisa los niveles de criticidad.
3. Análisis y validación de los resultados: los resultados obtenidos deberán ser analizados a fin de definir las acciones para minimizar los impactos asociados a los modos de falla funcional.
4. Definir el nivel de análisis: La valoración del nivel de criticidad y la identificación de los

activos u áreas más críticos permitirá orientar los recursos y esfuerzos a las áreas que más lo ameriten.

5. Sistema de seguimiento de control: Después de las acciones de mejora en las frecuencias de ocurrencia de los eventos y mitigación de los impactos, se debe crear y establecer un seguimiento y control para garantizar el monitoreo de la ejecución de las acciones seleccionadas y el cumplimiento de las recomendaciones consecuentes del análisis de criticidad, el cual permitirá asegurar la continuidad en el tiempo de la aplicación de los planes de acción y monitorear los cambios o mejoras que pueden derivarse de la aplicación de las acciones generadas como resultados de los análisis.

Se debe considerar entonces el análisis de criticidad como el pilar principal y filosofía a disponer durante la aplicación y pasos previos a una propuesta de mejora que logre mitigar las fallas reveladas.

La metodología básica propuesta contempla que, dado un estado inicial A que se desea mejorar, se pueda evaluar una acción X para su mejora y pre-estimar sus efectos para tomar la decisión de realizarla o no, en desmedro de otras alternativas que ataquen el mismo u otros problemas. Para llegar a una situación en que el problema se encuentre controlado o eliminado, se propone realizar un primer acercamiento para evidenciar el estado actual de la organización y de manera posterior realizar un análisis (diagnóstico) de la situación actual del área en cuestión, esto, en conjunto con las fallencias detectadas por el departamento de forma previa, entrega los lineamientos a seguir para desarrollar la propuesta de mejora.

A continuación se muestra la [Figura 6.1](#) que resume el método de análisis propuesto.

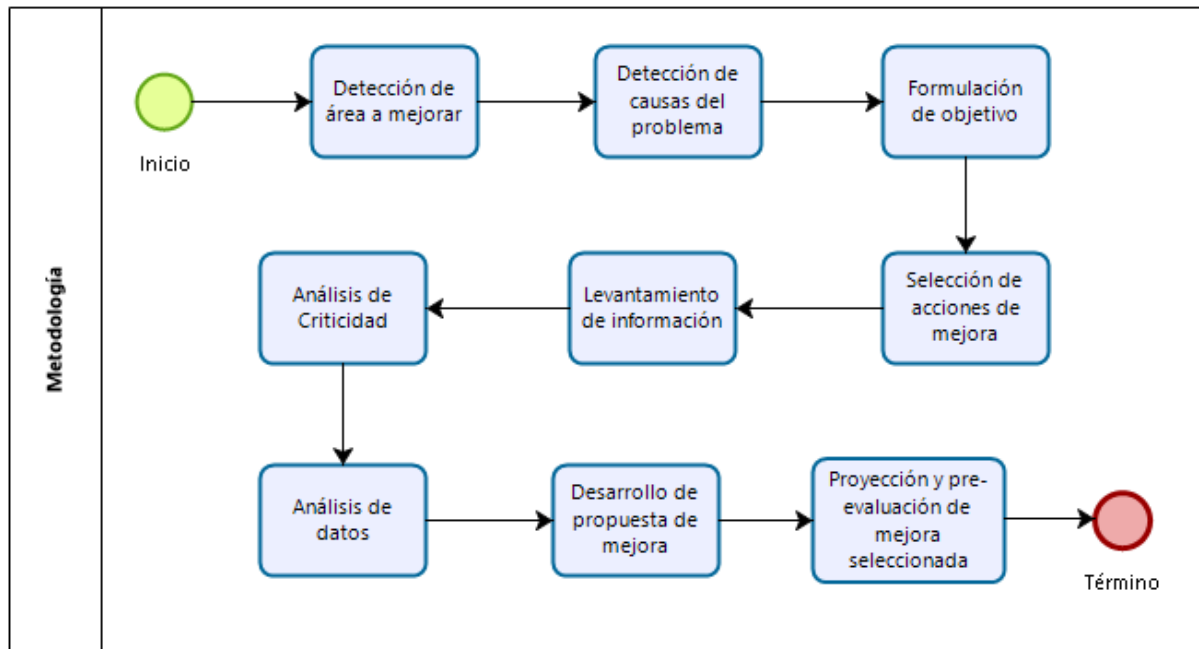


Figura 6.1: Diagrama Metodológico.
(Fuente: Elaboración propia.)

6.1. Detección del área de mejora

En esta etapa inicial, se realiza una visita a la zona de estudio con el objetivo de tener un primer acercamiento. Durante esta etapa se realizan reuniones con los distintos departamentos presentes en la organización. Además, durante esta instancia se captan apreciaciones sobre las debilidades y fortalezas presentes. La clave reside en la identificación de las áreas de mejora teniendo en cuenta que, para ello se deben superar las debilidades apoyándose en las principales fortalezas.

6.2. Detección de causas del problema

Una vez en conocimiento de la principal problemática, se procede con un diagnóstico del área vinculada al problema apoyado con la herramienta MWCS (Maintenance World Class Survey).

6.2.1. Diagnóstico

A través de la encuesta MWCS se determina si el problema visualizado durante el primer acercamiento se refleja en los resultados de la auditoría y con esto, se determina si realmente es una debilidad a resolver con la urgencia que se cree o existen falencias que requieran soluciones de forma previa.

Esta encuesta tipo auditoría debe ser desarrollada en conjunto con el personal del área involucrada a fin de obtener resultados alineados a la realidad del departamento evaluado.

6.2.2. Análisis de diagnóstico

Para determinar si la problemática detectada en el diagnóstico previo necesita, con la urgencia que se cree, destinar recursos para su mejora, se comparan las 3 puntos peores evaluados durante el diagnóstico de la siguiente manera:

	Problemática #1	Problemática #2	Problemática #3
Duración			
Plazo			
Impacto			
Costo			
Total			

Tabla 6.1: Categorización de problemáticas detectadas.

(Fuente: Elaboración propia.)

Dentro de la [Tabla 6.1](#) se ingresa la puntuación (entre 0 y 10) para cada categoría y se determina según el máximo valor total, si la problemática expuesta por el departamento se ve de igual manera reflejada en el diagnóstico.

El llenado de cada celda sigue la siguiente lógica:

Elevada duración	Baja duración
0	10

Tabla 6.2: Clasificación de duración en el desarrollo de mejora.

(Fuente: Elaboración propia.)

Necesario en corto plazo	Necesario en largo plazo
10	0

Tabla 6.3: Clasificación plazo esperado en implementación de mejora.

(Fuente: Elaboración propia.)

Alto impacto en la organización	Bajo impacto en la organización
10	0

Tabla 6.4: Clasificación de impacto de la mejora.
(Fuente: Elaboración propia.)

Alto costo en realizar mejora	Bajo costo en realizar mejora
0	10

Tabla 6.5: Clasificación costo.
(Fuente: Elaboración propia.)

De este resultado se selecciona la problemática con mayor puntaje y se continua el estudio con el fin de desarrollar una plan de mejora.

6.3. Formulación de objetivo

Tras identificar la principal debilidad, ayudado por un análisis Causa-Raíz, realizado en conjunto con personal pertinente al área en déficit, se busca determinar las posibles causantes del problema y de este modo, establecer el objetivo principal para dar solución al mismo.

Este objetivo debe expresar de manera inequívoca el resultado que se pretende lograr, ser concreto, estar redactado con claridad y estar alineado con la visión de la organización.

6.4. Seleccionar las acciones de mejora

Una vez determinado el objetivo, se selecciona la mejor alternativa para su realización.

En particular para el caso de estudio, se presentan las siguientes acciones a seguir para luego proponer la(s) propuesta(s) de mejora.

6.4.1. Levantamiento de información

En esta fase se obtiene información relacionada al área en cuestión, para el caso de Envases Impresos S.A. las fuentes son las siguientes:

- **SAP:** Sistema de gestión altamente utilizado en industrias manufactureras, se deben realizar las consultas pertinentes para obtener la información que se precise con el fin de desarrollar la propuesta de mejora.
- **Expertos:** En caso de existir expertos en el área bajo estudio, se debe realizar consultas para obtener la mayor cantidad de información fuera de la documentada, como procesos, prácticas recurrentes, fallas reiteradas o problemas nunca antes resueltos.
- **Manuales:** Textos de funcionamiento de equipos, repuestos, procesos productivos documentados, normativas dentro de la empresa, son algunas de las fuentes de información que pueden ser utilizadas en post de realizar un análisis más detallado y con ello, un resultado ad-hoc a la realidad de la empresa.
- **Jefaturas:** Se debe consultar acciones que pueden ser o no realizadas con el fin de desarrollar una propuesta viable, además, se debe documentar si ya se han desarrollado de manera previa metodologías similares, sus estados y resultados.

6.4.2. Análisis de Criticidad

Este análisis jerarquiza los procesos, sistemas y/o equipos para subdividir la problemática y aplicar políticas a cada segmento según corresponda.

Respecto al análisis de criticidad ABC, es, en esencia, un análisis de fiabilidad del sistema considerado y suele consumir un importante nivel de recursos, sin embargo, para reducir los recursos dedicados al análisis de la criticidad, se suele utilizar un método simplificado de análisis denominado "Lista de Criticidad". Este método, basado en la identificación de las consecuencias negativas que pueden producir los fallos potenciales de los diferentes componentes sobre el sistema bajo estudio, consiste en la aplicación de una lista o batería de preguntas a cada componente del sistema considerado para, en función de sus respuestas, considerarlo como crítico o no crítico. Dichas preguntas tienen que ver, entre otros aspectos, con la pérdida de producción, de seguridad, de las condiciones adecuadas de operación o el incremento de contaminación ambiental (Pérez, 2010). Bajo esta premisa, y considerando los recursos dispuestos por la empresa, se debe realizar un análisis ABC o ABCZ según corresponda.

6.4.3. Análisis de datos

EL lenguaje de programación Python, dada su simpleza y una capacidad de análisis para grandes bases de datos, en caso de ser requerido, debe ser utilizado con el fin de disminuir los tiempos de análisis de datos, generar procesos automatizados y facilitar el análisis.

Además, y según las necesidades para lograr el objetivo propuesto, se debe aplicar prácticas utilizadas en empresas similares como políticas de gestión de inventario, políticas para mejorar

indicadores o propuestas para la capacitación de trabajadores.

6.5. Propuestas de mejora

Luego de analizar la información recopilada y de aplicar las políticas necesarias para cumplir el objetivo propuesto, se deben presentar al menos 2 propuestas con el fin de compararlas entre sí y seleccionar la mejor opción entre ambas.

Cabe destacar que en este paso se podrán utilizar variados criterios para evaluar el efecto neto de cada propuesta, ya que dependiendo del momento de la organización, se podrán privilegiar los efectos netos positivos de uno o el conjunto de varios indicadores para diferenciar y priorizar las intervenciones de mejora

6.6. Proyección de Mejora y pre-evaluación

Como una forma de pre-evaluar los efectos de una mejora entre otras, se realiza una simulación para visualizar la potencial mejora producida tras la supuesta aplicación de la propuesta.

La justificación es poder reproducir un escenario futuro utilizando el escenario anterior como base, aplicando los efectos de la mejora apoyado por algún software.

7 Desarrollo y Resultados



7.1. Área de mejora

Tras la visita a las instalaciones de Envases Impresos S.A. y reuniones con trabajadores de la planta, se determina que el área de mantenimiento está involucrado con detenciones de equipos durante periodos de tiempo superiores a los planificados, principalmente de la máquina Corrugadora (generando con esto una menor disponibilidad del equipo). La apreciación de Mecánicos, Eléctricos y Jefe de Mantenimiento es que esto se debe a un constante quiebre de stock durante mantenciones correctivas.

Según esta información, se procede a trabajar sobre esta área y determinar las causantes de la problemática señalada.

7.2. Diagnóstico

Según *Marshall Consulting*, diseñadores del cuestionario MWCS, y los objetivos establecidos como meta por Envases Impresos S.A. se obtiene el siguiente gráfico.

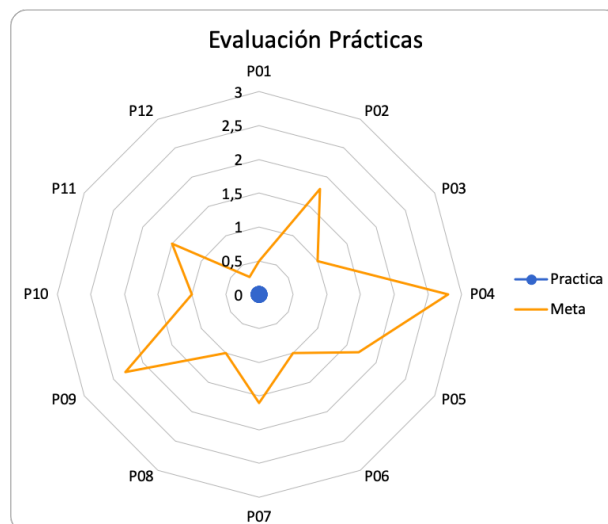


Figura 7.1: Valores Meta de MWCS.
(Fuente: Envases Impresos S.A.)

En particular, se desea comprobar que el punto **P08** se encuentra sustancialmente alejado del valor meta (ver [Tabla 4.1](#)). Los resultados obtenidos tras la aplicación del cuestionario durante Mayo de 2019 fueron los siguientes:

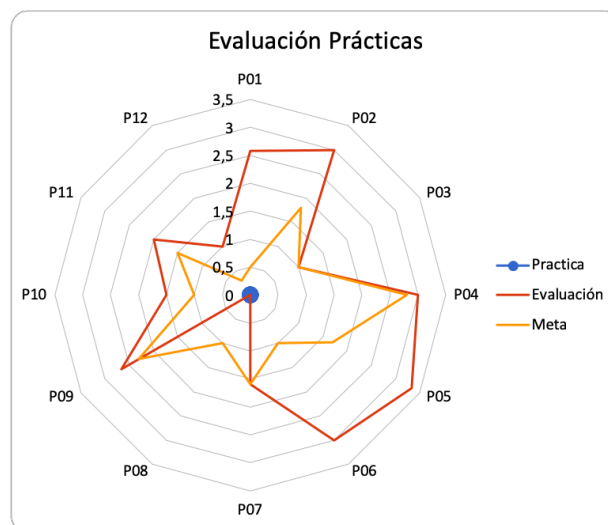


Figura 7.2: Resultados cuestionario 2019.
(Fuente: Envases Impresos S.A.)

De este modo, se logra evidenciar que el único punto fuera del rango meta es **P08** el cual

hace referencia a la gestión y compras de repuestos.

De este resultado se pueden obtener los puntos débiles y categorizarlos para así seleccionar el área a mejorar según su criticidad.

	Gestión de repuestos	Gestión de costo	Mantenimiento predictivo
Duración	10	9	2
Plazo	10	8	10
Impacto	10	9	10
Costo	7	7	3
Total	37	33	25

Tabla 7.1: Categorización de problemáticas detectadas.
(Fuente: Elaboración propia.)

Se entiende tras este análisis que la falencia detectada de manera previa por personal de mantenimiento se refleja de igual manera en el cuestionario, por tanto, será la gestión de repuestos, el punto sobre el cual se realizará un plan de mejora.

7.3. Diagrama Causa raíz

Dados los resultados obtenidos anteriormente, se comienza a trabajar con el tópico con mayor puntaje.

Como evidencia se tiene que la inexistencia de actividades o compromisos con la gestión y compra de repuestos, desencadena en un constante quiebre de stock de repuestos, que es detectado principalmente durante intervenciones correctivas del equipo. En particular, la propuesta de

mejora se implementará a la máquina Corrugadora en primera instancia. De este modo, el análisis a continuación se realizará en base a información únicamente pertinente a esta máquina.

En conjunto con el área de mantenimiento (Ingenieros, Mecánicos y Eléctricos) se comienza el desarrollo del diagrama causa raíz, donde se obtiene lo siguiente:



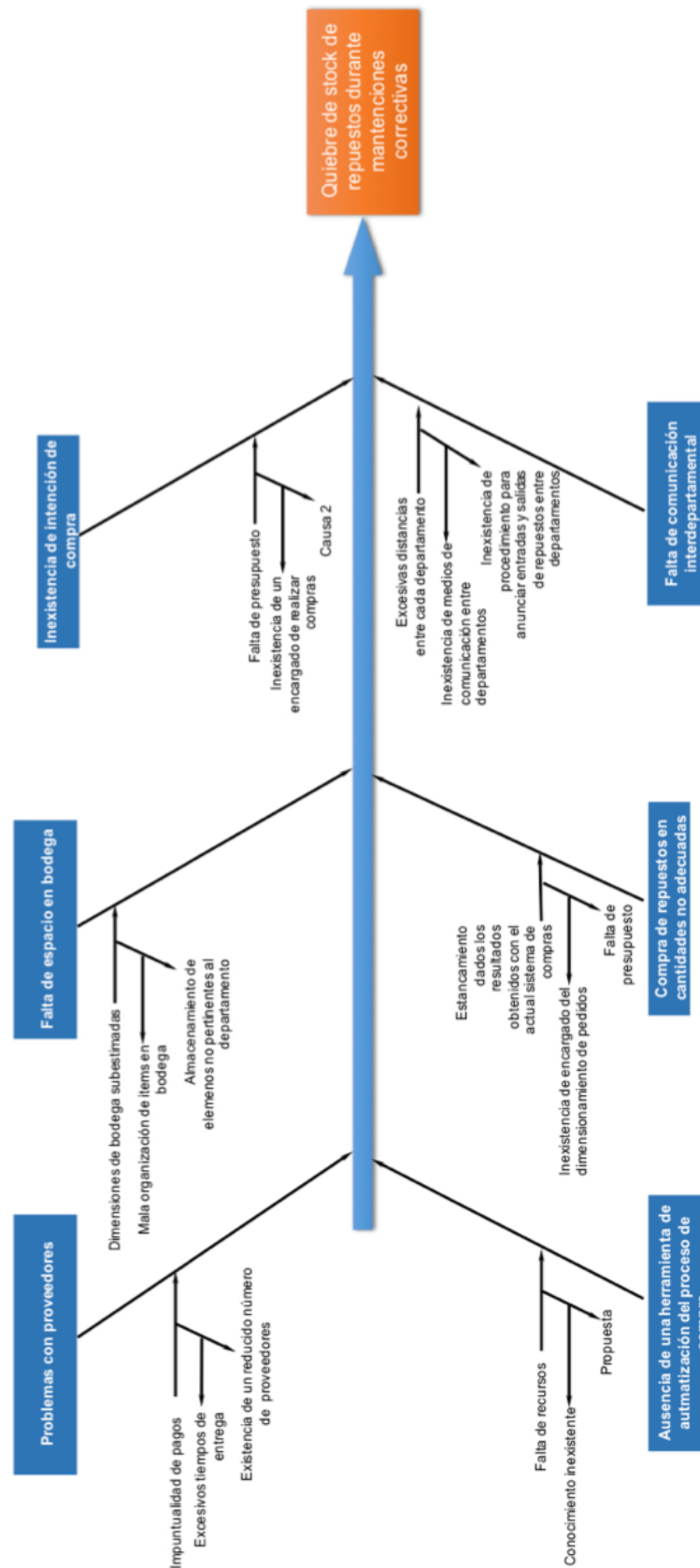


Figura 7.3: Diagrama causa raíz.
(Fuente: Elaboración propia.)

De las 6 causas-raíces reveladas por parte del área de mantenimiento, 2 fueron mencionadas como las principales causantes de la falla.

En primer lugar, la falta de comunicación interdepartamental entre mantenimiento y bodega genera un desconocimiento entre los insumos que realmente están en bodega v/s las demandas que genera mantenimiento. En segundo lugar y como principal causa raíz, no existe una herramienta guía para conocer las cantidades a comprar en cada pedido ni tampoco que muestre los niveles de inventario que eviten el quiebre de stock.

Según esto, como objetivo principal, se comenzará a trabajar sobre un plan de abastecimiento para los repuestos de la máquina Corrugadora y de este modo, evitar quiebres de stock que prolonguen las labores de mantención por sobre los programado.

7.4. Análisis de Criticidad

Se determina que el análisis ABCZ se adecúa de mejor manera a la realidad de la empresa ya que existe un gran número de repuestos importados que pocos proveedores ofrecen y que pueden generar un alto impacto en caso de provocar una falla, por esta razón y para estos ítems en particular, es que el análisis debe ser aún mas profundo. Además, se torna poco realista la frecuencia de falla de cada repuesto, producto de modificaciones que ha sufrido la máquina y con ello cambio de piezas. Finalmente, el análisis ABCZ se modifica reemplazando la categoría de nivel de servicio por la sentencia: “la falla del repuesto produce la detención total de la máquina” y de este modo se obtiene el tiempo que toma el reemplazo de cada repuesto obteniéndose los costos de ineficiencia y con esto, la posibilidad de realizar un futuro análisis para determinar la

política de inventario que se ajusta a cada repuesto al menor costo.

Las categorías evaluadas en este análisis y resultados se pueden observar con mayor detalle dentro de los Anexos en [Figura 11.2](#) y las siguientes Figuras.

7.4.1. Principio de Pareto

Si bien no se utilizará el principio de Pareto para realizar la clasificación ABC, éste será utilizado para identificar visualmente cómo se comportan los repuestos en cuanto a sus costos agregados.

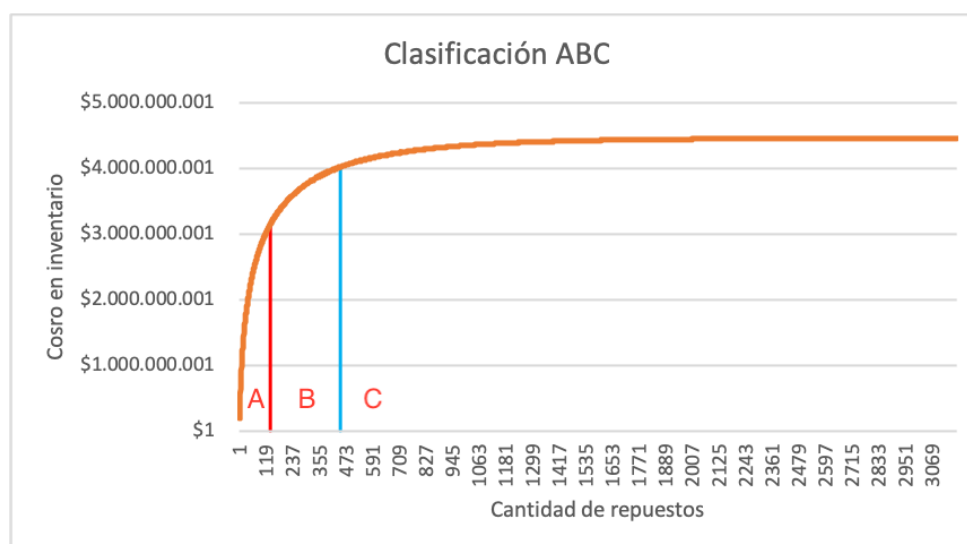


Figura 7.4: Clasificación ABC.
(Fuente: Elaboración propia.)

El análisis ABC para la situación que presenta Envases Impresos S.A. refleja un desequilibrio en los valores establecidos por el principio de Pareto. La proporción que concentra el 70 % de los gastos de inventario (Zona A) de la máquina Corrugadora es generada solo por el 4,25 % de artículos, el 20 % de los gastos (Zona B) se genera con el 10 % siguiente y el 10 % del consumo restante (Zona C) ha sido producido por el 85,75 % de repuestos.

Se propone abordar de forma metódica el 95 % de los costos históricos generados por la máquina Corrugadora (desde el año 2004 hasta 2019), abarcando un total de 718 repuestos (Ver Figura 7.5).

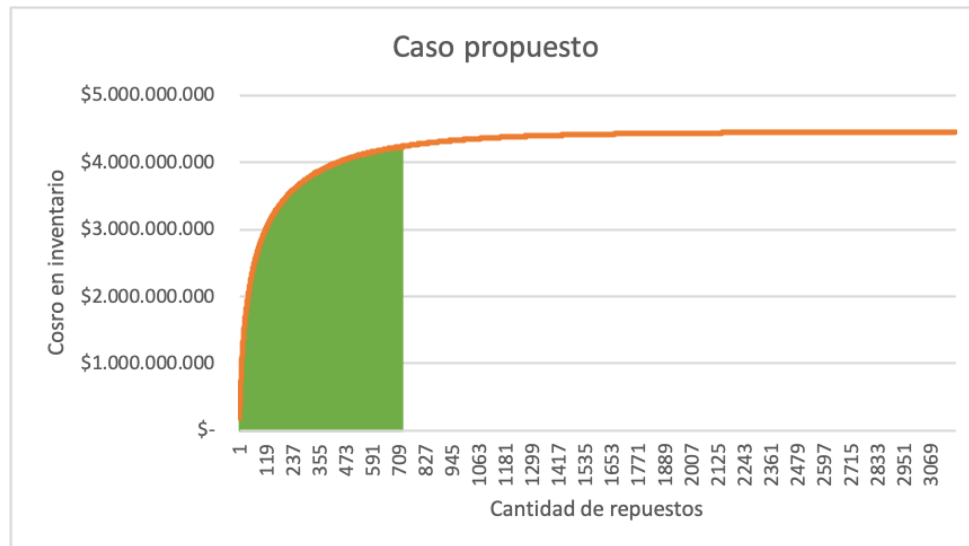


Figura 7.5: Segmento propuesto a analizar .

(Fuente: Elaboración propia.)

El resto de repuestos se categoriza de igual manera, sin embargo existe una gran masa de datos que es de fácil segmentación (repuestos como golillas, pernos, tuercas, amarras plásticas, ampollitas, entre otros son buscados en la data por medio de filtros con el fin de abarcar grandes cantidades de datos y una rápida categorización). Además, se revisa este 5 % que queda fuera del consumo histórico a analizar con el apoyo de personal de mantenimiento para identificar repuestos que sean considerados como críticos y deba existir una mayor certeza en sus puntos de reorden.

7.4.2. Repuestos críticos

La siguiente tabla muestra el resultado obtenido tras realizar la segmentación de repuestos según su criticidad por medio del análisis ABCZ.

Categoría	Cantidad (SKU's)	Breve descripción
A+	53	Repuestos altamente críticos dentro de la máquina.
A	155	Repuestos críticos dentro de la máquina.
B	2168	Repuestos medianamente críticos.
C	803	Repuestos con nula criticidad dentro de la máquina.

Tabla 7.2: Clasificación según criticidad.
(Fuente: Elaboración propia.)

Las categorías se explican a continuación:

- **A+:** Se consideran dentro de esta categoría los repuestos que:
 - Tras sufrir una avería, provocan una falla (detención inmediata) en la máquina Corrugadora.
 - Son outliers (datos atípicos) en comparación a los costos del resto de repuestos utilizados por la máquina.
 - Generan pérdidas de producción por sobre los 10.000 USD tras una hora de reparación.
- **A:** Se consideran dentro de esta categoría los repuestos que:
 - Tras sufrir una avería, provocan una falla (detención inmediata) en la máquina

Corrugadora.

- No se consideran outliers en el costo que poseen respecto a los otros repuestos.
- Generan pérdidas de producción por sobre los 5.000 USD tras una hora de reparación.
- **B:** Se consideran dentro de esta categoría los repuestos que:
 - No detienen el funcionamiento de la máquina tras su avería.
 - Tras su reparación se generan pérdidas menores a 5.000 USD.
 - No se consideran outliers en el costo que poseen respecto a los otros repuestos.
 - Ya sean importados o nacionales, existen pocos o solo un proveedor.
- **C:** Se consideran dentro de esta categoría los repuestos que:
 - No detienen el funcionamiento de la máquina tras su avería.
 - Tras su falla, no generan pérdidas por producción.
 - No se consideran outliers en el costo que poseen respecto a los otros repuestos.
 - Ya sean importados o nacionales, existen varios proveedores del repuesto.

7.5. Políticas de inventario

Una vez realizado el análisis de criticidad a los repuestos seleccionados se debe estimar los inventarios de seguridad para cada uno con el fin de evitar futuros quiebres de stock, el nivel de

seguridad de este pronóstico vendrá determinado por el grado de criticidad del repuesto.

A continuación, se aplican los modelos de gestión de inventario y se realiza además un pronóstico de puntos de reorden basado en la cantidad de repuestos que, de haber estado disponibles, no hubiesen generado quiebres de stock durante ese año. Este último análisis debe considerar todos los datos históricos disponibles. Un ejemplo de como se realizará este análisis es el siguiente:

Artículo j-ésimo	Demanda total trimestre 1 año n	Demanda total trimestre 2 año n	Demanda total trimestre 3 año n	Demanda total trimestre 4 año n
Cuchillo Transversal (Lead Time = 90 días)	100	120	105	98
Demanda máxima durante año n)	120			

Tabla 7.3: Demandas trimestrales totales.
(Fuente: Elaboración propia.)

Donde:

j : corresponde al repuesto j-ésimo registrado en la base de datos consumido por la corrugadora.

n : corresponde al año a evaluar. Para el repuesto j el valor de n comienza desde el año en que existe registro de su consumo hasta el año 2018.

Tras realizar este análisis se aprecia que, si para todo año n, se hubiese tenido constantemente un stock igual o superior a 120 unidades, no se habría provocado un quiebre de stock. Luego, este análisis se hace para todos los años ordenando los datos de la siguiente manera:

Cuchillo Transversal	2015	2016	2017	2018
Máximos consumos en periodos igual al Lead Time	120	100	122	105

Tabla 7.4: Máximas demandas trimestrales registradas $\forall n$.
(Fuente: Elaboración propia.)

Así, por medio de este análisis en conjunto con la criticidad del ítem, se determina el punto de reorden apropiado según el nivel de servicio requerido.

De igual modo, se aplican las políticas de inventario mencionadas en la [Sección 4.5](#).

La propuesta de abastecimiento se determina según el grado de criticidad del repuesto y el pronóstico obtenido tras la aplicación de las políticas de inventario.

En esta etapa se realiza un análisis discreto para determinar el punto de reorden de los repuestos de clase A+. Este análisis “uno a uno” se debe realiza en conjunto con el área de mantenimiento de la empresa.

Además, ayudado por Python, se unifica el grado de criticidad y los distintos pronósticos para cada repuesto.

7.6. Propuestas

Según el grado de criticidad determinado en la [Subsección 7.4.2](#) , cada punto de reorden se pronostica con distintos métodos con la finalidad de obtener el mayor nivel de servicio según su categoría al menor costo tanto por segmento como a nivel global.

Para una mejor comprensión de las propuestas realizadas se debe saber que:

$PR_{i,t}$ = Punto de reorden propuesto para el periodo t , el cual, de haber sido aplicado, no hubiese producido quiebres de stock para todo periodo i anterior a t ; $i \leq t$.

Donde:

i = Corresponde a los años 2004, 2005,...,2018, 2019.

t = Año 2019.

A continuación se muestran los resultados obtenidos:

Categoría	Pronóstico	Nivel de Servicio	Valorización Bodega	Valorización Inversión	Balance
Repuestos A+	Uno a uno	99 %	\$173.454.179	\$364.238.009	-\$190.783.830
Repuestos A	$\overline{PR}_{i,t}$ últimos 3 años ssi $\overline{PR}_{i,t} \neq 0$. E.o.c $\overline{PR}_{i,t}$ histórico.	98 %	\$186.094.725	\$186.872.002	-\$777.277
Repuestos B	Mínimo{Política Revisión Continua (95 %), $\overline{PR}_{i,t}$ últimos 3 años}.	84 %	\$485.880.167	\$297.733.229	\$188.146.938
Repuestos C	Mínimo{Moda $PR_{i,t}$, $\overline{PR}_{i,t}$ histórico, $\overline{PR}_{i,t}$ últimos 3 años}	85 %	\$37.285.251	\$17.247.825	\$20.037.426
				TOTAL	\$ 16.623.257

Tabla 7.5: Propuesta N°1.

(Fuente: Elaboración propia.)

Categoría	Pronóstico	Nivel de Servicio	Valorización Bodega	Valorización Inversión	Balance
Repuestos A+	Uno a uno.	99 %	\$173.454.179	\$364.238.009	-\$190.783.830
Repuestos A	Política de Revisión Continua con 95 % de confianza.	63 %	\$186.094.725	\$126.877.336	\$59.217.389
Repuestos B	Política de Revisión Continua con 90 % de confianza.	87 %	\$485.880.167	\$374.469.186	\$111.410.981
Repuestos C	Mínimo{Moda $PR_{i,t}$, $\overline{PR}_{i,t}$ histórico $\overline{PR}_{i,t}$ últimos 3 años}.	76 %	\$37.285.251	\$16.301.305	\$20.983.946
				TOTAL	\$ 828.486

Tabla 7.6: Propuesta N°2.

(Fuente: Elaboración propia.)

Categoría	Pronóstico	Nivel de Servicio	Valorización Bodega	Valorización Inversión	Balance
Repuestos A+	Uno a uno	99 %	\$173.454.179	\$364.238.009	-\$190.783.830
Repuestos A	Política de Revisión Continua con 95 % de confianza.	63 %	\$186.094.725	\$126.877.336	\$59.217.389
Repuestos B	Mínimo{Política Revisión Continua (95 %), $\overline{PR}_{i,t}$ últimos 3 años}.	84 %	\$485.880.167	\$297.733.229	\$188.146.938
Repuestos C	Mínimo{Moda $PR_{i,t}$, $\overline{PR}_{i,t}$ histórico, $\overline{PR}_{i,t}$ últimos 3 años}	85 %	\$37.285.251	\$17.247.825	\$20.037.426
				TOTAL	\$ 76.617.923

Tabla 7.7: Propuesta N°3.

(Fuente: Elaboración propia.)

Para mayor claridad del lector, las columnas presentadas en las [Tabla 7.5](#), [Tabla 7.6](#) y [Tabla 7.7](#) tienen la siguiente interpretación.

- **Pronóstico:** Con la ayuda de Python, se programan las políticas de gestión de inventario y se aplican a cada repuesto según su grado de criticidad. Esta es la variante entre los 3

modelos propuestos.

- **Nivel de Servicio:** Por medio de Python se hace un recorrido de toda la información pertinente a los repuestos que han salido de bodega únicamente para la corrugadora, estos se agrupan en periodos iguales a su lead time para luego comprar estos consumos v/s los puntos de reorden propuestos, el nivel de servicio se obtiene comparando las veces que hubiese existido un quiebre de stock contra la cantidad de veces potenciales a existir un quiebre de stock (periodos en que hay consumo de repuestos).
- **Valorización de bodega:** Capital inmovilizado que se tiene dentro de bodega, considera las cantidades y su costo de adquisición.
- **Valorización Inversión:** Estos valores muestran el costo que tendría adquirir todos los repuestos propuestos como puntos de reorden (no considera stock previo en bodega).
- **Balance:** Esta columna muestra el costo de alcanzar los puntos de reorden propuestos. Un valor positivo representa un sobre-stock de repuestos dentro de esa categoría, en cambio, un valor negativo es muestra de que se requieren items para llegar a los puntos de reorden recomendados por la propuesta.

A través del siguiente gráfico se puede observar de mejor manera la política que mejor se ajusta a cada repuesto, aumentando su disponibilidad al menor costo.

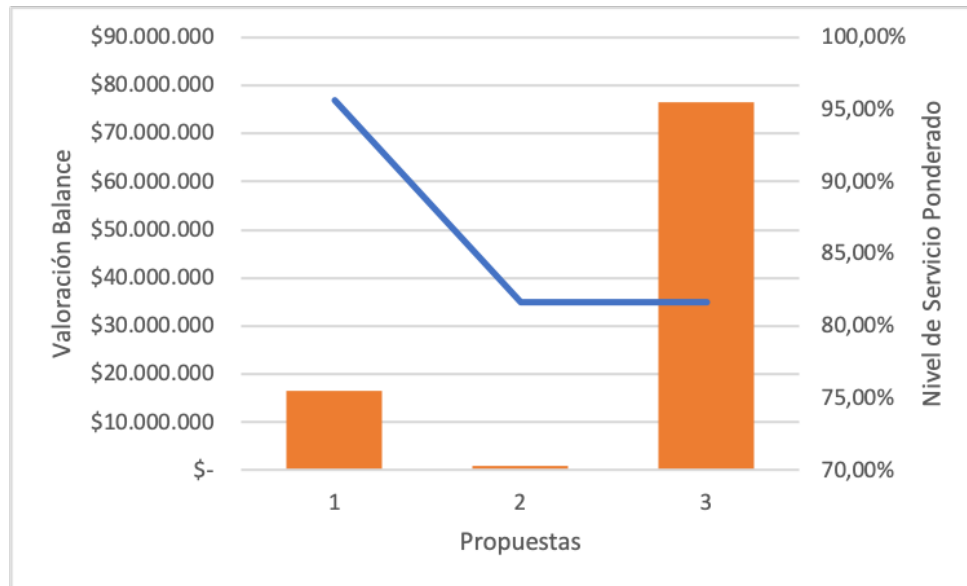


Figura 7.6: Comparación Costo/Nivel de Servicio.
(Fuente: Elaboración propia.)

Las ponderaciones utilizadas para el cálculo del nivel de servicio ponderado son las siguientes:

- Repuestos A+: 40 %
- Repuestos A : 40 %
- Repuestos B : 15 %
- Repuestos C : 5 %

Visualizando la [Figura 7.6](#), la Propuesta N°3, presenta mayor sobre-stock y con esto, una menor inversión final a largo plazo pero, presenta un bajo nivel de servicio total y en particular en los repuestos de clase A. Por otra parte, se evidencia que la Propuesta N°1 tiene un mayor nivel de servicio en todas sus categorías respecto a las otras dos propuestas asegurando de mejor manera la disponibilidad de repuestos altamente críticos. Por esta razón, se selecciona la propuesta N°1 como la política de inventario a implementar.

Para los repuestos Clases A+, se realiza un pronóstico en conjunto con la Jefatura del área de mantenimiento y tras el análisis uno a uno se determina el punto de reorden adecuado. La valorización actual del inventario perteneciente a esta categoría es de \$173.454.179 (inventario en bodega), el análisis realizado recomienda invertir \$230.318.410 en este grupo para alcanzar los puntos de reorden propuestos y detener la compra de ítems que valorizados en \$39.534.580, están por sobre el inventarios de seguridad recomendado.

Para los repuestos Clase A, se determina el punto de reorden a través del valor mínimo entre el promedio de los puntos de reorden de 3 años atrás (que no hubiesen generado quiebre de stock) y el promedio de puntos de reorden históricos (que no hubiesen generado quiebre de stock). Para esta categoría, el inventario actual alcanza los \$186.094.725 y se debe invertir \$37.537.610 para alcanzar los niveles de inventario recomendados, sin embargo existen \$36.760.332 en repuestos que se encuentran sobrepasando el punto de reorden recomendado.

Para repuestos Clase B, el punto de reorden se determina por medio del mínimo valor entre una política de inversión continua con un 95 % de seguridad y el promedio de los puntos de reorden de 3 años atrás (que no hubiesen generado quiebre de stock). El inventario en bodega de esta categoría es de \$485.880.167 y para alcanzar los puntos de reorden propuestos se debe invertir \$105.905.482 sin embargo, existen \$294.052.420 en repuestos que se encuentran sobrepasando el punto de reorden recomendado.

Para repuestos Clase C, el punto de reorden se determina por medio del mínimo valor entre la moda histórica de puntos de reorden que evitaban quiebre de stock, promedio histórico y de los últimos 3 meses del punto de reorden que evitaba el quiebre de stock. El inventario en bodega de esta categoría es de \$37.285.251 teniendo que invertir \$894.994 para alcanzar el punto de reorden

propuresto, sin embargo, existen \$20.892.420 en repuestos que se encuentran sobrepasando el punto de reorden recomendado.

En conocimiento de los valores recién analizados, se propone implementar la propuesta N°1 con un costo de \$374.656.496 pero que presenta \$391.239.752 en repuestos por sobre el nivel del stock propuesto. Su implementación debe ser por medio de un aprovisionamiento inicial de repuestos con mayor criticidad y que no se encuentren en bodega. De forma paralela se debe dejar de comprar repuestos que se encuentren con niveles de stock por sobre los niveles recomendados por la Propuesta N°1.

Dentro de los Anexos se encuentra de forma detallada los repuestos, sus códigos, puntos de reorden propuestos y categorías, con esto, se espera que se de prioridad a repuestos que realmente la requieren y se desplacen recursos de capitales inmovilizados hacia repuestos con alta criticidad y rotación.

8 Recomendaciones

Con el fin de una correcta implementación de la propuesta realizada y evitar problemas futuros en la gestión de los activos tratados, se realizan las siguientes recomendaciones.

8.1. Eliminación de exceso de inventario

Una estrategia para disminuir los costos de adquirir los repuestos necesarios para llegar a los puntos de reorden determinados por la propuesta realizada, es la disminución de los niveles de stock de repuestos que se encuentren muy por encima de los puntos de reorden recomendados. De este modo se detienen las compras injustificadas dentro del área de mantenimiento y aquellos recursos se destinan a la compra de repuestos que se consideran críticos y se encuentran con niveles de inventarios bajo los establecidos.

Además, se propone comenzar un inventario general de los repuestos en bodega con la finalidad de actualizar los valores reales de inventario con los registrados en SAP y además, identificar repuestos que se encuentren duplicados tanto en existencias como en sus códigos y de este modo, unificarlos en uno solo.

8.2. Estandarización de repuestos

Como una recomendación para una adecuada rotación de repuestos en bodega, se recomienda la estandarización de los repuestos a comprar. Vale decir, y dentro de lo posible, adquirir siempre los mismos modelos, con las mismas especificaciones técnicas y con el mismo proveedor. Al traer repuestos distintos (distinto calidad, marca, dimensiones, etc) se debe incurrir en una nueva codificación y con esto, se comienzan a producir duplicidad de códigos que en el mediano largo plazo conlleva a una acumulación de stock, como lo evidenciado durante el análisis ABCZ, donde, cerca del 10 % de los repuestos analizados se encontraba en bodega con distintos códigos generando, por parte de bodega, recomendaciones de compra innecesarias dada la existencia, pero bajo otro código, del repuesto recomendado.

8.3. Implementación de la metodología

La utilización del listado de repuestos críticos y puntos de reorden entregado por esta memoria debe ser utilizado como una herramienta de apoyo en la toma de decisiones de compras, no se debe invertir de forma inmediata en la totalidad de los repuestos propuestos para llegar a los niveles de stock ideales, mas bien, se debe consultar si las recomendaciones de compras deben ser aprobadas o no con el fin de disminuir el sobre-stock. Esta forma de utilización de la propuesta desarrollada se debe ejecutar durante su periodo de instauración y, solo una vez aplicado el análisis a todos los equipos de la planta, se podrán utilizar los resultados como guía para comenzar las compra, independiente de recomendaciones de bodega, de repuestos para el área de mantenimiento comenzando por los considerados con mayor criticidad.

8.4. Periodicidad del análisis

Debido a la automatización lograda con el programa desarrollado en Pandas, se recomienda correrlo al menos una vez al año, con el fin de sumar un año al análisis y en base a esto actualizar los inventarios de seguridad propuestos. Cabe rescatar que el análisis de criticidad ya se posee por lo que con los pronósticos de inventario es suficiente para que, acorde a la clasificación del repuesto, se determine el nivel deseado en bodega de cada uno.

8.5. Gestión de talento

Actualmente el nivel de tecnología en los equipos ha dejado de ser un factor de diferenciación contundente debido al gran número de proveedores que los ofrece. Por tanto, la diferenciación entre una empresa eficiente y otra que no lo es ya no radica en el nivel de tecnología sino en la capacidad de gestionar esta tecnología. Por esta razón, se recomienda una correcta implementación de gestión de talento, para lograr atraer a los mejores profesionales del mercado disminuyendo las posibilidades de comprometer la competencia del área de mantenimiento dentro de la empresa.

De igual modo, se recomienda continuar con las capacitaciones realizadas hasta la fecha respecto a las nuevas tendencias mundiales en el mantenimiento y de forma paralela se deben realizar capacitaciones para mejorar las técnicas en las labores de reparación para lograr disminuir los tiempos medios de reparación y la cantidad de fallas causadas por malas prácticas de mantenimiento previo.

8.6. Transición hacia RCM y monitoreo de condiciones

Debemos recordar que el desgaste de un equipo depende de su aplicación y condiciones in situ. Por ejemplo, dos unidades idénticas de equipos corrugadores (partes de la máquina corrugadora) que operan la misma cantidad de horas mensuales en turnos distintas, difícilmente tendrán el mismo desgaste y consumirán una cantidad distinta de repuestos. La duración de los repuestos propuesta por el fabricante es calculada en condiciones controladas y no representan necesariamente las condiciones en operación. Además, en ocasiones un mantenimiento preventivo puede tener una alta cantidad de desperdicios, en casos en que se reemplazan componentes prematuramente, que todavía tienen mucho tiempo de vida útil.

Es por estas razones que inevitablemente el área de mantenimiento de Envases Impresos S.A. debe transitar hacia un mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) y monitoreo de condiciones para de este modo, facilitar la generación de valor dentro de la función de mantenimiento (Arata, Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales, 2009). Para esto es indispensable el registro histórico de fallas y consumo de repuestos, para poder calcular los modos de falla de cada equipo y de tal manera calcular los tiempos medios entre fallas. También se debe comenzar a realizar monitoreos de condiciones, tales como análisis de aceite, vibraciones, etc. Esto con el fin de activar alertas tempranas de fallas y gestionar el pedido de repuestos. Idealmente las nuevas generaciones de equipos deberán traer una mejor tecnología de sensores, para monitoreo continuo, registro histórico y activación de alertas tempranas para facilitar las labores de mantenimiento.

9 Conclusiones

Sin lugar a dudas que una correcta estrategia de abastecimiento es crucial para una empresa como Envases Impresos S.A., ya que como proveedor de empresas exportadoras de alimentos debe asegurar la continuidad operacional de las unidades que salen del mercado Chileno hacia el extranjero.

Además, de esta forma se protege el activo intangible de la compañía, la marca CMPC, asegurando el correcto soporte de sus unidades en el país y generando valor agregado para sus clientes.

Para brindar soporte a la máquina encargada de corrugar el papel y fabricar las placas de cartón, se han detectado un total de 53 repuestos críticos, los cuales se recomienda mantener en stock permanente. Esto, determinado tras un diagnóstico el cual corrobora que la principal causante de malos resultados en los tiempo de reparación son causados por la mala gestión de repuestos, llevó a un posterior análisis de criticidad ABCZ y determinación, por medio de políticas de inventario, los niveles mínimos de stock a tener en bodega para no volver a caer en quiebres de stock de repuestos altamente importantes para el normal funcionamiento de la máquina corrugadora. Estas herramientas son nuevas para la organización por lo que generarán

un gran valor agregado a su operación y una mayor confianza en el manejo de su inventario de repuestos.

Durante la realización del análisis de criticidad ABCZ, se evidenció que la base de datos en la empresa es de acceso inmediato y tiene una actualización de datos día a día, sin embargo, la calidad de la información no sigue la línea de su disponibilidad. Existen varias dudas sobre la veracidad de las bases de datos principalmente en cuanto al inventario pues existen varios productos que figuran con más de un código y otros con cantidades que no cuadran con los valores mostrados por SAP. Se espera entonces, que el presente trabajo esté acompañado de un inventario físico que ajuste los niveles de inventario y permita que el modelo sea mucho más beneficioso.

Para la evaluación de modelos se calcularon los costos de inventario en que se incurriría al aplicar la gestión de inventario y luego se compararon estos resultados con el costo de inventario total a comienzos de año 2019. Los resultados muestran que el modelo seleccionado, tiene un costo de implementación total de \$374.656.496 para alcanzar los niveles de inventario en bodega propuestos, sin embargo, existe un sobre stock en todas las categorías estudiadas las cuales en su conjunto alcanzan los \$391.239.752. De estas cifras se concluye que se debe direccionar las compras hacia los repuestos que se encuentren por debajo de los inventarios de seguridad determinados por esta memoria de una manera progresiva.

Además, se determina que para aplicar la gestión de inventario de repuestos propuesta de forma inequívoca y obtener los niveles de servicio esperados, esta metodología debe ser aplicada al resto de las máquinas para tener los valores reales de consumos de cada ítem, debido a que los repuestos analizados pudieron haber sido utilizados en otras máquinas sin haber sido registrado en

la base de datos estudiada. Con esto en consideración, hasta que no se realice de forma global este análisis dentro de la empresa, se deben utilizar los resultados de este análisis como herramienta para la toma de decisiones sobre las recomendaciones de compras realizadas a diario por el encargado de bodega.

Del presente trabajo se puede destacar también la gran aplicabilidad que este trabajo tiene y la posibilidad que entregará a la empresa de replicarlo al resto de máquinas e incluso plantas a lo largo de Chile ya que el análisis de criticidad y los modelos de gestión de inventario, no presentan mayores complicaciones para ser aplicados y los procesos en cada planta siguen la misma secuencia.

Como estrategia a largo plazo, Envases Impresos S.A. debe inevitablemente migrar hacia un mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM). De esta forma se logra mejorar la gestión de inventario ya que es posible determinar los modos de falla de cada sistema, y generar un plan de mantención acorde al equipo y las condiciones in situ donde este opera. Sin embargo, para asegurar un correcto flujo de la información, Envases Impresos S.A. debe estandarizar sus procesos en operación, el procesamiento de datos y asegurar el acceso a plataformas de gestión, como lo son SAP. Sobre esto último, la gerencia debe comenzar a implementar algún Software de gestión de mantenimiento como el módulo de SAP, Máximo u otro debido a la gran cantidad de información disponible y la escasa utilización de esta para el apoyo en la toma de decisiones.

Finalmente, resulta crucial que exista una cultura hacia una mejora continua dentro de la organización, que busque constantemente la actualización a prácticas utilizadas en empresas de clase mundial.

10 Bibliografía

Mendoza, R. H. (2000). *El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional*. Venezuela.

Tavares, L. A. (2000). *Administración Moderna de Mantenimiento*. Brasil.

Waters, D. (2003). *Logistics - An Introduction to Supply Chain Management*. Palgrave Macmillan.

Pandas. (2019). www.pandas.pydata.org. Obtenido de Python Data Analysis Library: www.pandas.pydata.org

Python. (2019). *Python*. Obtenido de www.python.org

Gutierrez, V. (2008). *Inventory Management Models in Supply Chains: A Literature Review*. Medellín.

GTM. (2019). *Clasificación de Repuestos ABCZ. Santiago, Chile: Pilar de Mantenimiento Planeado para GTM-Etapas 1 y 2*.

Caldentey, R. (2015). *Apuntes Gestión de Inventarios*. Santiago: Universidad de Chile.

Sanchez, G. P. (2016). *DISEÑO IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE GESTIÓN DE REPUESTOS CRÍTICOS PARA UNA FLOTA DE EQUIPOS DE TRANSPORTE*. Santiago.

- Mendoza., R. H. (2000). *El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional*. Habana.
- Mardones, C. J. (2018). *Gestión de abastecimiento de repuestos de equipos mineros*. Santiago.
- Izar, J. M. (2013). *Estudio comparativo de la aplicación de 6 modelos de inventarios para decidir la cantidad y el punto de reorden de un artículo*. México.
- Arata, A. (2005). *Manual de gestión de activos y mantenimiento*. Santiago: RIL.
- Prando, R. R. (1996). *Manual gestión de mantenimiento a la medida*. Guatemala: Piedra Santa.
- Kececioglu, D. (2002). *Reliability Engineering Handbook, Volume 1*. Pennsylvania, USA.
- Moubray, J. (2004). *MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)*. North Carolina USA.
- López, I. C. (2015). *Selección del tipo de mantenimiento a aplicar al equipamiento del Gran Hotel "Los Helechos"*. Santa Clara.
- Cáceres, M. B. (2004). *Cómo Incrementar la Competitividad del Negocio mediante Estrategias para Gerenciar el Mantenimiento*. México D.F.
- Lopez, M. (2018). *Herramientas para la Calidad: Diagrama causa - efecto*. En M. Lopez, *Herramientas para la calidad* (pág. 16). Valparaíso.
- Pedro Ruiz-López, C. G.-S.-E. (2005). *Análisis de causas raíz. Una herramienta útil para la prevención de errores*. ARTÍCULOS METODOLÓGICOS, 71-79.
- Hirano, H. (2009). *JIT Implementation Manual*. Tokyo: CRC Press.
- Grajales, D. M. (2006). *La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas*

modernas aplicadas al mantenimiento. Pereira: Scientia et Technica.

Pérez, A. J. (2010). *OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO. IMPLANTACIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM EN MÁXIMO.* Madrid: IBERDROLA Ingeniería y Consultoría.

Arata, A. (2009). *Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales.* Santiago: RIL.

Kristjanpoller, F. (2018). *Ingeniería de plantas industriales.* Valparaíso.

Márquez, C. A., Crespo M, A. (2012). *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos.* Sevilla: Ingeman.

Planas, M. P. (2014). *Análisis de fiabilidad, criticidad, disponibilidad, capacidad de mantenimiento y seguridad de una impresora industrial digital.*

Lalanne, A. R. (2018). *METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD OPERACIONAL MEDIANTE HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN, PARA EVALUACIÓN DE RIESGOS EN LA ETAPA DE DISEÑO DE UN PROYECTO INDUSTRIAL*

11 Anexos



N°	Práctica	No hay práctica 0	1 Iniciando	2 Regular	3 Bueno	4 Excelente	Nota
1	PRACTICA 1: Mantenimiento autónomo (limpieza y aviso de anomalías). EVIDENCIAS: Entrevistas con los Operadores, Mantenedores, Supervisores y Jefatura. - KPI's/Metas. - Plan de Inspección Operacional/Rutinas Operativas. - Matriz de Capacitación. - Procedimiento/checklist (limpieza, inspección, lubricación, etc.) - Gestión a la Vista: - Documento de aviso de averías.	1.0.1.- No existe ninguna actividad o compromiso relacionada con el tema	1.1.1.- Existe el concepto, pero de manera informal, de lo que significa mantenimiento autónomo. El cual involucra actividades de mantenimiento y operación con el fin de mantener la condición de los equipos.	1.2.1.- Se tiene una estrategia de mantenimiento de planta, la cual hace mención a qué equipos se les realiza mantenimiento autónomo. Existe una descripción formal de los conceptos y actividades que involucra el MA.	1.3.1.- Se tiene una estrategia de mantenimiento de planta, la cual hace mención a qué equipos se les realiza mantenimiento autónomo. Existe una descripción formal de los conceptos y actividades que involucra el MA.	1.4.1.- Se tiene una estrategia de mantenimiento de planta, la cual hace mención a qué equipos se les realiza mantenimiento autónomo. Existe una descripción formal de los conceptos y actividades que involucra el MA.	NO
			1.1.2.- Los operadores tienen una idea básica de lo que es mantenimiento autónomo.	1.2.2.- Los operadores (más del 30%) están educados y entrenados con los conceptos de mantenimiento autónomo.	1.3.2.- Los operadores (más del 50%) están educados y entrenados con los conceptos de mantenimiento autónomo.	1.4.2.- Los operadores (más del 70%) están educados y entrenados con los conceptos de mantenimiento autónomo.	NO
			1.1.3.- Se realizan, pero no de forma sistemática, rutinas de limpieza a los equipos.	1.2.3.- Se realizan, de forma sistemática, rutinas de limpieza a los equipos. Existe un calendario que considera limpiezas de frecuencia mínima mensual.	1.3.3.- Se realizan, de forma sistemática, rutinas de limpieza a los equipos. Existe un calendario que considera limpiezas de frecuencia mínima mensual. El cumplimiento de realización esta sobre un 80%.	1.4.3.- Se realizan, de forma sistemática, rutinas de limpieza a los equipos. Existe un calendario que considera limpiezas de frecuencia mínima mensual. El cumplimiento de realización esta sobre un 90%.	NO
			1.1.4.- Las anomalías detectadas son parcialmente registradas. No hay seguimiento de las soluciones de las mismas.	1.2.4.- Las anomalías detectadas son parcialmente registradas. Hay seguimiento de las soluciones de las mismas, pero no de forma sistemática.	1.3.4.- Las anomalías detectadas son registradas. Hay seguimiento de las soluciones de las mismas, se mantiene actualizado el estado de cierre de las anomalías.	1.4.4.- Las anomalías detectadas son registradas. Hay seguimiento de las soluciones de las mismas, se mantiene actualizado el estado de cierre de las anomalías. El cierre está sobre el 90%.	NO
				1.2.5.- Existe un checklist que mide la realización de las tareas de limpieza. Su cumplimiento está sobre el 70%.	1.3.5.- Existe un checklist que mide la realización de las tareas de limpieza. Su cumplimiento está sobre el 80%.	1.4.5.- Existe un checklist que mide la realización de las tareas de limpieza. Su cumplimiento está sobre el 90%.	NO
					1.3.6.- Existen responsables de operación y mantenimiento definidos para la realización de actividades de mantenimiento autónomo.	1.4.6.- Existen responsables de operación y mantenimiento definidos para la realización de actividades de mantenimiento autónomo. Hay gestión a la vista de las responsabilidades.	NO
					1.3.7.- Existen planes de inspección de máquinas por parte del personal de mantenimiento. En la elaboración de los planes han tenido participación mantenedores y operadores.	1.3.7.- Existen planes de inspección de máquinas por parte del personal de mantenimiento. En la elaboración de los planes han tenido participación mantenedores y operadores. Estos planes se	NO
							0.0

Figura 11.1: Matriz análisis de criticidad.

(Fuente: Elaboración propia.)

Código	LEGAL	REQUERIDO	VEDADO IN	NO EXISTE	> 1000USD	COSTO MANTENENCIA	MEDIO	< 2 HR < 5000USD	MANTENCIÓN	POCOS REP	SI	NO	Costos		Lead Time	Clase 1	Forecast	Proyección			
													Outlier	C				L41	L42		
82000424		1			1				1					C1	C2	60	Clase 1	2	0	98%	39%
82070036		1				1			1					C1	C2	60	Clase 1	2	0	88%	0%
82010965		1					1		1					C1	C2	60	Clase 1	1	0	100%	44%
82010925		1							1					C1	C2	60	Clase 1	1	0	100%	0%
82010640		1					1		1					C1	C2	60	Clase 1	2	0	98%	14%
82010996		1							1					C1	C2	60	Clase 1	1	0	100%	0%
82010038		1							1					C1	C2	60	Clase 1	1	0	100%	37%
82010982		1							1					C1	C2	60	Clase 1	1	0	100%	0%
82010501		1							1					C1	C2	60	Clase 1	1	0	88%	0%
82011040		1							1					C1	C2	60	Clase 1	1	0	100%	0%
82070034		1							1					C1	C2	60	Clase 1	1	0	100%	45%
82010016		1				1			1					C1	C2	60	Clase 1	2	0	100%	0%
82000486		1					1		1					C1	C2	60	Clase 1	2	0	100%	20%
82000162		1							1					C1	C2	60	Clase 1	2	0	100%	0%
82000489		1							1					C1	C2	60	Clase 1	1	0	100%	0%
82011203		1							1					C1	C2	60	Clase 1	2	0	100%	0%
82010421		1							1					C1	C2	60	Clase 1	1	0	100%	0%
21010469		1							1					C1	C2	60	Clase 1	1	0	100%	0%
82010962		1							1					C1	C2	60	Clase 1	1	0	100%	0%
82010985		1					1							C1	C2	60	Clase 1	1	0	100%	0%
82010997		1							1					C1	C2	60	Clase 1	1	0	100%	0%
82010035		1							1					C1	C2	60	Clase 1	1	0	100%	0%
82000962		1							1					C1	C2	60	Clase 1	1	0	100%	0%
82011816		1							1					C1	C2	60	Clase 1	1	0	100%	0%
82000940		1							1					C1	C2	60	Clase 1	1	0	100%	0%
82010961		1							1					C1	C2	60	Clase 1	1	0	100%	0%
82010951		1							1					C1	C2	60	Clase 1	1	0	100%	0%
82000573		1							1					C1	C2	60	Clase 1	1	0	100%	0%
82070154		1							1					C1	C2	21	Clase 1	1	0	100%	0%
82010969		1							1					C1	C2	60	Clase 1	1	0	100%	0%
14182467		1							1					C1	C2	60	Clase 1	1	0	100%	0%
82000381		1							1					C1	C2	21	Clase 1	1	0	100%	0%
82010985		1							1					C1	C2	60	Clase 1	1	0	100%	0%
82000957		1							1					C1	C2	60	Clase 1	1	0	100%	0%
82000794		1							1					C1	C2	60	Clase 1	1	0	100%	0%

Figura 11.2: Repuestos A+.
(Fuente: Elaboración propia.)

Código	Lead_time	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16
82010039	60		1	3	2	2	2	3	2	3	3	2	1	2	1	1	
82020424	60		1	1	1	1	2	2	2	2	1	2	1	4	1	2	1
5159810	60							24	23	26	25	23	38	42	40	38	52
82020047	60		47	78	37	27	28	22	68	49	35	55	52	98	37	47	29
82020161	60			1	1		2	2	2	3	2	1		5	4	3	6
82670036	60							1	1			2,61		1		1	
82010955	60						1	1		1		1		1		1	1
82010629	60														1		1
82010625	60														1	1	1
82016540	60											1	1	1	1	1	1
82010977	60						2	2	2			2	2	3		1	2
82020017	60			1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1
82016502	60											1		2		1	1
82010696	60																1
82011145	60											1					
82010843	60			96	195	119	104	160	136	97	137	147	120	60	48	48	40
82010038	60					1	1		1	1		1		1		1	1
82020013	60			34		20	21	2	33		46		46	92	34	33	
82020500	60												3			13	29
82010682	60																1

Figura 11.19: Ejemplo obtención máximos puntos de reorden para periodos anteriores.
(Fuente: Elaboración propia.)

```
import numpy as np
import pandas as pd
import random
import matplotlib.pyplot as plt
from datetime import datetime, timedelta
import dateutil
```

```
mov_corrugadora = pd.read_excel('../data/movimientos_corrugado.xlsx', encoding='utf-8')
```

```
consumos=pd.DataFrame()
ingresos=pd.DataFrame()
consumos=mov_corrugadora
consumos=consumos[((consumos['CMV']==221)|(consumos['CMV']==961)|(consumos['CMV']==201)|(consumos['CMV']==963)) & (consumos['Costo_unitario_prom']==consumos['Valor total']/consumos['Cantidad'])
consumos=consumos[['Material','Texto breve de material','Cantidad','Costo_unitario_prom','Valor total','Iote','Fe--contal
```

Figura 11.20: Código Python.
(Fuente: Elaboración propia.)

```

consumos_i=consumos.copy()
consumos_i['Costo_unitario_prom']=consumos_i['Valor total']/consumos_i['Cantidad']
consumos_i=consumos_i[['Material', 'Texto breve de material', 'Cantidad', 'Costo_unitario_prom', 'Valor total', 'Lote', ]]

#Contar cantidad de nacionales e importados
group=pd.DataFrame(consumos_i[['Texto breve de material', 'Valor total', 'Cantidad']].groupby('Texto breve de materi.

for i in range(len(group.index)):
    nombre=group.index[i]
    group.loc[nombre, 'Nacional']=(consumos_i[((consumos_i['Lote']=='3NACIONAL')|(consumos_i['Lote']=='2NACIONAL'))&
    group.loc[nombre, 'Importado']=(consumos_i[((consumos_i['Lote']=='3IMPORTADO')|(consumos_i['Lote']=='2IMPORTADO')

#ACA DEBEN IR LOS LEADTIME

for i in range(len(group.index)):
    nombre=group.index[i]
    if group.loc[nombre, 'Nacional']==0:
        group.loc[nombre, 'Lead_time']=60
    if group.loc[nombre, 'Importado']==0:
        group.loc[nombre, 'Lead_time']=21
    if group.loc[nombre, 'Importado']!=0 and group.loc[nombre, 'Nacional']!=0:
        group.loc[nombre, 'Lead_time']=60

for i in range(len(group.index)):
    namee=group.index[i]
    code=mov_corrugadora[mov_corrugadora['Texto breve de material']==namee].mode().head(1)['Material']
    group.loc[namee, 'Codigo']=int(code)

```

Figura 11.21: Código Python.
(Fuente: Elaboración propia.)

```
s = pd.read_excel('..data/Propuesta2.xlsx', encoding='utf-8')
stock=pd.DataFrame()
stock=s
stock=stock.set_index('Codigo')

for j in range(len(stock.index)):
    i=stock.index[j]
    aa=group[group['Codigo']==i]
    group.loc[aa.index, 'Forecast']=stock.loc[i, 'Forecast']
    group=group.fillna(0)

group['Veces totales']=0
group['Cant quiebre']=0
```

Figura 11.22: Código Python.
(Fuente: Elaboración propia.)

```

for j in list(range(2003, 2019)):
    fecha1 = '1'+'-'+'1'+'-'+'1'+str(j) #raw_input('Fecha inicio para datos DIA-MES-ANIO')
    fecha2 = '1'+'-'+'1'+'-'+'1'+str(j+1) #raw_input('Fecha fin para datos DIA-MES-ANIO')
    consumos_i = consumos[consumos['Fe-contab-']>=str(fecha1)].copy()
    consumos_i = consumos[consumos['Fe-contab-']<str(fecha2)].copy()
    fechas_mov = pd.DataFrame()
    for i in range(len(group.index)):
        name = group.index[i]
        fechas_mov = pd.DataFrame()
        fechas_mov = consumos_i[consumos_i['Texto breve de material']==name]
        fechas_mov = fechas_mov[fechas_mov['Fe-contab-']>=str(fecha1)]
        fechas_mov = fechas_mov[fechas_mov['Fe-contab-']<str(fecha2)]
        fechas_mov = fechas_mov.set_index('Fe-contab-')
        mayor = 0
        mayor2 = 0
        #Agregar IF para ver que valor toma 2M segun lead time
        if group.loc[name, 'Lead_time']==60:
            value = pd.DataFrame()
            value = fechas_mov[['Cantidad']].resample('2M').sum()

            if len(value.index)>0:
                for i in range(len(value.index)):
                    group.loc[name, 'Veces totales']+=1
                    date = value.index[i]
                    if value.loc[date, 'Cantidad']>group.loc[name, 'Forecast']:
                        group.loc[name, 'Cant quiebre']+=1

        if group.loc[name, 'Lead_time']==21:
            value = pd.DataFrame()
            value = fechas_mov[['Cantidad']].resample('3M').sum()

```

Figura 11.23: Código Python.

(Fuente: Elaboración propia.)

```
if group.loc[name, 'Lead_time'] == 21:
    value = pd.DataFrame()
    value = fechas_mov[[ 'Cantidad' ]].resample( '3W' ).sum()
    for i in range( len(value.index) ):
        group.loc[name, 'Veces totales'] += 1
        date = value.index[i]
        if (value.loc[date, 'Cantidad'] > group.loc[name, 'Forecast']):
            group.loc[name, 'Cant quiebre'] += 1
    group = group
resultados = group.copy()
```

Figura 11.24: Código Python.
(Fuente: Elaboración propia.)

```
df=resultados.copy()  
  
df.to_csv("V3.csv",sep=";",header=True,index=True,encoding='utf-8',decimal=',')
```

Figura 11.25: Código Python.
(Fuente: Elaboración propia.)