



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Gestión Industrial

**DISEÑO PARA EL AUMENTO DE PRODUCTIVIDAD APLICADO EN LOS PROCESOS DE
MANUFACTURA POR MEDIO DE MANUFACTURA ESBELTA PARA UNA FABRICA DE
ENVASES PET Y PE EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**

Ing. Milton Yordani Fuentes Castaño

Asesorado por el Ing. Msc. Aníbal Armando Alvarado Racancoj

Guatemala, octubre de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO PARA EL AUMENTO DE PRODUCTIVIDAD APLICADO EN LOS PROCESOS DE
MANUFACTURA POR MEDIO DE MANUFACTURA ESBELTA PARA UNA FABRICA DE
ENVASES PET Y PE EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ING. MILTON YORDANI FUENTES CASTAÑON

ASESORADO POR EL ING. MSC. ANÍBAL ARMANDO ALVARADO

RACANCOJ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN ARTES EN GESTIÓN INDUSTRIAL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a.i.)
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martinez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a.i.)
EXAMINADOR	Mtra. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Carlos Humberto Aroche Sandoval
EXAMINADOR	Mtra. Inga. Sindy Massiel Godínez Bautista
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO PARA EL AUMENTO DE PRODUCTIVIDAD APLICADO EN LOS PROCESOS DE MANUFACTURA POR MEDIO DE MANUFACTURA ESBELTA PARA UNA FABRICA DE ENVASES PET Y PE EN LA CIUDAD DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería de Estudios de Postgrados, con fecha 14 de enero de 2022.



Ing. Milton Yordani Fuentes Castañon

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.710.2023

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO PARA EL AUMENTO DE PRODUCTIVIDAD APLICADO EN LOS PROCESOS DE MANUFACTURA POR MEDIO DE MANUFACTURA ESBELTA PARA UNA FABRICA DE ENVASES PET Y PE EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por: **Ing. Milton Yordani Fuentes Castañon**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Gestión industrial después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. José Francisco Gómez Rivera



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANO a.i.
Facultad de Ingeniería
★

Decano a.i.

Guatemala, octubre de 2023

JFGR/gaoc



Guatemala, octubre de 2023

LNG.EEP.OI.710.2023

En mi calidad de Directora de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

“DISEÑO PARA EL AUMENTO DE PRODUCTIVIDAD APLICADO EN LOS PROCESOS DE MANUFACTURA POR MEDIO DE MANUFACTURA ESBELTA PARA UNA FABRICA DE ENVASES PET Y PE EN LA CIUDAD DE GUATEMALA”

presentado por **Ing. Milton Yordani Fuentes Castaño** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Gestión industrial**; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Mtra. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





Guatemala, 9 de noviembre de 2022

M.A. Ing. Edgar Dario Alvarez Coti
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Presente

Estimado M.A. Ing. Alvarez Coti

Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el **INFORME FINAL y ARTÍCULO CIENTÍFICO** titulado: **DISEÑO PARA EL AUMENTO DE PRODUCTIVIDAD APPLICADO EN LOS PROCESOS DE MANUFACTURA POR MEDIO DE MANUFACTURA ESBELTA PARA UNA FABRICA DE ENVASES PET Y PE EN LA CIUDAD DE GUATEMALA** del estudiante **Milton Yordani Fuentes Castañon** quien se identifica con número de carné **201404086** del programa de Maestría En Gestión Industrial.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el **Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014**. Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.



Msc. Ing. Carlos Humberto Aroche Sandoval
Coordinador
Maestría En Gestión Industrial
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala. 24 octubre de 2022

M.A. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director de Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Maestría en Gestión Industrial
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Álvarez:

Por este medio, hago de su conocimiento que en mi calidad de asesor, he revisado y aprobado el trabajo de graduación titulado **DISEÑO PARA EL AUMENTO DE PRODUCTIVIDAD APlicado EN LOS PROCESOS DE MANUFACTURA POR MEDIO DE MANUFACTURA ESBELTA PARA UNA FABRICA DE ENVASES PET Y PE EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**, elaborado por el ingeniero Milton Yordani Fuentes Castañon, quién se identifica con el número de carné 201404086.

La estudiante realizó las mejoras que a mi juicio eran necesarias y por ello extiendo este dictamen de aprobación para continuar el proceso.

Agradeciendo su atención y apoyo a la presente, quedó a la orden ante cualquier duda que pueda surgir.

Atentamente

M.A. Aníbal Armando Alvarado Racanco

Colegiado No. 8719

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por permitirme cumplir este objetivo académico y las bendiciones que me ha brindado en mi vida.

Mis padres

Rene Fuentes y Yolanda Castañon, por el apoyo y acompañamiento de la presente y muchas otras metas académicas cumplidas.

Mis hermanas

Yoselin y Maidelis Fuentes, por el apoyo incondicional que me han brindado.

Mis amigos

Dayana Guerra, Aníbal Gómez y Obed Aldana, por las palabras de aliento y elogio hacia mi persona.

AGRADECIMIENTOS A:

- Ing. Andrés García Cifuentes** Por permitirme realizar el presente trabajo de graduación bajo su mando, el apoyo y lecciones aprendidas que me inculcó.
- Ing. Aníbal Armando Alvarado Racancoj** Por su asesoramiento y seguimiento en el presente trabajo de graduación.
- Ing. Josué Daniel Chanchavac López** Por el apoyo y las lecciones aprendidas que colocare en práctica en mi ámbito laboral y profesional.
- Ing. Mario Alejandro González** Por la transmisión de sus conocimientos y consejos importantes para mi vida profesional y laboral.
- La Facultad de Ingeniería** De la gloriosa y tricentenaria Universidad de San Carlos de Guatemala, orgullosamente mi casa de estudios.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	XV
OBJETIVOS	XVII
RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1. Manufactura de productos plásticos	1
1.1.1. Soplado de envases polietileno de tereftalato	1
1.1.1.1. Materia prima PET	2
1.1.1.2. Flujo del proceso para soplado PET	4
1.1.1.3. Sopladoras PET	6
1.1.1.3.1. Máquinas sopladoras	6
1.1.1.4. Moldes de envases	8
1.1.2. Extrusión soplado	9
1.1.2.1. Materia prima	9
1.1.2.2. Flujo del proceso	10
1.1.2.3. Extrusoras sopladoras	12
1.1.2.3.1. Máquinas extrusoras sopladoras	12
1.1.2.3.2. Moldes de envases	13
1.1.3. Inyección	14

1.1.3.1.	Materia prima	15
1.1.3.2.	Flujo de proceso.....	15
1.1.3.3.	Inyectoras.....	17
	1.1.3.3.1. Máquinas inyectoras	18
	1.1.3.3.2. Moldes de inyección.....	18
1.2.	Manufactura esbelta.....	20
1.2.1.	Eventos Kaizen	20
1.2.1.1.	Las 5S para orden y limpieza	21
1.2.1.2.	Control visual.....	23
1.2.2.	Herramienta para mejorar tiempo de entrega y capacidad	24
1.2.2.1.	Manufactura celular	24
1.2.2.2.	Single minute Exchange of die	25
1.2.3.	Herramienta para mejorar la efectividad de los equipos.....	26
1.2.3.1.	Mantenimiento productivo total.....	27
1.2.3.2.	Efectividad total de los equipos	29
1.2.4.	Herramientas para control de materiales y de producción.....	30
1.2.4.1.	Kanban para control de materiales y producción.....	31
1.2.4.2.	Heijunka para la secuenciación de la producción.....	32
1.2.5.	<i>Value Stream Mapping</i>	32
2.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	35
3.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	37
3.1.	Diagnóstico del nivel de productividad	37

3.1.1.	Líneas de producción	37
3.1.2.	Familias de productos.....	39
3.1.3.	Cadencia de las familias de productos	46
3.1.4.	Productividades de las líneas	48
3.2.	Factores que perjudican y reducen la productividad	49
3.2.1.	Porcentaje de producto conforme.....	52
3.2.1.1.	Merma en área PET	53
3.2.1.2.	Merma en área soplado PE	55
3.2.1.3.	Merma en área de Inyectoras	57
3.2.2.	Tiempos de paros	59
3.2.2.1.	Paros en área sopladoras PET	60
3.2.2.2.	Paros en área sopladoras PE	69
3.2.2.3.	Paros en área inyectoras	78
3.2.3.	Nivel de velocidad en las líneas.....	85
3.2.3.1.	Eficacia en área sopladoras PE	86
3.2.3.2.	Eficacia en área inyectoras	89
3.3.	Indicadores productivos y financieros para medir el desempeño por líneas productivas.....	91
3.3.1.	Cálculo de la tarifa de producción.....	91
3.3.2.	Utilidades aproximadas	92
3.4.	Diseño para la aplicación de manufactura esbelta	93
3.4.1.	Elaboración de VSM (Value Stream Mapping)	94
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	99
4.1.	Análisis interno	99
4.2.	Análisis externo	102
	CONCLUSIONES	105
	RECOMENDACIONES.....	107

REFERENCIAS.....	109
APÉNDICES.....	111
ANEXOS.....	119

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1.	Preforma cristal de 33 ml	3
Figura 2.	Representación de etapas en el soplado de envases	6
Figura 3.	Interior de soplado PET SBO 20.....	7
Figura 4.	Interior de moldes para soplado PET	8
Figura 5.	Formación de parison en extrusión soplado	11
Figura 6.	Molde para proceso de extrusión soplado	14
Figura 7.	Sistema de transferencia de calor y fundición de material.....	16
Figura 8.	Mecanismo para inyección de material a cavidades de molde	16
Figura 9.	Apertura de molde para extracción de producto terminado	17
Figura 10.	Partes internas generales de un molde	19
Figura 11.	Simbología representativa a proyecto Kaizen.....	33
Figura 12.	Simbología utilizada en la elaboración del VSM	34
Figura 13.	Lay out actual de planta.....	38
Figura 14.	Preforma cristal de 22 gramos.....	40
Figura 15.	Molde de 3 cavidad para presentación 1 litro	40
Figura 16.	Mapa mental de familias de productos	41
Figura 17.	Diagrama de flujo del proceso de soplado PET	43
Figura 18.	Diagrama de flujo del proceso de extrusión soplado	44
Figura 19.	Diagrama de flujo del proceso de inyección	45
Figura 20.	Envase galón redondo de 3.78 litros	46
Figura 21.	Mapa mental de cadencia por familia de productos.....	47
Figura 22.	Mapa mental de productividad por máquina	48
Figura 23.	Producto conforme en las áreas de producción en el año 2021 ..	53

Figura 24.	Merma generado en sopladoras PET a ser analizada su causa ..	54
Figura 25.	Merma generado en el año 2021 (soplado PET).....	55
Figura 26.	Gráfica Pareto para análisis de merma en sopladoras PE	56
Figura 27.	Merma generado en el año 2021 (soplado PE)	57
Figura 28.	Gráfica Pareto para análisis de merma en inyectadoras	58
Figura 29.	Tiempos de paros en las áreas de producción en planta	60
Figura 30.	Línea de producción SBO_6	62
Figura 31.	Tiempo de Paro en el año 2021 (soplado PET)	63
Figura 32.	Gráfica Pareto de paros en áreas sopladoras PET	64
Figura 33.	Diagrama causa y efecto analizando los ajustes de máquinas	65
Figura 34.	Diagrama causa y efecto analizando el cambio de formato	66
Figura 35.	Diagrama causa y efecto analizando la falla en sincronización....	68
Figura 36.	Área de sopladoras PE.....	69
Figura 37.	Gráfica Pareto de tiempo de paro en sopladoras PE	71
Figura 38.	Diagrama causa y efecto analizando el cambio de formato	72
Figura 39.	Diagrama causa y efecto analizando el ajuste de máquina.....	74
Figura 40.	Diagrama causa y efecto analizando la cuchilla de corte	75
Figura 41.	Diagrama causa y efecto analizando fallo operativo	76
Figura 42.	Diagrama causa y efecto analizando el pin de soplado.....	77
Figura 43.	Área de inyectoras.....	78
Figura 44.	Gráfica Pareto de tiempos de paro en inyección	79
Figura 45.	Diagrama causa y efecto analizando la falla hidráulica	80
Figura 46.	Diagrama causa y efecto analizando fuga de aceite	81
Figura 47.	Diagrama causa y efecto analizando cambio de formato	82
Figura 48.	Diagrama causa y efecto analizando placa expulsora.....	83
Figura 49.	Diagrama causa y efecto analizando fallo electrónico	84
Figura 50.	Niveles de eficacia en las líneas de producción	86
Figura 51.	Eficacia según clase de envase y línea de producción	87
Figura 52.	Bajo nivel de eficacia en sopladora PE	88

Figura 53.	Eficacia de producto inyectado y línea de producción	89
Figura 54.	Bajo nivel de eficacia en inyectoras	90
Figura 55.	Matriz para cálculo de tarifa según líneas de producción	92
Figura 56.	VSM actual en cadena de valor soplado PE.....	94
Figura 57.	VSM futuro en cadena de valor soplado PE	96
Figura 58.	VSM actual en cadena de valor inyección	97
Figura 59.	VSM futuro en cadena de valor inyección.....	98

TABLAS

Tabla 1.	Cuadro de variables e indicadores	XX
Tabla 2.	Listado de pilares del mantenimiento con sus causas.....	29
Tabla 3.	Nivel de OEE general en la planta para el año 2021	50
Tabla 4.	Resultados generales en OEE para planta zona 11	51
Tabla 5.	Desglose de resultados en disponibilidad, velocidad y calidad....	52
Tabla 6.	Matriz con utilidades aproximadas según áreas de producción...	93

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
C	Calidad
\$	Dólar
Hr	Horas
JIT	<i>Just In Time</i>
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
PE	Polietileno
SMED	<i>Single Minute Exchange</i>
PET	Tereftalato de polietileno
T	Tiempo
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i>
Und	Unidades
VSM	<i>Value Stream Mapping</i>
V	Velocidad

X

GLOSARIO

Aluminio HR	Aleación de aluminio con Hierro.
Cadencia	Número de casos o de apariciones que se repiten por unidad de tiempo, este término es utilizada en el ámbito productivo.
Cavidades	Espacio hueco en el interior de un cuerpo o en una superficie.
Eficacia	Capacidad para producir el efecto deseado o de ir bien para determinada cosa.
Master batch	Es una mezcla concentrada de pigmentos o aditivos dispersados dentro de una resina portadora que se presenta en forma de granza.
Molde	Recipiente o pieza hueca donde se echa una masa blanda o líquida que, al solidificarse, toma la forma del recipiente.
Parison	Tubo de plástico que es extruido y obligado a pasar por un molde a tomar forma, por medio de aire a presión.

Productividad	Relación entre la cantidad de productos obtenida por un sistema productivo y los recursos utilizados para obtener dicha producción.
Tiempo takt	Tiempo medio entre el inicio de la producción de una unidad y el inicio de la producción de la siguiente, cuando dichos inicios son establecidos para coincidir con la tasa de la demanda del cliente.
Tiempos de ciclo	Tiempo en el que un proceso se ejecuta entendiendo este tiempo como el que se produce aporte de valor, es decir, que se produce transformación de la materia prima en producto acabado.

RESUMEN

El propósito de la investigación fue realizar un análisis para determinar las metodologías de manufactura esbelta necesarias para ser aplicadas en la cadena de valor de una empresa. Tuvo como objetivo diseñar una propuesta para la implementación de la metodología de manufactura esbelta, enfocado en el aumento de productividad en los procesos productivos del área de fabricación de envases PET y productos de polietileno, dentro de una empresa dedicada a la manufactura de envases.

La metodología de la investigación utilizada fue mixta, cualitativo-cuantitativo, el diseño no experimental, tipo y alcance descriptivo. Para la recolección de datos se utilizaron registros de paros, cantidad de producción por línea, merma, reproceso en línea y tiempos de paro por mantenimiento preventivo, correctivo, programados y no programados. Para su análisis se empleó la estadística descriptiva.

El estudio reveló la eficiencia general de la planta, el cual se encuentra en 85.45 %, dentro del periodo 2021. Realizando un desglose más detallado se observa que el área menos eficiente son las inyectoras, con un resultado de 72.43 %. Con el anterior análisis se puede estudiar las causas de las causas por el resultado.

La investigación propone una metodología de manufactura esbelta a ser aplicada, para aumentar el resultado de la eficiencia en las líneas de producción y con ello, generar mayor rentabilidad a la empresa basado en la eliminación de los desperdicios en la cadena de valor.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los paros no programados generan, que en las líneas de producción para fabricación PET y polipropileno, exista una baja productividad y con ello no dé lugar a cumplir con la demanda de los clientes potenciales.

- Descripción del problema

La capacidad instalada de la planta es muy amplia (más de trece millones de envases al mes) y esta capacidad está conformado por las líneas de producción PET y polietileno. Se cuenta con dos líneas de producción PET y 4 líneas de polietileno. La planta trabaja con cambios de modelos o moldes para las distintas presentaciones de envases que demandan los clientes.

Se presenta el inconveniente que las líneas son interrumpidas por paros no programados y paros programados, estos paros representan, en conjunto, un tiempo muy prolongado (más de tres horas de paro diario). La empresa cuenta con un proyecto comercial, ya en marcha, de adquirir nuevos clientes y adquirir un catálogo mayor de productos. Esto nos indica que los cambios de modelos (paros programados) se presentaran con mucha más frecuencia.

La empresa dirige su enfoque hacia el cliente, y así mismo, cumple con sus expectativas y necesidades. Esto da a entender que las líneas de producción deben contar con una versatilidad mayor que la actual para producir los distintos productos que demandan el conjunto de clientes.

Así mismo, en el ámbito financiero, los paros con tiempo muy prolongados ocasionan que el costo unitario del producto se eleve y provoque que la operación sea menos rentable y la empresa sea poco competitivo en el mercado de manufactura PET y polipropileno.

- Pregunta central

¿Cómo aumentar la productividad en los procesos de fabricación dentro del área de producción aplicando la manufactura esbelta para una empresa dedicada a la fabricación de envases PET y productos de polietileno?

- Preguntas de investigación

- ¿Cuál es el nivel de productividad de las líneas de producción al inicio de la investigación?
- ¿Cuáles son los factores que genera baja productividad en las líneas de producción de envases PET y polietileno?
- Al aplicar la manufactura esbelta ¿se aumentará la productividad y con ello la capacidad instalada de las líneas?
- ¿Qué indicadores productivos y financieros pueden ser aplicados para medir el desempeño en la operación?

OBJETIVOS

General

Diseñar propuesta para implementación de la metodología manufactura esbelta, enfocado en el aumento de productividad en los procesos productivos del área de fabricación de envases PET y productos de polietileno, dentro de una empresa dedicada a la manufactura de envases.

Específicos

1. Realizar un diagnóstico del nivel de productividad en las líneas de producción.
2. Determinar los factores que perjudican y reducen la productividad en las líneas de producción de envases PET y polietileno.
3. Diseñar la aplicación de manufactura esbelta en las líneas productivas y controles estadísticos para seguimiento del cumplimiento en función de productividad y capacidad instalada de las líneas.
4. Desarrollar indicadores productivos y financieros para medir el desempeño por líneas productivas.

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

La metodología de investigación utiliza cuenta con un enfoque mixto, tiene un alcance correlacional y diseño no experimental con una ocurrencia prospectiva y retrospectiva. La recolección de los datos es de tipo longitudinal.

El enfoque es mixto, es decir que se compone tanto de análisis cuantitativo como cualitativo. En el enfoque cuantitativo se utilizan datos históricos de niveles de producción por medio de relación de variables en base de datos y simuladores en variación de productividad. En el ámbito cualitativo se analizan la satisfacción de los operadores con las tareas productivas asignadas, conocer sus sugerencias para aumentar la productividad en la línea, así como también la seguridad en la operación, mejoramiento en el aspecto visual de la línea y el analizar tareas para que sean distribuidas entre operadores y supervisores para obtener un mayor rendimiento en las tareas.

Se ha trabajado bajo un diseño no experimental en donde se ha realizado un estudio del proceso para luego realizar propuestas de aumento de productividad en las líneas de producción, un mayor grado de flexibilidad en el cambio de modelos y propuestas para mejoramiento del rendimiento de máquinas.

El alcance de la investigación es correlacional debido a que se busca unir dos o más variables que pueden afectar en el nivel de productividad en la línea. Estas variables pueden estar definidas por el nivel de desperdicio, reproceso, nivel de producción, tiempo de paro y supervisor a cargo de la línea de producción.

Tabla 1.*Cuadro de variables e indicadores*

Objetivo	Variables	Indicador
Realizar un diagnóstico del nivel de productividad en las líneas de producción.	Diagnóstico del nivel de productividad en las líneas de producción.	5. Productividad de la línea. 6. Cadencia.
Determinar los factores que perjudican y reducen la productividad en las líneas de producción de envases PET y polietileno.	Determinación de los factores que perjudican y reducen la productividad en las líneas de producción de envases PET y polietileno.	7. Porcentaje de merma. 8. Tiempo productivo.
Diseñar la aplicación de manufactura esbelta en las líneas productivas y controles estadísticos para seguimiento del cumplimiento en función de productividad y capacidad instalada de las líneas.	Diseño para la aplicación de Lean Manufacturing en las líneas productivas y controles estadísticos para seguimiento del cumplimiento en función de productividad y capacidad instalada de las líneas.	9. Tiempo de paro. 10. Capacidad instalada.
Desarrollar indicadores productivos y financieros para medir el desempeño por líneas productivas.	Desarrollo de indicadores productivos y financieros para medir el desempeño por líneas productivas.	11. Utilidades. 12. Costo unitario de producto. 13. Porcentaje de disponibilidad de máquina.

Nota. Matriz con variables e indicadores para realizar el estudio. Elaboración propia, realizado en Excel.

Se tiene que la investigación consta de una población de 33 colaboradores en toda la planta y se estableció que se trabajó con 30 colaboradores como muestra.

INTRODUCCIÓN

El trabajo de investigación es una sistematización de procesos y mejora en la productividad, que consiste en el diseño de una propuesta para implementar la metodología de manufactura esbelta para una empresa de fabricación de envases rígidos y productos inyectados, siendo esta una decisión estratégica para mejorar el desempeño y rentabilidad de la organización.

El problema investigado determinó que la empresa de fabricación de envases rígidos y productos inyectados cuenta con una oportunidad en aumentar la productividad en sus líneas de producción. Esto debido a que en el año 2020 se presentaron casos donde la capacidad de producción no era lo suficientemente alta para cumplir con la totalidad de demanda de los clientes en su momento. Para el año 2021 se cuenta con el proyecto de adquirir nuevos clientes, y con ello aumentar la diversidad de productos ofertados en el mercado. Esto crea la necesidad de aumentar la productividad de la planta y reducción o eliminación de problemas que puedan afectar a este objetivo.

Importancia de la solución es que la empresa pueda entrar y acaparar más del mercado de productos de envases rígidos y productos inyectados. La implementación de manufactura esbelta también aporta a la rentabilidad de la empresa en el mercado tan desafiante en el que se encuentra, esto ayuda a la eliminación de desperdicios en la cadena de valor de la empresa.

La metodología de la investigación se basa en un enfoque mixto, es decir, cualitativo y cuantitativo. El diseño investigativo es no experimental porque no se hacen ensayos, se observó cada proceso esencial de la empresa para determinar

su funcionalidad. Se obtuvieron datos de manera directa para evitar la manipulación de variables con ayuda a programas de cómputo. El estudio es de tipo descriptivo, los datos obtenidos se recopilan para su estudio en un solo punto en el tiempo y para examinar la relación entre las variables de interés, las evidencias obtenidas reflejan la realidad de la empresa. El alcance del estudio es descriptivo, porque es una propuesta.

Para arribar a la solución del problema se siguió el proceso de acciones siguientes: diagnóstico de la situación actual con relación al ritmo de producción y cálculo de productividad en cada línea de producción basado en el tipo de producto. Realizar un estudio basado con información relevante al OEE con la finalidad de determinar los factores que perjudican la productividad de las líneas. Basado a la información recopilada, realizar análisis de causa y efecto (diagramas de Pareto e Ishikawa) para determinar la oportunidad de mejora y establecer la metodología de manufactura esbelta que mejor se adapte. Con los datos ya recopilados se elaboran indicadores de productividad y financieros para observar las variaciones generadas por la aplicación de las metodologías. Se elaboró un diagrama VSM de las cadenas de valor por cada área de producción.

Con la implementación de las metodologías de manufactura esbelta, se esperan estas mejoras: aumento de productividad en las líneas de producción, reducción de tiempos de paros no programados, aumento de velocidad de las líneas y reducción de la cantidad de merma y producto no conforme. Contribuye al orden y limpieza de las áreas y fomenta la disciplina del personal operativo de las líneas. Estos factores antes mencionados contribuyen a la competitividad y aumentar la rentabilidad de la empresa.

La investigación está conformada por cuatro capítulos, los cuales se detallan a continuación:

Capítulo uno, el marco teórico hace referencia a la investigación documental de los equipos, materia prima y procesos con relación a cada área de producción que cuenta la empresa. Se adiciona la investigación de la aplicación de las herramientas de manufactura esbelta, cada uno de sus metodologías y los beneficios que se pueden obtener en su implementación.

En el capítulo dos, se presenta el desarrollo de la investigación paso a paso. Para realizar el diagnóstico, enfatizando factores críticos y resultados, se utilizaron como herramientas para obtener información: observación in situ, grupos focales, lluvia de ideas, estudio de tiempo y análisis de costos.

En el capítulo tres, se realiza la presentación de resultados del análisis de la situación actual de la empresa con respecto a la productividad de las líneas de producción, el nivel de OEE general de la planta, por áreas y por líneas de producción. El análisis del OEE se encuentra desglosado por cada uno de sus elementos: disponibilidad (%T), eficacia (%V) y calidad (%C), esto ayuda de gran manera para determinar las oportunidades.

Se desarrolló un análisis basado en las causas que afectaron el nivel de OEE en cada línea de producción (tiempos de paro, velocidad de las líneas y cantidad de merma) utilizando herramientas de calidad como gráficos de Pareto e Ishikawa. Por último, se presenta la situación actual de la cadena de valor en la planta de producción según las áreas estudiadas y la situación futura al momento en que se implementen las metodologías de manufactura esbelta según sea necesario.

En el capítulo cuatro se presenta la discusión de resultados realizando un análisis interno para confirmar la fortaleza y debilidades que presentó la investigación; análisis externo, para comparar con los antecedentes.

1. MARCO TEÓRICO

El contenido del presente capítulo consiste en dos apartados: 1.1 con referencia a la manufactura de producto plásticos, donde se conocerán los distintos procesos, materias primas y equipos necesarios para el procesamiento de productos plásticos; en el apartado 1.2, se hará mención y una breve explicación de las herramientas de manufactura esbelta que puede ser utilizados en práctica para las distintas industrias, tales como: Kaizen, JIT, TPM, Heijunka y Kanban.

El marco teórico proporcionará una base para el desarrollo del trabajo de graduación y brindar el enfoque necesario para centralizar las ideas y propuestas de mejora para el proceso.

1.1. Manufactura de productos plásticos

En los siguientes apartados del subcapítulo 1.1, se abordarán temas teóricos con relación al funcionamiento de las líneas de producción y el tipo de material prima utilizado. Las áreas de producción a mencionar son: soplado PET, soplado PE e inyección.

1.1.1. Soplado de envases polietileno de tereftalato

De acuerdo con Suasnávás (2017), el material polietileno de tereftalato (en sus iniciales, PET) es una combinación de materiales ácido tereftálico y etilenglicol, que unidos por medio de un proceso químico de cristalización forman este tipo de polímero plástico.

Dicho material es muy utilizado en la industria alimenticia más común, en la industria de envasado de bebidas carbonatadas y no carbonatadas. Este material es preferido del mercado de envases debido a su bajo costo, liviano peso, alta resistencia a presión interna e impacto y baja permeabilidad a los gases.

Esto indica que un envase PET, se puede envasar producto alimenticio, con una alta calidad, a un costo muy bajo en comparación de otros materiales para envasado de vidrio, plásticos sintéticos, entre otros.

1.1.1.1. Materia prima PET

De acuerdo con Suasnavas (2017), la materia prima para utilizar en el proceso de soplado PET se denomina preforma. Esta preforma es un producto inyectado, del cual fue fabricando por medio de una inyectora y un molde con la forma final de la preforma. En este proceso es donde se forma el cuerpo de la preforma con su respectiva rosca.

Figura 1.

Preforma cristal de 33 ml



Nota. Envase PET y preforma. Obtenido de A. Rodríguez (2009). *Utilización de preformas de PET luego de sufrir un calentamiento accidental en la máquina de soplado.* (p. 12.) Universidad Simón Bolívar.

El PET se compone por medio de dos grupos reactivos: etilenglicol (EG) y el tereftálico (TPA). Esta unión, por enlaces covalentes, forma los polímeros que se denominan monómeros. Esto es el resultado de la reacción entre dos petroquímicos secundarios elementos que derivan del petróleo. (Suasnavas, 2017)

En base a su composición química, el PET posee la peculiaridad que es resistente a ataques químicos. Su resistencia radica en la presencia de hidrocarburos, alcoholes, grasas y aceites, entre otros químicos. Esto lo hace ideal para envasar muchos materiales, como productos químicos y para consumo humano. De todo esto posee una restricción y esta consiste en que los materiales

PET, en general, alcanzan a resistir hasta 71°C. Esta estabilidad térmica no lo hace idóneo para contener material a muy alta temperatura. (Suasnavas, 2017)

Otra cualidad que posee PET consiste en su densidad. Este material posee una densidad muy baja, lo que hace que su peso o masa sea bajo y esto ayuda a la productividad en el procesamiento y en costos de fabricación (Suasnavas, 2017).

1.1.1.2. Flujo del proceso para soplado PET

El flujo de proceso para el soplado de envases PET consta de las siguientes etapas: carga de las preformas, calentamiento de preformas, transferencia del horno a moldes de soplado y descarga de botellas.

Tal como Rodríguez (2009) indica, se describe de manera más extensa cada etapa en el flujo del proceso:

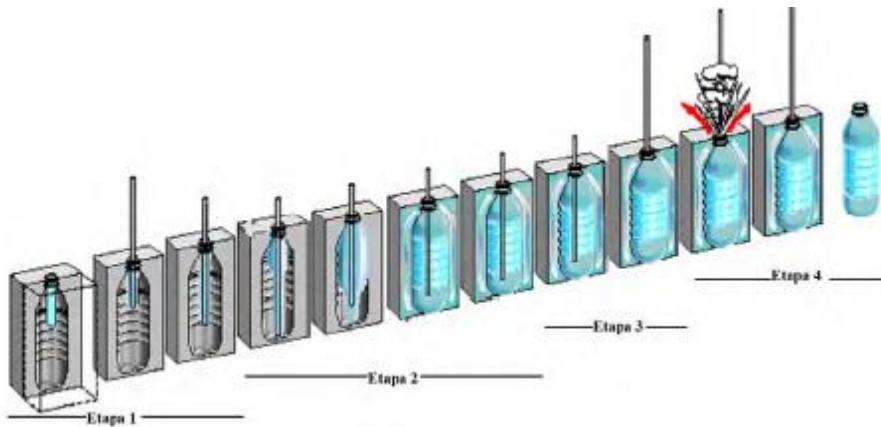
- Paso uno: carga de las preformas. Se realiza una recepción de preformas. Este material tiene un diseño cilíndrico, el cual cuenta con un cuello (funcional para el transporte de preformas en la línea) y la rosca para sellar el envase. Se ingresa el material al transportador e ingresa a un tobogán, el cual es el encargado de ordenar las preformas para luego ingresarlas a las túnelas.
- Paso dos: calentamiento de preformas. Posterior a que las preformas bajan por el tobogán, estas son transferidas a la rueda de carga (parte de la máquina encargada de centrar la preforma a las túnelas) de la sopladora, y por último ingresan a las túnelas. Las túnelas sujetan y giran las preformas en todo el recorrido del horno (este proceso es importante

ya que de este depende la estabilidad, estiramiento y transparencia). El horno está conformado por lámparas distribuidas horizontalmente, de las cuales transfieren calor a una temperatura aproximada de 90 °C.

- Paso tres: transferencia del horno a moldes de soplado. Posterior a que las preformas se les hayan transferido calor, son trasladadas por medio de pinzas hacia los moldes de soplado. Los movimientos de las piezas deben de ser sincronizados para un correcto traslado de preforma. Las etapas de soplado de envase son las siguientes:
 - Etapa uno: al momento en que la preforma ingresa al molde, la estación gira y acciona una varilla de estirado que aumenta la altura del material dentro del molde.
 - Etapa dos: pre-soplado, el cual consiste en inyectar aire comprimido a una presión de 10 Bares. La finalidad de esta etapa es de brindar una orientación radial.
 - Etapa tres: soplado a alta presión. Se inyecta aire comprimido a una presión de 40 Bares (aproximadamente) y esto genera que el material se expanda y permita copiar el diseño del molde. En este proceso también se aplica enfriamiento al material por medio del contacto de las paredes frías del molde.
 - Etapa cuatro: expulsión de aire de alta presión.

Figura 2.

Representación de etapas en el soplado de envases



Nota. Esquema de etapas para el soplado de envases PET. Obtenido de A. Rodríguez (2009).

Utilización de preformas de PET luego de sufrir un calentamiento accidental en la máquina de soplado. (p. 11.) Universidad Simón Bolívar.

1.1.1.3. Sopladoras PET

De acuerdo con la empresa francesa Sidel (2012), sus sopladoras PET son las más veloces en el mercado y cuentan con una optimización de productividad en cuanto a su cantidad de producción y bajos costos. Estas sopladoras son automatizadas, lo cual indica que la intervención humana es muy reducida en el proceso. La intervención humana se ve relacionada en la alimentación de materia prima y los ajustes correspondientes según la presentación a fabricar en la línea.

1.1.1.3.1. Máquinas sopladoras

Según la empresa francesa Sidel (2012), las máquinas sopladoras PET (del tipo rotativas) cuentan con diversos sistemas en los cuales se pueden hacer

mención en sistema de transferencia de preforma (paletas y pinzas), horno, oruga de túnelas, estaciones para porta moldes, varillas de estirado, sistema de enfriamiento y neumático.

En el proceso es necesario contar con moldes para estirado y soplado de envases PET. Estos moldes están compuestos de dos caras (posee las formas laterales del envase) y un fondo (contiene la forma del fondo del envase). Dentro del molde es depositada la preforma, el cual sufre un estiramiento por medio de una varilla hasta llegar cerca de fondo del molde.

Figura 3.

Interior de soplado PET SBO 20



Nota. Interior de máquina sopladora PET. Obtenido de Used German Machine. (2021). MAQUINA SOPLADORA DE PET Sidel SBO 20, USADA (<https://used-german-machines.de/es/machine/maquina-sopladora-de-pet-sidel-sbo-20-usada/>), consultado el 1 de octubre de 2022. De dominio público.

Cuando se encuentra estirada la preforma, se inyecta aire comprimido. Esta inyección de aire comprimido se divide en dos tipos: pre-soplado y soplado. La inyección de aire de pre-soplado maneja una presión de 6 a 12 bares, el cual

tiene como finalidad el expandir la preforma hasta las paredes del molde. La inyección de aire de soplado maneja una presión de 40 bares, el cual tienen como finalidad de expandir aún más el material plástico para obtener con una mayor definición los grabados que se encuentran en el molde.

1.1.1.4. **Moldes de envases**

Como expresa la empresa francesa *Sidel* (2012), los moldes utilizando en soplado de envases PET son fabricados con materiales de aluminio HR. Este tipo de aluminio cuenta con la ventaja que es más liviano, garantiza una velocidad de producción elevada (debido a mayor transmisión de temperatura con el agua de enfriamiento) y previene el desgaste mecánico de la máquina.

Figura 4.

Interior de moldes para soplado PET



Nota. Interior de molde de soplado. Obtenido de Direct Industry. (2021). *Molde de soplado multicavidad* (<https://www.directindustry.es/prod/pet-technologies/product-234356-2384085.html>) Consultado el 1 de octubre de 2022. De dominio público.

1.1.2. Extrusión soplado

Respecto al tema extrusión soplado, Pico (2013) señala que el proceso de polímeros se encuentra comprendido por el cambio del estado de la materia prima (poliméricos) a partir de una forma granulada para obtener un producto terminado.

En este tipo de manufactura de polímeros, se tiene la diferencia en que se es necesario un flujo de material, moldes de diseños diversos y tiempos de ciclo más prolongados a comparación con el soplado PET.

De igual manera, la autora menciona que los productos cuentan con características favorables para la manufactura de productos con formas intrincadas, bajos costos de producción, bajo peso, seguridad en el envasado o contener materiales en su interior y son de fácil reciclaje.

1.1.2.1. Materia prima

Como indica Pico (2013), las materias primas que se utiliza para el proceso son resinas y *master batch* (pigmento). Estos polímeros deben de contar con características favorables para el proceso de extrusión soplado, debido a que por variantes químicas y físicas pueden afectar la operación.

Las resinas idóneas para el proceso son las que deben de contar con una viscosidad alta en estado fundido y así mismo contar con una resistencia ante la deformación requerido para el proceso de formación de parison. Este parison debe de contar con una deformación mínima para no afectar el grosor de su material y que no exista riesgos en mala calidad por baja resistencias del producto terminado ante impactos y presión.

Las resinas también deben de contar con una extensibilidad a tal grado que sea posible contar con una máxima relación de soplado, en esquinas y diversos ángulos.

1.1.2.2. Flujo del proceso

Menciona Pico (2013) que el flujo de proceso para extrusión soplado consta de las siguientes etapas: formación de parison, sellado y soplado del parison, y enfriamiento y solidificación del fundido formado.

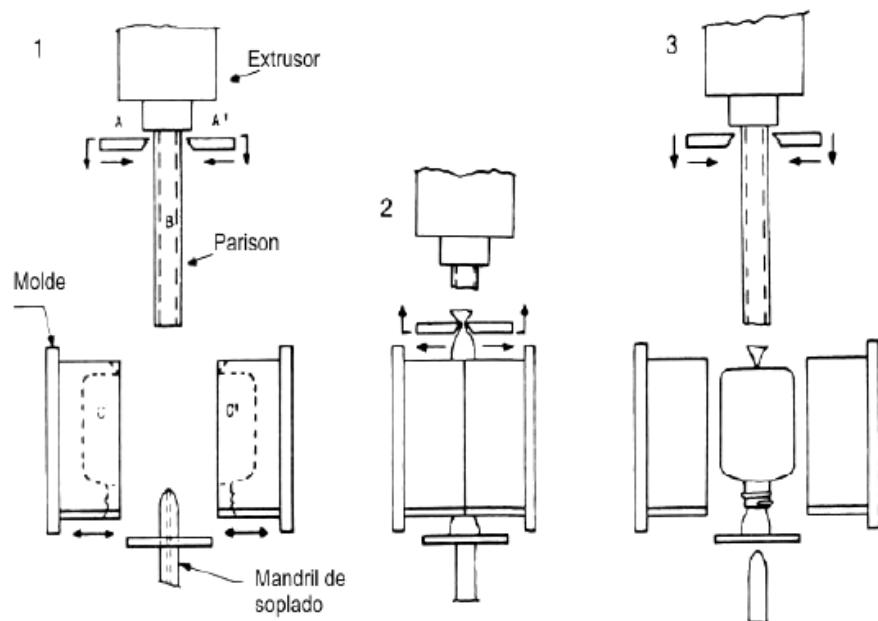
Tal como Pico (2013) indica, se describe de manera más extensa cada etapa en el flujo del proceso.

- Paso uno: formación de parison. En esta etapa se espera formar una película de material el cual tendrá una forma de manga, denominada parison (una formación tubular). Este parison cuenta con los espesores del envase, el cual depende de la boquilla y mandril que cuente la máquina de extrusión. En esta etapa se permite la variación del espesor en las paredes del envase, de acuerdo con el peso y las características de este. (Figura 5).
- Paso dos: sellado y soplado de parison. En este proceso es donde se forma el envase por medio de una inyección de aire dentro del molde. En este paso consiste las siguientes etapas:
 - Se cierra el molde (el cual consiste en dos mitades de molde) alrededor del parison ya formado. Se genera una presión de cierre (ya sea hidráulica o eléctrica) para evitar deformación del envase.

- Se introduce el pin de soplado al molde y se inyecta aire comprimido a una presión de soplado establecida.
- Por medio del aire comprimido, el parison se infla. Esto genera que el material se encuentre en contacto directo con las paredes e inicie el proceso de formación y enfriamiento del envase.

Figura 5.

Formación de parison en extrusión soplado



Nota. Esquema de proceso de formación de parison. Obtenido de J. Salazar (2010). *Diseño de un molde de extrusión-soplado para botellas de polietileno de baja densidad.* (p. 5.) Instituto Politécnico Nacional.

- Paso tres: enfriamiento y solidificación del fundido formado. Este paso representa el 80 % del tiempo total del ciclo, lo cual da como resultado una

afectación en la productividad debido al tiempo de enfriamiento del molde. Este paso también ayuda a las propiedades finales del envase, como se puede mencionar: cristalinidad, densidad, encogimiento, esfuerzos residuales, propiedades mecánicas y permeabilidad.

1.1.2.3. Extrusoras sopladoras

Según cita Salazar (2010), las máquinas extrusoras sopladoras son equipos destinados para el procesamiento de polímeros, en donde se realizan las etapas de calefacción del material, transporte de material fundido a cabezal de máquina, formación de parison, soplado de envases PE y enfriamiento de materia.

1.1.2.3.1. Máquinas extrusoras sopladoras

Como nos indica Salazar (2010), las máquinas extrusoras cuentan con resistencias en el cañón para calentar la materia prima, un tornillo sin fin el cual tiene como funcionalidad el empujar el material fundido, el cabezal el cual calienta aún más el material para fluir a través de la hembra y macho.

El proceso de una extrusora inicia con la carga de material, el cual es el mezclado de resina virgen, *master batch* (pigmento) y envases molidos de otras producciones. Todos estos materiales son aspirados hasta la tolva del cañón, en este proceso es fundido el material a una temperatura mayor de 200°C. El material se encuentra en constante movimiento debido al tornillo sin fin que se encuentra dentro del cañón y al mismo tiempo se es aplicado calor para fundir el material. Dicho material pasa por medio del cabezal y finalmente sale por medio del macho y hembra de la máquina el cual forma el parison (Pico, 2013).

Como expresa Salazar (2010), para realizar el proceso extrusión soplado se es necesario contar con los siguientes insumos y materias primas:

- Insumos
 - Energía eléctrica
 - Aire comprimido
 - Agua a baja temperatura (menor a 10°C)
- Materia prima
 - Resina virgen
 - *Master batch* (pigmento)
 - Envases molidos de otras producciones

1.1.2.3.2. Moldes de envases

De acuerdo con Salazar (2010), los moldes para las extrusoras de soplado pueden contar con diseños diversos, según las necesidades y requerimiento del cliente. Por la naturaleza de la materia prima, se es posible que el producto terminado cuente con diversos diseños.

Estos moldes son fabricados en base a acero 1045 (acero al carbono) con algunas aleaciones de aluminio para mejorar la transferencia de calor dentro de los conductos. Es importante considerar tanto el sistema de enfriamiento como el diseño de la cuchilla en boquilla y fondo para cortar las coladas sobrantes del proceso (material en exceso) (Salazar, 2010).

Figura 6.

Molde para proceso de extrusión soplado



Nota. Interior de molde para soplado de envases. Obtenido de Setecproh. (2020). *Molde para soplado de plástico* (<http://setecproh.com/moldes-para-la-industria-del-plastico/>) Consultado el 1 de octubre de 2022. De dominio público.

1.1.3. Inyección

De acuerdo con Prada (2016), el proceso de inyección es mayormente utilizado en piezas que son necesarias altas propiedades mecánicas y estabilidad dimensional. Para este proceso se es necesario ya máquina inyectora, molde con cavidades y materia prima.

El proceso de inyección es muy similar al de extrusión soplado, con la diferencia en que este no utiliza aire comprimido para realizar soplado. En este proceso consiste en fundir el polímero y hacerlo fluir a través del cañón a una

presión alta, para posterior, inyectar la materia prima fundida dentro de las cavidades del molde.

1.1.3.1. Materia prima

De acuerdo con Ponce (2007), la materia prima utilizada para el proceso de inyección es del tipo termoplásticos. Esta materia prima cuenta con la característica que, debido a su estructura molecular lineal, esta no sufre modificaciones químicas durante el moldeo en caliente.

La solidificación de la resina termoplástica es de manera rápida cuando se encuentra en contacto con el aire o en contacto con las paredes del molde. Este ciclo fusión-solidificación puede repetirse; sin embargo, se puede presentar el caso de la degradación del material.

1.1.3.2. Flujo de proceso

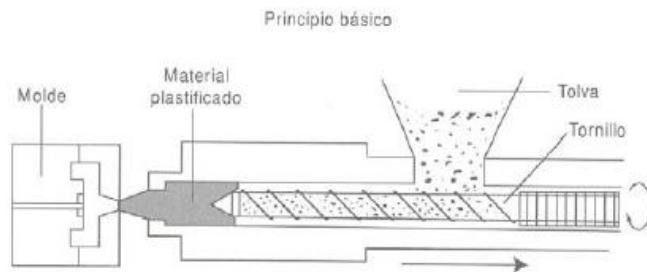
El flujo de proceso para inyección consta de las siguientes etapas: elevar temperatura del plástico, solidificación de material y extracción de pieza (Ponce, 2007).

Tal como Ponce (2007) indica, se describe de manera más extensa cada etapa en el flujo del proceso.

- Paso uno: elevar temperatura del plástico. Se transmite el calor de las resistencias del cañón hacia la materia prima. Se realiza con la finalidad de obtener un material fluido con una viscosidad y temperatura uniforme. En el proceso de elevación de temperatura, es accionado el tornillo sinfín que crea una presión en el material, mezcla y plastifica el material.

Figura 7.

Sistema de transferencia de calor y fundición de material

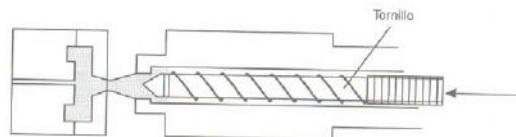


Nota. Tornillo extrusor de inyectora. Obtenido de F. Ponce (2007). *Reconstrucción y semi-automatización de la máquina de inyección de plástico de laboratorios de ingeniería mecánica.* (p. 8.) Universidad de las Américas Puebla.

- Paso dos: solidificación de material. Esto se realiza con el molde cerrado, donde el material (ya fundido) se transfiere o se inyecta y es transportada a través de una boquilla a las cavidades del molde.

Figura 8.

Mecanismo para inyección de material a cavidades de molde

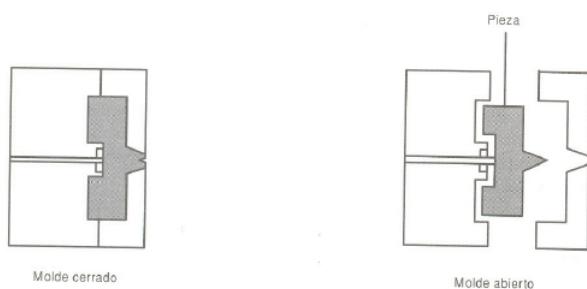


Nota. Tornillo extrusor. Obtenido de F. Ponce (2007). *Reconstrucción y semi-automatización de la máquina de inyección de plástico de laboratorios de ingeniería mecánica.* (p. 8.) Universidad de las Américas Puebla.

- Paso tres: extracción de pieza. Esto se realiza luego de que el material haya sido inyectado y se haya formado la figura del producto final. En este proceso se genera una transferencia de calor del material hacia el agua de enfriamiento. Cuando ya se encuentra solidificado el material, el molde se abre y aplica un movimiento en la placa expulsora para extraer el producto terminado.

Figura 9.

Apertura de molde para extracción de producto terminado



Nota. Movimiento de molde con placa. Obtenido de F. Ponce (2007). *Reconstrucción y semi-automatización de la máquina de inyección de plástico de laboratorios de ingeniería mecánica.* (p. 9.) Universidad de las Américas Puebla.

1.1.3.3. Inyectoras

Las máquinas inyectoras cuentan con una similitud muy grande con las máquinas extrusoras, con la diferencia en que ellas no forman parison, sino que deben de inyectar el material fundido a los moldes con cavidades.

1.1.3.3.1. Máquinas inyectoras

Según Ponce (2007), las máquinas mayormente empleadas para la fabricación de productos inyectados son las máquinas de inyección con tornillo alternativo. Esta tiene la ventaja que se puede realizar la fusión y la inyección al mismo tiempo, esto da una mayor ventaja sobre las demás máquinas. Esto significa que la máquina plastifica y al mismo tiempo inyecta el material.

Para realizar todo este proceso se es necesario que la inyectora cuente con insumos y materias primas, de los cuales se pueden hacer mención:

- Insumos
 - Energía eléctrica
 - Agua a baja temperatura (menor a 10°C)
- Materia prima
 - Resina virgen
 - *Master Batch* (pigmento)
 - Producto molido de otras producciones

1.1.3.3.2. Moldes de inyección

Según cita Prada (2016), los moldes para las máquinas inyectoras pueden contar con diversos diseños, según las necesidades y requerimiento del cliente. Debido a los diversos diseños, se necesita materia prima especial para inyección y moldes con una alta conducción térmica.

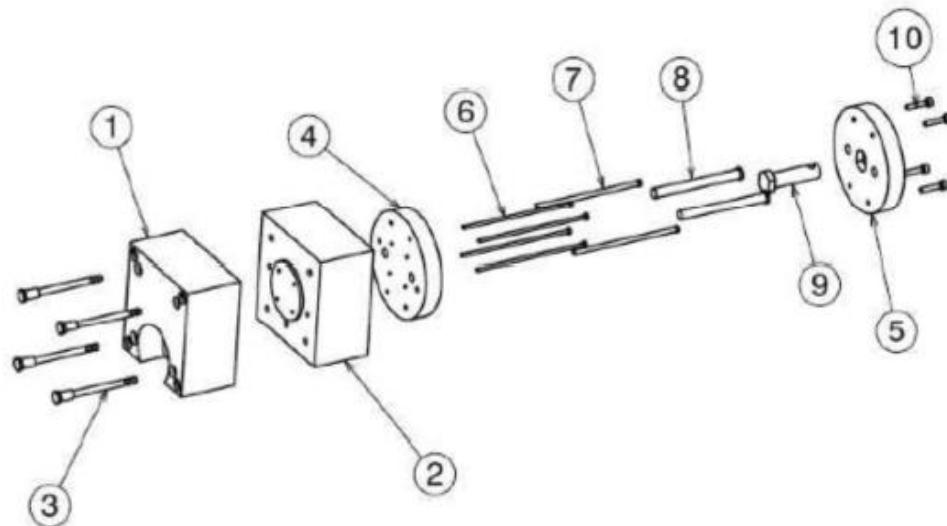
Como señala Prada (2016), los moldes son fabricados en base a acero pre-templado (acero P20) y acero temple, estas características dependen del tipo

de exigencia sometida en el molde. Es importante considerar el material plástico a utilizar, presiones de cierre de molde, número de piezas a fabricar y tiempo de ciclo en la máquina. Las propiedades por evaluar en la selección del material para la fabricación del molde son las siguientes:

- Resistencia a la compresión, corrosión y térmica
- Tenacidad
- Buena mecanibilidad
- Buena resiliencia
- Resistencia a la deformación e impacto y al desgaste

Figura 10.

Partes internas generales de un molde



Nota. Partes de molde y placa. Obtenido de Ricardo Prada (2017). *El moldeo en el proceso de inyección de plásticos para el logro de objetivos empresariales.* (p. 161.) Dimensión Empresarial.

En la figura 10 se observa un molde desarmado en su totalidad. Conforme indica Prada (2016), se enumeran sus partes:

- Pieza uno: placa fija
- Pieza dos: placa móvil
- Pieza tres: columna guía
- Pieza cuatro: placa de expulsión
- Pieza cinco: placa de apriete
- Pieza seis: aguja de expulsión
- Pieza siete: columna separadora
- Pieza ocho: guía de expulsión
- Pieza nueve: tirante de expulsión
- Pieza diez: tornillo Allen M 3x16

1.2. Manufactura esbelta

Como plantea Socconini (2008), *lean manufacturing* (manufactura esbelta, en su traducción al español) “se define como el proceso continuo y sistemático de identificación y eliminación de desperdicios o excesos” ... “es el esfuerzo de incansable y continuo para crear empresas más efectivas, innovadoras y eficientes” (p. 11).

1.2.1. Eventos Kaizen

Según Socconini (2008), la palabra *Kaizen* viene del idioma japonés que significa mejora continua, el cual orienta a ver las tareas diarias de otra manera o pensar en que existe una mejor manera. Para ello, se es necesario el ordenamiento de las tareas y distribución de responsabilidades dentro del área. Por medio de una cultura de mejor continua se puede garantizar que todos los

esfuerzos y cambios realizados se verán traducidos en beneficios de productividad para la empresa.

El principal objetivo de los eventos Kaizen son las búsquedas frenéticas de desperdicios en las líneas de producción. Estos desperdicios se pueden dividir en los siguientes:

- Desperdicios (mudas)
- Variabilidad y mala calidad (muras)
- Malas condiciones de trabajo (muris)

De todos estos desperdicios se deben de encontrar las causas raíz, elaborar un plan de acción e implementar las mejoras. Se debe de considerar que las mejoras impuestas o sugeridas no sean tan efectivas en el primer intento. Por tanto, se debe contar con pruebas previas para implementar las mejoras en el área, línea de producción o en la misma persona.

1.2.1.1. Las 5S para orden y limpieza

Como indica Araníbar (2016), la metodología de las 5's surge de la problemática en que las áreas de trabajo no cuentan con un ordenamiento y limpieza estándar en donde el operador tenga un ambiente laboral aceptable para desempeñar sus tareas diarias y desarrollar la disciplina dentro del área laboral.

Para esta metodología se requiere de bastante disciplina para que el operador y supervisor puedan mantener los resultados obtenidos tras haber sido implementadas las mejoras en el área.

De acuerdo con Socconini (2008), para realizar las 5's en el puesto de trabajo, se es necesario de seguir sus etapas. Las etapas constan de:

- Seleccionar (*Seiri*): consta en realizar un recorrido visual dentro del área y determinar que existen materiales que no son necesarios que se encuentre dentro del área. Para esta implementación es necesario de buscar y rebuscar en el área equipo y materiales que no parezcan necesario en el área.
- Organizar (*Seiton*): ya habiendo expulsado los materiales innecesarios, se debe de organizar los artículos dándoles un lugar específico y delimitando su espacio. Se es necesario el estudiar el flujo del proceso y buscar la mejor ubicación para materia primas, suministros, equipos, entre otros.
- Limpiar (*Seiso*): en este paso, se es necesario de realizar una limpieza profunda en el área y realizar mejoras en el área para evitar que se siga produciendo suciedad. El área más limpia no es la que más limpieza realiza, sino que es el que menos ensucia el área.
- Estandarizar (*Seiketsu*): consiste básicamente en realizar las actividades propuestas en los tres puntos anteriores para cuidar el nivel de 5's y mejorarlas. Para este paso es necesario el contar con procedimientos, prácticas y actividades estándar.
- Seguimiento (*Shitsuke*): la metodología de 5's consiste en crear una cultura y ser disciplinado con las mejoras propuestas e implementadas. Por ello, se debe de dar un seguimiento para que estos resultados puedan mantenerse y volverse en un hábito.

Para la implementación de la metodología 5's se debe contar con una constante participación el personal administrativo, jefes de área y gerencia. Esto es para aumentar el entusiasmo para la realización del proyecto y apoyar en los requerimientos del área para mejorar el nivel de 5's. Esta metodología aporta tanto para la organización como también para el usuario final u operadores de línea, ya que les ayuda a organizar y reducir los tiempos que desperdician en la búsqueda de objetos, documentos, herramientas, entre otras (Socconini, 2008).

1.2.1.2. Control visual

Según indica Hernandez (2013), el ser humano recibe información por medio de sus sentidos, donde la mayor cantidad de información procesable es por medio de la vista. A sabiendas de este dato, es necesario contar con herramientas que puedan indicar al personal y supervisores del estado actual de las líneas productivas, problemas en las máquinas, generación de merma o productos no conformes, programas de producción, receta e información de la materia prima, entre otros datos importante tanto para el personal de producción como para las jefaturas del área.

Según Socconini (2008), para el control visual en el proceso o del área se cuentan los siguientes tipos:

- **Alarmas:** son señales de aviso que proporcionan información en caso de que exista una emergencia.
- **Lámparas y torretas:** en base a cada uno de los colores en su torreta se puede saber el estado actual de la máquina. Los colores más comunes que cuenta son: azul (problemas con materia prima), verde (operación normal), amarillo (en mantenimiento preventivo) y rojo (máquina parada).

- *Kanban*: indica el momento en que debe de iniciar y finalizar la producción de un pedido, con sus respectivas especificaciones y cantidades.
- Tableros de información: proporcionan información del ritmo de producción que se cuenta en la línea para comparar los datos con algún otro parámetro o cambios en variables.
- Marcas en piso: ayudan a identificar con mayor facilidad y rapidez el lugar donde son colados los materiales. En la metodología de manufactura esbelta se utilizan los siguientes colores para delimitar materiales: verde (producto bueno), amarillo (pasillos), azul (materia prima y producto en proceso) y rojo (producto no conforme).

1.2.2. Herramienta para mejorar tiempo de entrega y capacidad

Según la información brindada por Socconini (2008), la manufactura se encuentra en constantes cambios y esto provoca que las industrias cambien su forma de operar para cumplir con los requerimientos del cliente. Por ello, debe existir diversos métodos para trabajar con variados tamaños de lote. Esto quiere decir que se debe de buscar un flujo continuo para poder procesar y dar entrega a tiempo con el cliente.

1.2.2.1. Manufactura celular

Según cita Rajadell (2010), esta metodología es aplicada para líneas de producción con un volumen bajo de demanda en el cual se deba manufacturar una diversidad de producto y generar varios cambios de modelo o cambios de presentación en el producto terminado.

Tal como dicta Socconini (2008), lo que se busca en la manufactura celular es generar un flujo ininterrumpido del producto en proceso y el producto terminado. La metodología dicta que se debe de formar personal con habilidades para una sola tarea, en el cual se asegura de que la tarea a realizar sea de una manera correcta y con la calidad requerida para el proceso. Ejecutar esta metodología se es necesario el aplicar las siguientes tareas para asegurar un buen análisis y en base a ello, generar ideas para reducir tiempo *takt* (relación entre la cantidad de tiempo disponible y la demanda de un producto en específico) y aumentar la productividad o flujo del proceso:

- Realizar un diagrama de spaghetti
- Dibujar el mapa de valor actual
- Realizar un análisis de mudas y detectar oportunidades
- Determinar tiempo *takt*
- Dibujar el mapa de valor futuro
- Establecer el diseño de la nueva célula
- Implementar diseño propuesto de la nueva célula

1.2.2.2. Single minute Exchange of die

De acuerdo con Socconini (2008), la metodología *Single Minute Exchange of Die* (SMED) tiene su significado en realizar cambios de modelo en un solo dígito de minuto, en este caso quiere decir en menos de diez minutos.

Para esta metodología se basa en la observación, análisis de actividades, determinación de mudas e implementación de nuevo método para el cambio de modelo. Se es necesario el observar y grabar por medio de un dispositivo móvil las actividades que se están ejecutando al momento en que se realizan el cambio.

Se debe de registrar las actividades más importantes y registrar los tiempos en que duraron cada una de estas. Así mismo, se debe de clasificar que tipo de actividades son, tales como: actividad interna (actividad que se realiza con la máquina detenida) o actividad externa (actividad que no se realiza con la máquina parada).

En base a este análisis se pueden generar una lluvia de ideas para poder realizar mejoras en el tiempo de cambio de presentación por medio de las siguientes opciones:

- Convertir las actividades de internar a externas (las más factibles y considerables)
- Eliminar actividades internas
- Eliminar actividades externas
- Delegar tareas a otra persona

Posteriormente, de haber analizado y definido el plan de acción, se debe de estandarizar el proceso y hacer que se cumpla cada uno de los pasos definidos para el cambio de producto.

Es imperativo recordar que se deben de considerar todas las ideas generadas por los participantes y analizarlas para validar si son factibles o no para implementarlas y llevarlas a la práctica.

1.2.3. Herramienta para mejorar la efectividad de los equipos

De acuerdo con Socconini (2008), es importante contar con equipos confiables para obtener resultados confiables y favorables para la organización.

En el siguiente apartado se conocerá una metodología que aporta un resultado favorable a los organizaciones que buscan contar con equipos más confiables.

1.2.3.1. Mantenimiento productivo total

Rajadell (2010) nos indica que en las diversas industrias de hoy en día cuentan con máquinas para generar niveles de producción y productividad mucho más altos a comparación de necesitar una gran cantidad de mano de obra para realizar la manufactura de productos. Es aquí donde se tiene visualizado una metodología del mantenimiento productivo total (TPM, por sus siglas en inglés *Total Productive Maintenance*) que cuente con enfoque de mantenimiento, prevención de fallas y mejoras continuas en equipo.

Por ello es necesario en realizar un involucramiento de todo el personal en planta para realizar tareas de mantenimiento en las líneas de producción. Esto genera que las tareas sean ejecutadas con mucha más agilidad y provoca que los equipos se conserven de una buena manera.

Citado por Socconini (2008), las dificultades de la metodología radican en la capacitación del personal de producción en los temas de mantenimiento y su involucramiento en las tareas asignadas. Esto es, debido a que mucho personal se encuentra con el pensamiento retrogrado en que su labor principal solo es operar la máquina.

La buena implementación de puede traer con consecuencia una mayor conservación del equipo o máquina, mejor calidad en el producto terminado, mejora en la productividad, continuidad de operaciones en la planta, reducción de gastos por mantenimiento y reducción de costos operativos hasta en 30 %.

Como expresa Socconini (2008), la metodología TPM cuenta con seis pilares que apoyan a una mejor ejecución del mantenimiento y obtener excelentes resultados para la productividad en máquina:

- Mantenimiento autónomo
- Mejoras enfocadas
- Mantenimiento de calidad
- Mantenimiento planeado
- Seguridad
- Capacitación

Los pilares, anteriormente mencionados, su enfoque consiste según la siguiente tabla:

Tabla 2.*Listado de pilares del mantenimiento con sus causas*

Pilares del mantenimiento	Pérdidas en equipos
Mantenimiento autónomo	Paros menores, paros inesperados, reducción de velocidad, cambios de productos
Mejoras enfocadas	Paros inesperados, paros menores, reducción de velocidad, defectos en el proceso
Mantenimiento de calidad	Defectos de proceso y de arranque
Mantenimiento planeado	Paros inesperados, paros menores y defectos de productos
Seguridad	Paros inesperados, paros menores y reducción de velocidad
Capacitación	Reducción de velocidad, paros menores y tiempo de cambio de producto

Nota. Pilares para el mantenimiento autónomo. Obtenido de L. Socconini (2008) *Lean manufacturing paso a paso*. Consultado el 21 de octubre de 2022. De dominio público.

1.2.3.2. Efectividad total de los equipos

Como expresa Socconini (2008), la efectividad total de los equipos (OEE, en sus siglas en inglés: Overall Equipment Effectiveness) es una medición que involucra los procesos productivos de la empresa. Esta medición indica la capacidad real de los equipos para producción sin defectos o desperdicios.

El OEE se ve involucrado lo que es el tiempo efectivo, velocidades y el nivel de producto conforme que generan los equipos. La formulas involucradas en el cálculo de capacidad son las siguientes:

$$\text{Tiempo total} = \text{Tiempo total del día (24 horas)}$$

Tiempo disponible

$$\begin{aligned} &= \text{Tiempo total} - \text{Tiempo de paro programado} \\ &\quad - \text{Tiempo de mantenimiento preventivo} \end{aligned}$$

Tiempo productivo

$$\begin{aligned} &= \text{Tiempo disponible} - \text{Tiempo de mantenimiento correctivo} \\ &\quad - \text{Tiempo de paro no programado} - \text{Tiempo de cambio de modelo} \end{aligned}$$

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo productivo}}{\text{Tiempo disponible}}$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Producción total}}{(\text{Tiempo productivo} * \text{Capacidad})}$$

$$\text{Calidad} = \frac{\text{Producción total} - \text{defectos}}{\text{Producción total}}$$

$$OEE = \text{Disponibilidad} * \text{Eficiencia} * \text{Calidad}$$

1.2.4. Herramientas para control de materiales y de producción

De acuerdo con Socconini (2008), en los siguientes apartados se mencionarán las herramientas para tener un correcto control de materiales y producción. Esto ayuda y aporta a la organización para control de inventarios, generan un beneficio en el control de demanda de la cadena de valor.

1.2.4.1. Kanban para control de materiales y producción

Como indica Socconini (2008), Kanban en el sistema de producción, funciona como un sistema del tipo *pull*. Esto quiere decir que se debe de generar una acción al momento que se realice una notificación.

El sistema *Kanban* funciona similar a los sistemas de supermercado, los cuales consisten en que cuando se desabastece algún producto en específico dentro de la estantería, aquí mismo existe una etiqueta o tarjeta que indica que se es necesario el reabastecimiento del producto. Esto genera una confiabilidad para el cliente en que se surtirá más del producto para poder ser entregado.

El mismo concepto se implementa en producción, para esta área se es necesario de contar con un control de todos los materiales para uso del proceso. Esto para que no existan errores en caso se mezclen los materiales, reducción en los tiempos para buscar un material y conocer los niveles de inventario permisibles para evitar un desabastecimiento de material.

De acuerdo con Socconini (2008), en el sistema Kanban se cuenta con los siguientes beneficios obtenidos:

- Evitar sobreproducción
- Trabajo estandarizado enfocado en los inventarios
- Fabricación en base a pedidos del cliente (no por stock)
- Comparación de lo que se fabrica contra lo que el cliente pide

1.2.4.2. Heijunka para la secuenciación de la producción

La metodología Heijunka consiste en la nivelación de producción en base a la demanda del cliente, para variar la carga de trabajo en los procesos de manufactura (Socconini, 2008).

De acuerdo con Socconini (2008), los beneficios en la implementación de Heijunka son:

- Evitar sobreproducción
- Implementar el sistema de jalar (Pull)
- Balance del volumen y nivel de producción

1.2.5. *Value Stream Mapping*

Según Socconini (2008), el mapa de valor (en sus siglas en inglés VSM, *Value Stream Mapping*) es una representación gráfica de los elementos dentro de la cadena de producción e información que permite documentar y conocer el estado actual de un proceso productivo. Esta representación ayuda a visualizar las restricciones reales de una empresa, el valor y desperdicios generados en el proceso.

El VSM se puede visualizar, en una sola hoja de papel, la siguiente información:

- Demanda del cliente y proveedores que cuenta la empresa.
- Planeación de producción y compras.
- Entregas de productos por parte de los proveedores y a los clientes.

- Secuencia de operaciones de producción.
- Información relevante de cada proceso productivo.
- Inventarios de materia prima, productos en proceso y producto terminado.
- Tiempo que agrega y no agrega valor (tiempo de procesamiento y de almacenamiento).
- Tiempo de entrega de productos terminados desde la recepción de materia prima.

Al momento en que se encuentra una oportunidad de mejora visualizado en el VSM, se coloca la figura siguiente:

Figura 11.

Simbología representativa a proyecto Kaizen

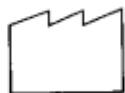


Relámpago *kaizen*. Sirve para dar a entender que en este punto de la cadena de valor se debe realizar un evento de mejora enfocado a implementar la herramienta *Lean* que contenga el relámpago.

Nota. Simbología para VSM. Obtenido de L. Socconini (2008). *Lean manufacturing paso a paso.* (p. 110.) Norma.

Figura 12.

Simbología utilizada en la elaboración del VSM



Fuentes externas: representa clientes y proveedores.



Flecha de traslado de proveedor a planta o de planta al cliente.



Transporte mediante camión de carga.



Transporte por tren.



Transporte por avión.



Operación del proceso.



Casillero de datos que se coloca debajo de las operaciones. En él se incluye información como tiempo de ciclo, tiempo de cambio entre productos, fiabilidad del equipo, tiempo disponible por turno, *yield*, etcétera.



Flecha de empuje que se utiliza para conectar operaciones en las que el material se mueve mediante un sistema empujar.

Nota. Simbología para VSM. Obtenido de L. Socconini (2008). *Lean manufacturing paso a paso.*

(p. 109.) Norma.

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

En las primeras dos semanas se llevó a cabo el levantamiento de información de las máquinas que existen en las líneas. Posterior, en los quince días posteriores se llevó a cabo una estimación de ritmo de producción en base a la información brindada por el TVC (Tiempo, Velocidad y Calidad), para así iniciar con la clasificación de productos terminados en los siguientes 6 días de trabajo. Por último, se realizó un cálculo de productividad en base a envases-hora-hombre, durante los siguientes tres días.

Durante 7 días se elaboró el VSM (*Value Stream Mapping*) para identificación de puntos de mejora. Posterior, se contempló durante 2 meses varios análisis por concepto de paros, cambios de formato o modelo y merma y reproceso de producto terminado. Ya habiendo contado con la información correcta, se inició con la elaboración de los 5 porque's. Conocidas las razones, en los siguientes 7 días, se pueden definir los factores que perjudican productividad en las líneas.

Se contempló la implementación de metodologías de manufactura esbelta. Se contempló un mes para proyectar el VSM ideal para las líneas de producción, luego se contempló un mes para la implementación de 5's en el área, eventos *Kaizen* durante un mes, implementación de SMED por medio de recursos humanos y financieros para mejorar el método con una duración de un mes, *Kanban* que será implementado por un mes, la metodología TPM se tiene contemplado para ser implementado por un mes y, por último, se tiene la metodología JIT (*Just In Time*) para el cual se necesita un mes para su implementación.

Cabe resaltar, que en cada una de las metodologías se es necesario el recurso humano, financiero y materiales. Así mismo, se es necesario el involucramiento gerencias y jefaturas de área.

Se tiene contemplado para un periodo de 15 días el diseño y elaboración de indicadores para identificar puntos de mejoras por medio de tiempos de paro, velocidades de máquina, productividad, calidad en el proceso y rentabilidad en la operación. Esto se realizará por medio de hojas de Excel con manejo de datos e indicadores interactivos.

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Se presentan a continuación los resultados recopilados en el año 2021. Los cuales están comprendidos por niveles de producción, tiempo de paro, nivel de merma y velocidad en las líneas.

Esta información fue recopilada de bases de datos y resumidas para realizar un análisis de la productividad en las líneas.

3.1. Diagnóstico del nivel de productividad

Para el diagnóstico, se consideró las familias de productos y su combinación con las líneas de producción. Esto debido a que las mismas familias de productos pueden tener un nivel de productividad distinto en las líneas.

Se recopiló los siguientes resultados en cuanto a las líneas de producción y las familias de productos que fabrican.

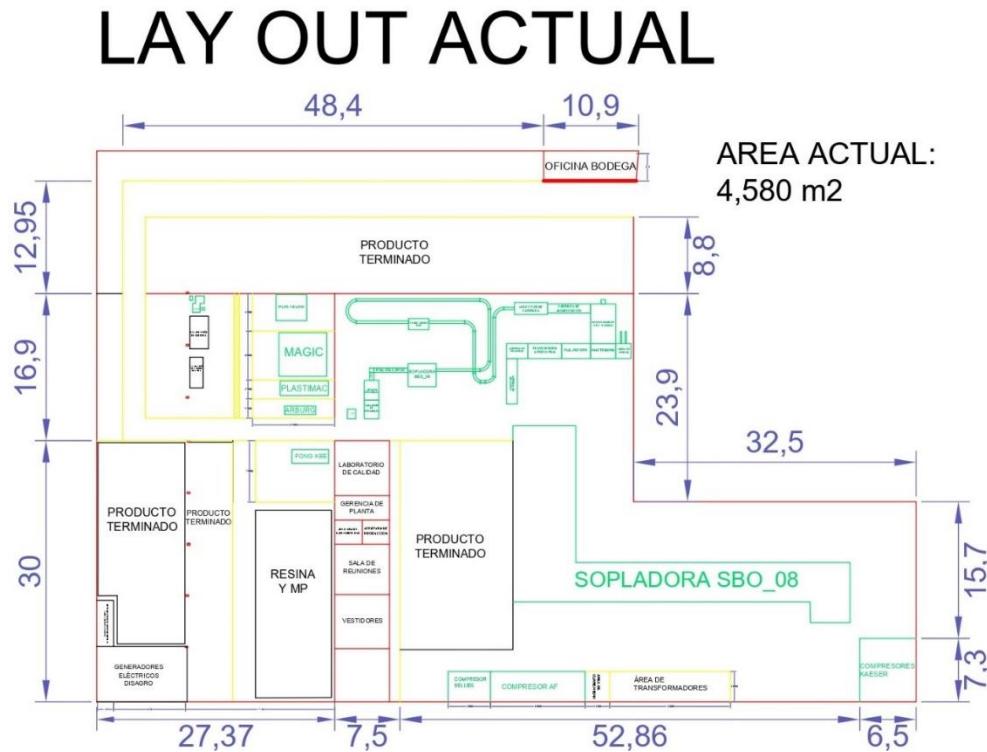
3.1.1. Líneas de producción

En la planta industrial, cuenta con el área de Inyección, Soplado PE y Soplado PET. Se adjunto el siguiente *Lay Out* de la planta industrial para considerar su flujo del proceso y en cómo están distribuidas las áreas.

Los contornos de color verde representan las áreas de maquinarias dentro de planta. Entre estas áreas se encuentran líneas de producción, compresores de baja presión (4 bares) y compresores de alta presión (30 bares).

Figura 13.

Lay out actual de planta



Nota. Lay Out de planta. Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCAD.

El análisis principal de la investigación se realizó en las líneas de producción, las cuales están comprendidas por las líneas de inyección, soplado PE y soplado PET. En las líneas de inyección se encuentran las siguientes máquinas:

- Inyectora Arburg
- Inyectora Plastimac

En las líneas de soplado PE se encuentran las siguientes máquinas:

- Extrusora sopladora Plastiblow
- Extrusora sopladora Magic
- Extrusora sopladora Fong Kee

En las líneas de soplado PET se encuentran las siguientes máquinas:

- Sopladora SBO_06
- Sopladora SBO_08

3.1.2. Familias de productos

Los productos terminados que son comercializados por la empresa se pueden dividir en las siguientes familias:

- Envases PET
- Envases PE
- Productos inyectados

Los envases PET tienen la peculiaridad que se pueden trabajar a muy altas velocidades en la máquina (sopladoras PET). Esto se debe a su muy bajo peso del envase y la capacidad que tiene la máquina en trabajar con varios moldes al mismo tiempo (de 6 a 8 moldes).

Caso contrario es con soplado PE, en este proceso el envase tiene mucho mayor peso que en los envases PET. Esto se traduce a que necesita mayor tiempo para enfriamiento del envase. También se tiene la peculiaridad en que las máquinas solamente trabajan de 1 a 2 moldes a la vez (dependiendo de su diseño).

Figura 14.

Preforma cristal de 22 gramos



Nota. Preforma para envases PET. Elaboración propia.

Figura 15.

Molde de 3 cavidad para presentación 1 litro

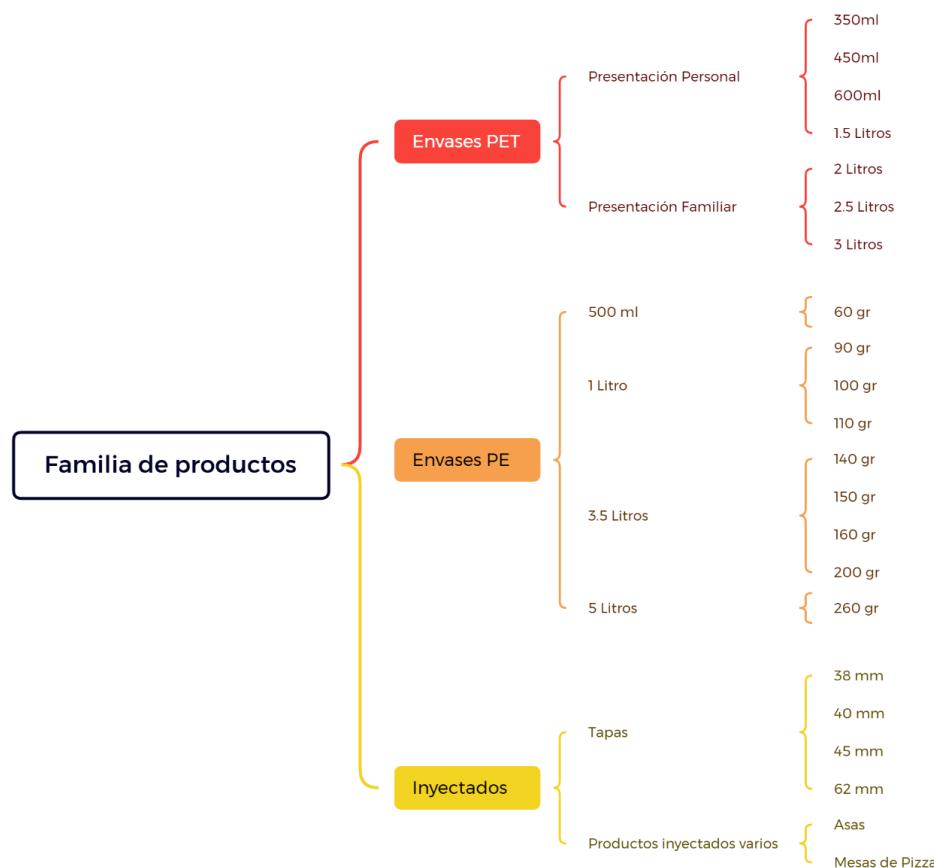


Nota. Interior de molde para envases PE con capacidad de 1 litro. Elaboración propia.

Los productos inyectados no ocupan una alta velocidad en su proceso, pero si cuentan con una alta capacidad en la producción. Esto depende en gran parte al diseño establecido del molde. Todas las máquinas inyectoras trabajan solamente con un molde a la vez, pero este mismo molde puede contar con varias cavidades del mismo producto. Esto aumenta en gran parte la productividad de la máquina.

Figura 16.

Mapa mental de familias de productos



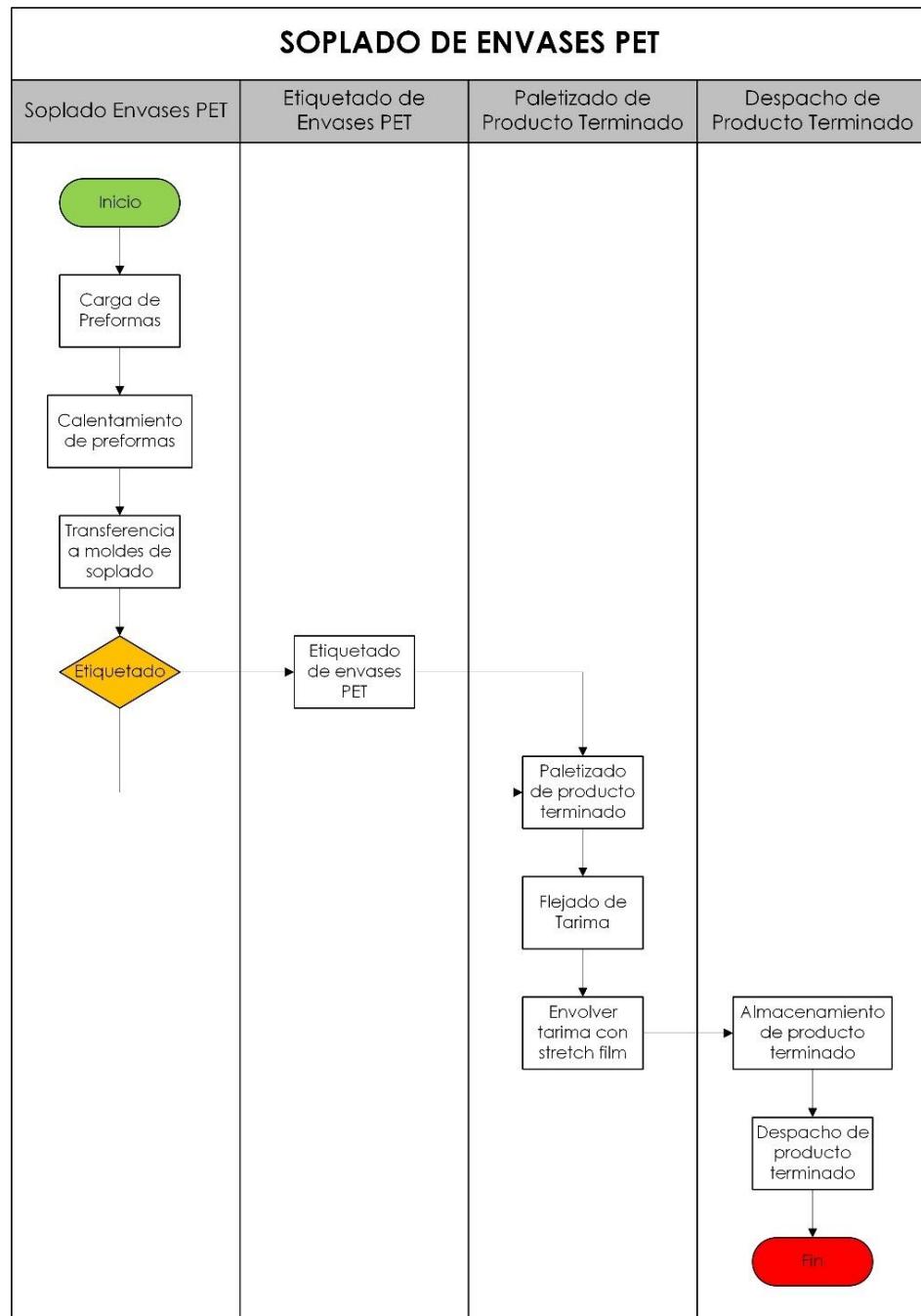
Nota. Fuente: elaboración propia, realizado con XMIND.

En el capítulo 1, se había descrito el proceso de soplado PET, se realiza un recorrido en el área de producción y se describe de manera más extensa cada etapa en el flujo del proceso:

- Paso cuatro: etiquetado de envases. Cuando el envase ya se encuentra formado, este es transportado (por medio de guías) hacia la etiquetadora. Por medio del transportador y *blowers*, son dirigidos los envases la máquina etiquetadora, la cual es la encargada de adherir las etiquetas. En este proceso se debe considerar las dimensiones de la etiqueta, la posición en que se adhiere y la cantidad de adhesivo aplicado.
- Paso cinco: paletizado de producto terminado. Ya completado los procesos de soplado y etiquetado, se considera como producto terminado el envase con etiqueta. Los envases son transportados al área de paletizado. En esta área se ordenan y son colocados los envases en tarimas. Posterior a ser completada una tarima, continua el proceso de flejado. Se coloca y sella el fleje en la tarima, para seguridad en el transporte. Por último, se envuelve la tarima completa con ayuda de *stretch film*, el cual garantiza la inocuidad y el resguardo del producto terminado.
- Paso seis: despacho de producto terminado. Las tarimas con producto terminado son almacenadas en la bodega, para posteriormente ser cargados a los camiones repartidores con destino a los clientes finales.

Figura 17.

Diagrama de flujo del proceso de soplado PET

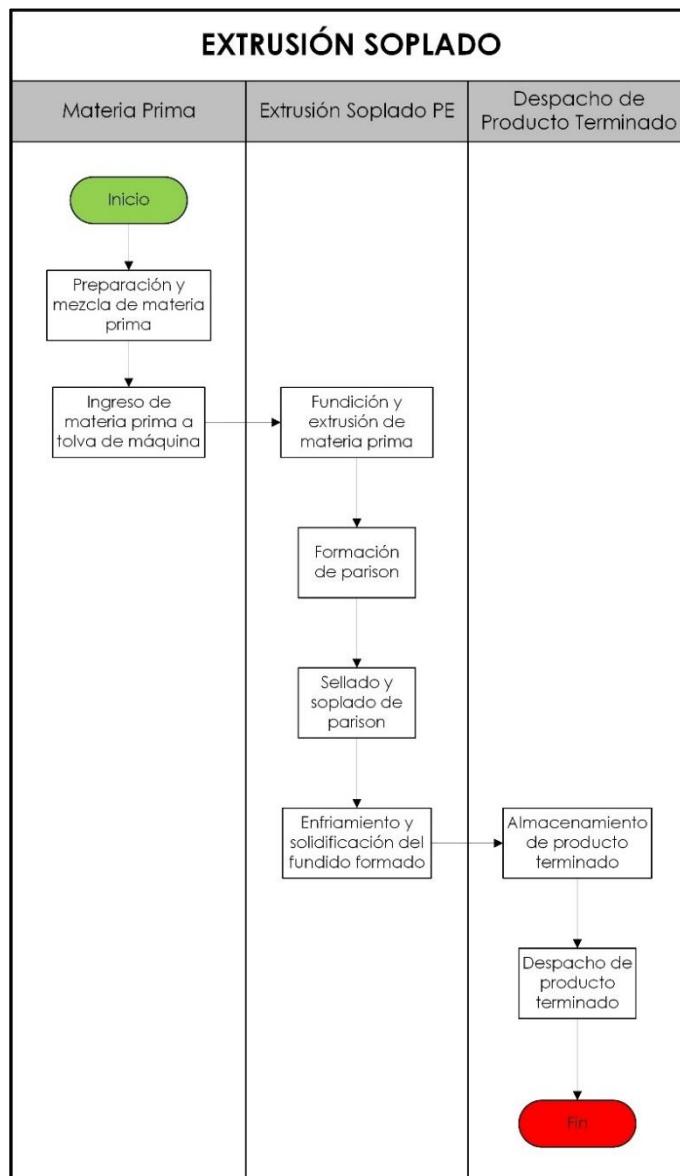


Nota. Elaboración propia, realizado con Visio.

Para el área de sopladoras PE, se cuenta con el siguiente diagrama de flujo de proceso:

Figura 18.

Diagrama de flujo del proceso de extrusión soplado

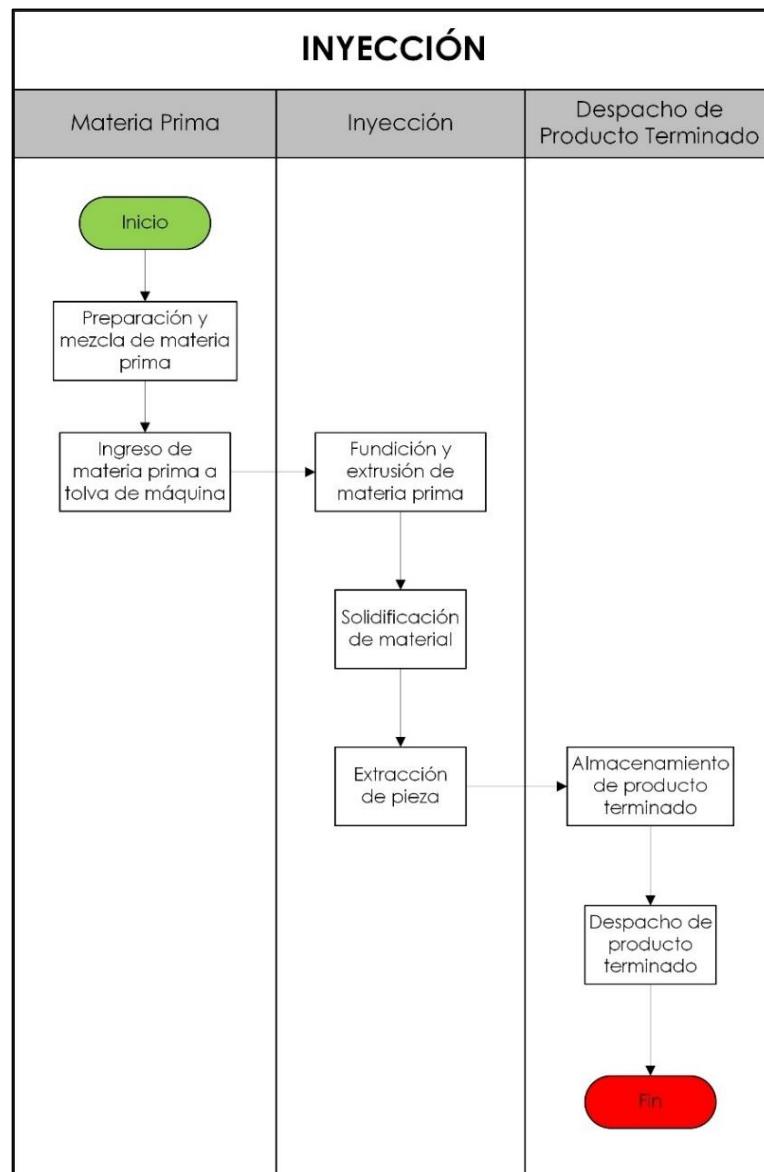


Nota. Elaboración propia, realizado con Visio.

Para el área de inyectoras, se cuenta con el siguiente diagrama de flujo de proceso:

Figura 19.

Diagrama de flujo del proceso de inyección



Nota. Elaboración propia, realizado con Bizagi Modeler.

3.1.3. Cadencia de las familias de productos

El término cadencia se traduce como la velocidad en que se fabrica el producto terminado (unidades fabricadas versus tiempo disponible). Se ilustra en la figura 21 el mapa mental de las cadencias establecida para cada tipo de producto terminado. Estas cadencias se establecen a partir de la velocidad en que la máquina puede fabricar el producto terminado sin poner en riesgo la calidad del producto y el buen funcionamiento de la máquina.

Figura 20.

Envase galón redondo de 3.78 litros



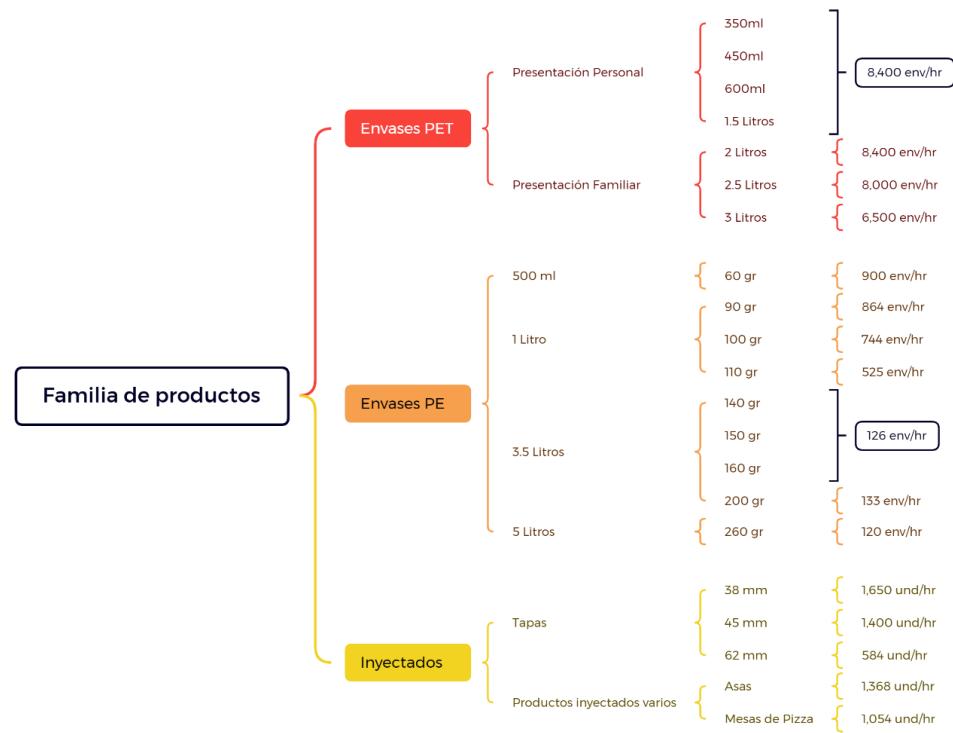
Nota. Envase PE con capacidad de 1 galón. Elaboración propia.

La cadencia es un dato importante, en él se realizan cálculos de las productividades de las líneas de producción. También aporta valiosa información para la ejecución de programas de producción y la determinación de presupuestos anuales.

En el presente ejercicio lo utilizaremos más adelante para el cálculo de OEE (*Overall Equipment Effectiveness*).

Figura 21.

Mapa mental de cadencia por familia de productos



Nota. Elaboración propia, realizado con XMIND.

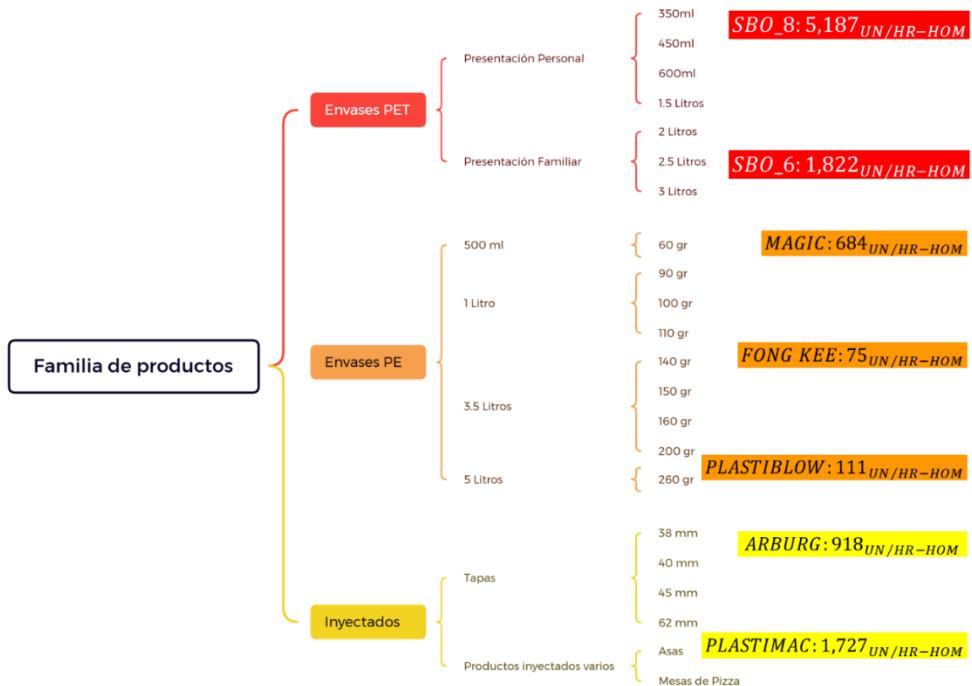
3.1.4. Productividades de las líneas

La productividad seleccionada para realizar un diagnóstico de las líneas se centra en las unidades – horas – hombres. La productividad mide la eficiencia de una línea de producción para fabricar un producto terminado.

En la siguiente ilustración se definen los niveles de productividad para cada línea de producción (en base a su cadencia):

Figura 22.

Mapa mental de productividad por máquina



Nota. Elaboración propia, realizado con XMIND.

Otra medición de productividad es el OEE, este da un panorama más amplio en cuanto al análisis del por qué existe una variación de productividad. Para efectos de la presente investigación, se tomaron como resultados el nivel de productividad y OEE en la línea de producción.

En base a la información recopilada, se concluye que las líneas con mayor productividad son las líneas de producción PET. Esto se debe a que su alto nivel de velocidad (una media mayor del 8,400 envase por hora) y la cantidad de operadores en la línea (de 2 a 4 operadores). En el caso del área de inyección, existe un solo operador en ambas máquinas de inyección (Arburg y Plastimac) esto hace que su productividad aumente debido a que no necesitar más de un operador en ambas líneas.

En caso contrario, se cuenta con el área de sopladoras PE donde se visualiza que su productividad es muy baja debido a su velocidad de producción (una media de 120 a 860 envases por hora, dependiendo de la máquina y el producto). También se encuentra afectado que en cada línea de producción existe solamente un operario.

3.2. Factores que perjudican y reducen la productividad

Para efectos el presente caso, se estudia el nivel de OEE resultante de la planta de producción. Así mismo, se visualiza el de las áreas de producción (inyección, soplado PE y soplado PET).

El nivel de OEE por debajo del 65 %, se encuentra en un rango inaceptable. En este rango existen importantes pérdidas económicas y baja competitividad (Socconini, 2008).

Tabla 3.

Nivel de OEE general en la planta para el año 2021

PLANTA ZONA 11						
OEE GENERAL						
85.45 %						
SOPLADORA PET		SOPLADORA PE			INYECTORAS	
82.98 %		81.96 %			72.43 %	
SBO_06	SBO_08	FONG KEE	MAGIC	PLASTIBLOW	ARBURG	PLASTIMAC
80.34 %	85.34 %	74.32 %	84.39 %	82.12 %	80.11 %	66.39 %

Nota. Desglose de nivel de OEE en planta y áreas productivas. Elaboración propia, realizado con Excel.

La figura anterior se indica que del 100 % del tiempo disponible (24 horas) se está utilizando eficientemente el 85.45 % (sin tiempos de paro, a una velocidad optima y sin producto no conforme). Este nivel de efectividad es importante de analizarlo y visualizar puntos de mejorar para aumentar el resultado y con ellos, aumentar la efectividad de la empresa (lo cual se traduce en una mayor rentabilidad).

El área donde cuenta con un menor nivel de efectividad es el área de inyectoras (72.34 %), seguido con el área de sopladoras PE (81.96 %) y, el área más efectiva de la empresa es en sopladora PET (82.98 %). El nivel de efectividad se ve afectado por el tiempo de paro, velocidad de producción de las líneas y la cantidad de merma. Se establecerá cual rubro es en el que existe mayor afectación en el resultado del OEE.

En la tabla 4 se observa que el tiempo productivo (T) es el mayor afectado (87.47 %), esto puede ser generado por paros de máquina debido a

mantenimientos correctivos, cambios de modelo de la línea y ajustes operativos de la línea (paros no programados).

Tabla 4.

Resultados generales en OEE para planta zona 11

PLANTA ZONA 11	
OEE GENERAL	
85.45 %	
T	87.47 %
V	98.13 %
C	99.55 %

Nota. Desglose de cada variable de OEE. Elaboración propia, realizado con Excel.

La eficiencia (V) general de la planta se encuentra al 98.13 %. Esto se traduce en que existen líneas de producción que están trabajando a una velocidad menor a la establecidas, de acuerdo con la familia de producto que se esté fabricando.

El nivel de producto conforme (C) se encuentra a un 99.55 %. Esto indica que, de cada 200 productos elaborados en la planta, existen 2 que se encuentran como no conformes.

En la tabla 5, se observan los resultados de OEE, disponibilidad (T), eficacia (V) y producto conforme (C) de cada línea de producción. Se marca de color amarillos los aspectos o rubros donde afectaron mayormente el resultado de la línea.

Tabla 5.*Desglose de resultados en disponibilidad, velocidad y calidad*

PLANTA ZONA 11									
OEE GENERAL									
85.45 %									
SOPLADORA PET			SOPLADORA PE				INYECTORAS		
82.98 %			81.96 %				72.43 %		
SBO_06	SBO_08	FONG KEE	MAGIC	PLASTIBLOW	ARBURG	PLASTIMAC			
80.34 %	85.34 %	74.32 %	84.39 %	82.12 %	80.11 %	66.39 %			
T	81.40 %	T	85.30 %	T	82.94 %	T	91.54 %	T	90.97 %
V	99.28 %	V	100 %	V	89.94 %	V	92.23 %	V	90.48 %
C	99.41 %	C	99.55 %	C	99.63 %	C	99.95 %	C	99.77 %
								C	99.98 %
								C	99.94 %

Nota. Desglose de OEE por áreas productivas. Elaboración propia, realizado con Excel.

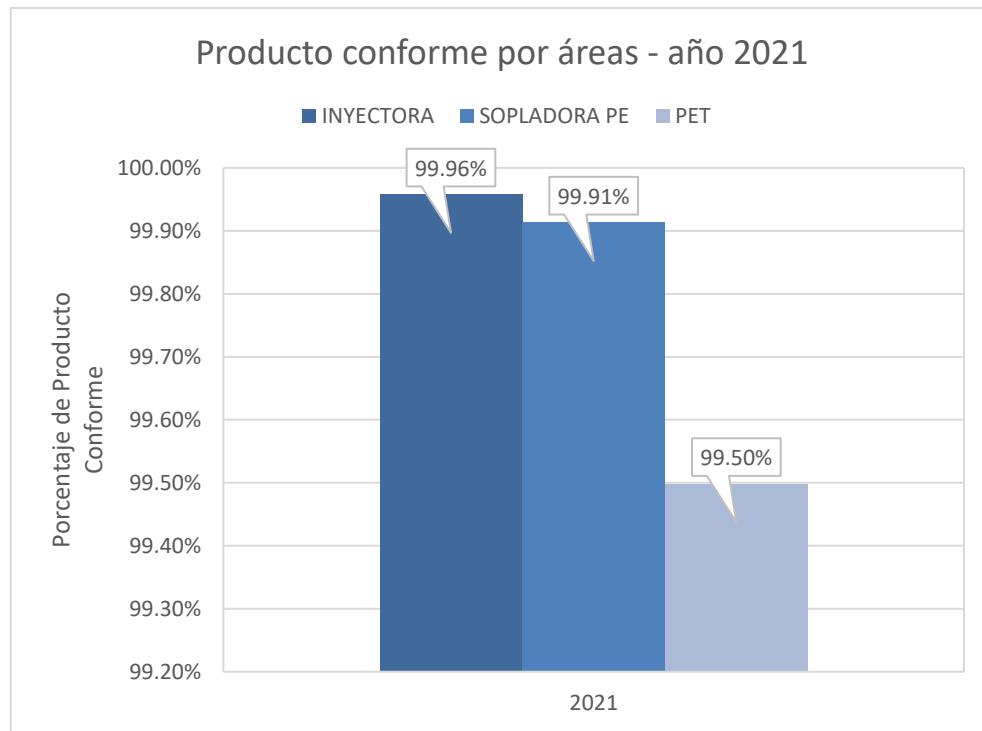
En los siguientes apartados se evaluará la razón del porque ha sido afectado el resultado de OEE en cada línea.

3.2.1. Porcentaje de producto conforme

En la figura 23 se observa que el área mayormente afectada por la cantidad de merma es el área de PET. Se deben analizar las causas que generaron merma en las líneas de producción.

Figura 23.

Producto conforme en las áreas de producción en el año 2021



Nota. Productos no conformes. Elaboración propia, realizado con Excel.

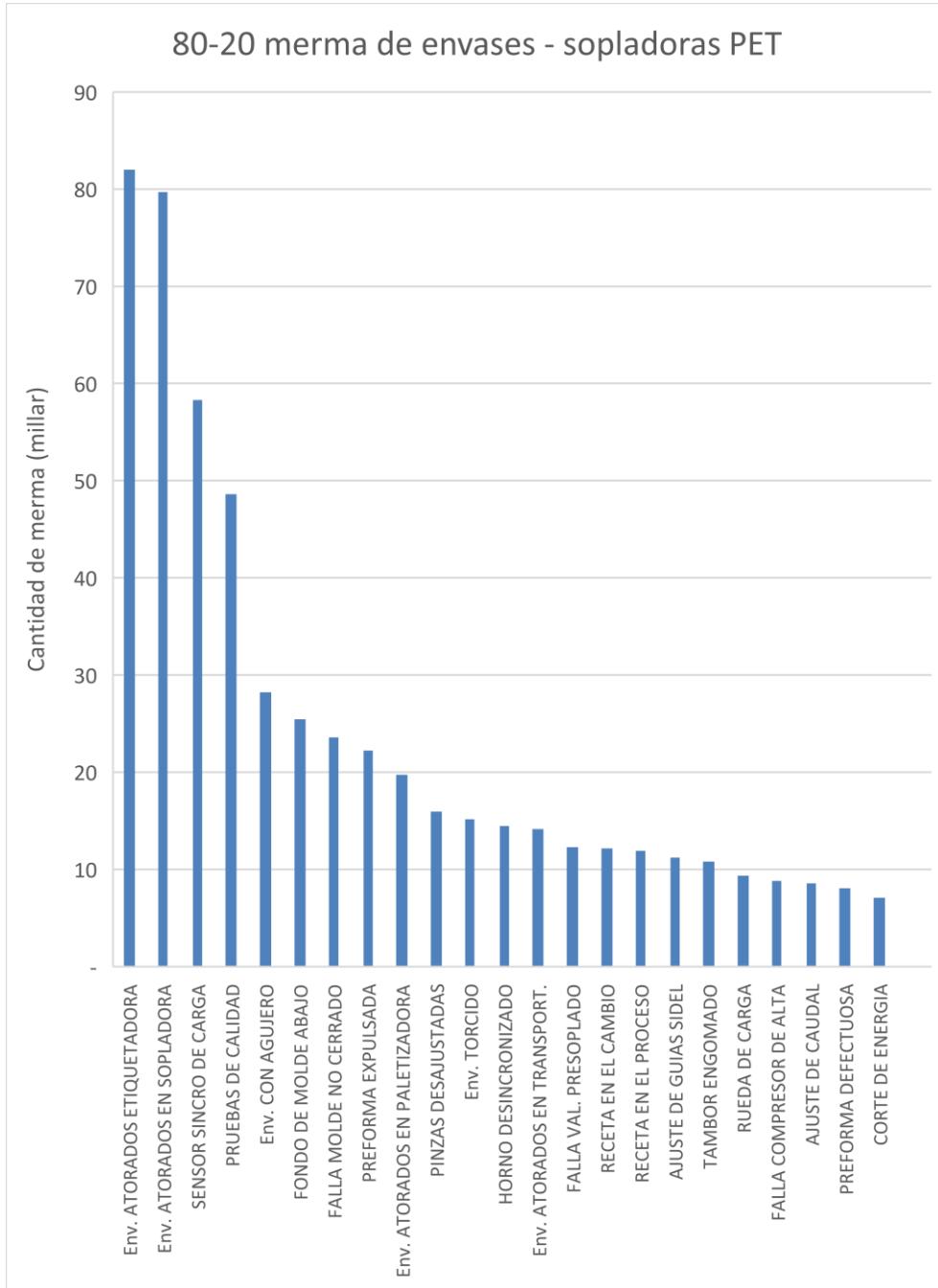
3.2.1.1. Merma en área PET

Se genera un diagrama de Pareto para visualizar las causas que generan la mayor cantidad de merma en las líneas de producción.

En la figura 24, se observan las causas con el 80 % de merma generada en el área. Esta cantidad es significativa, se puede visualizar en el siguiente gráfico el impacto positivo que se puede reducir en caso se apliquen mejoras.

Figura 24.

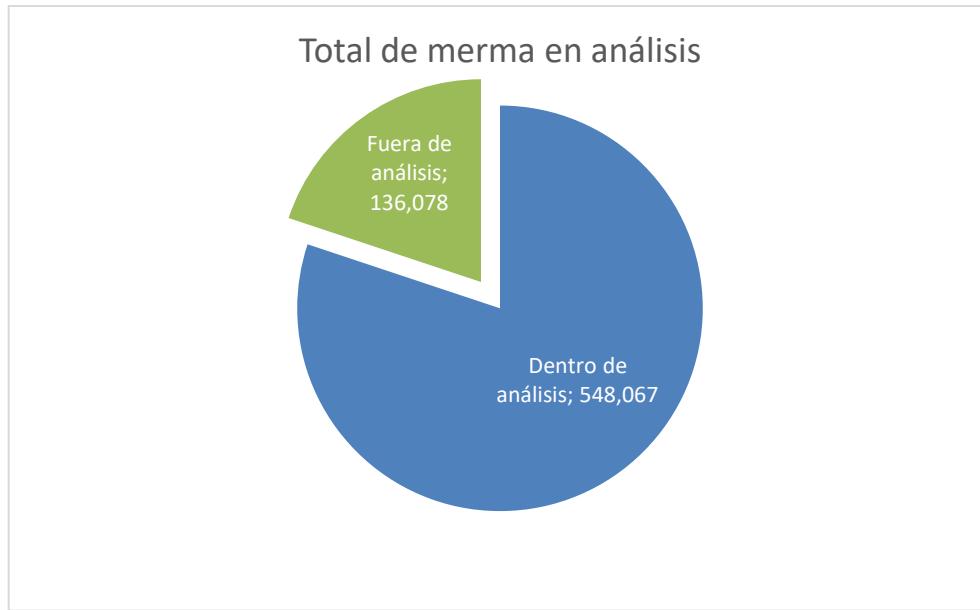
Merma generado en sopladoras PET a ser analizada su causa



Nota. Pareto con causas de merma. Elaboración propia, realizado con Excel.

Figura 25.

Merma generado en el año 2021 (soplado PET)



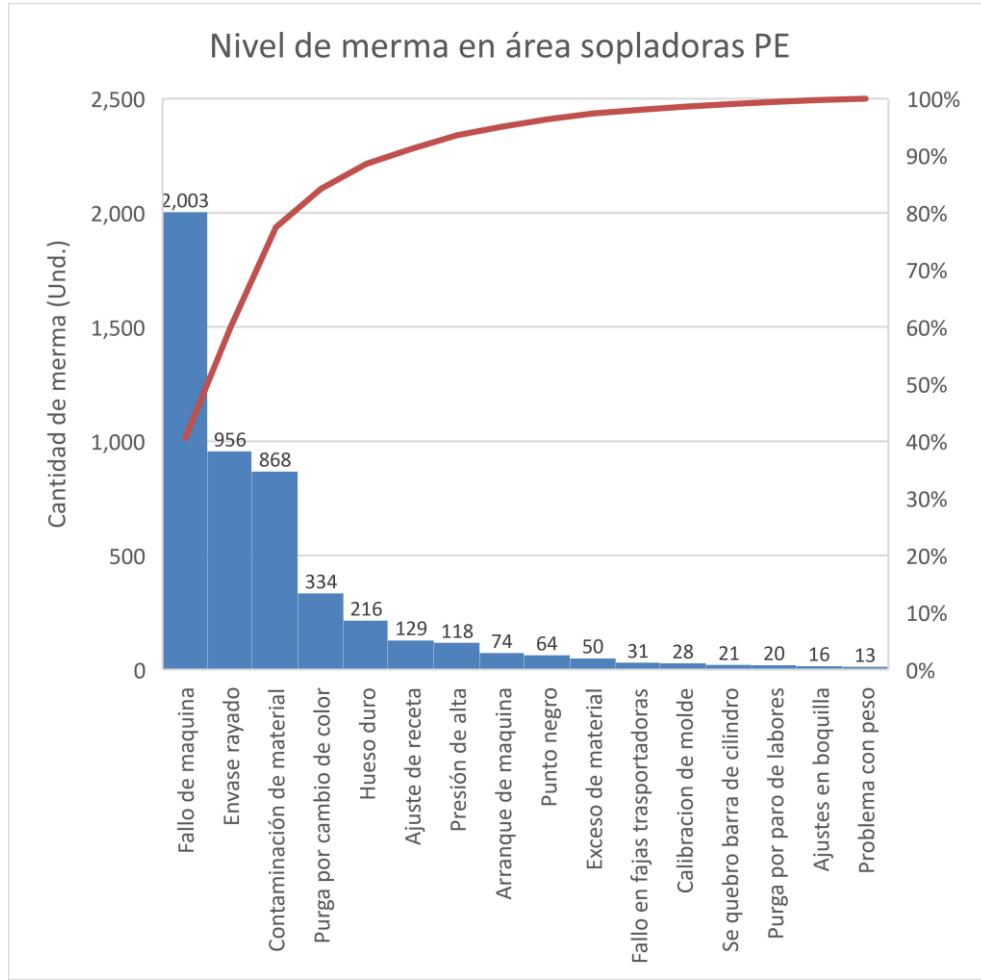
Nota. Total de merma por analizar. Elaboración propia, realizado con Excel.

3.2.1.2. Merma en área soplado PE

Se genera un diagrama de Pareto para visualizar las causas que generan la mayor cantidad de merma en las líneas de producción.

Figura 26.

Gráfica Pareto para análisis de merma en sopladoras PE



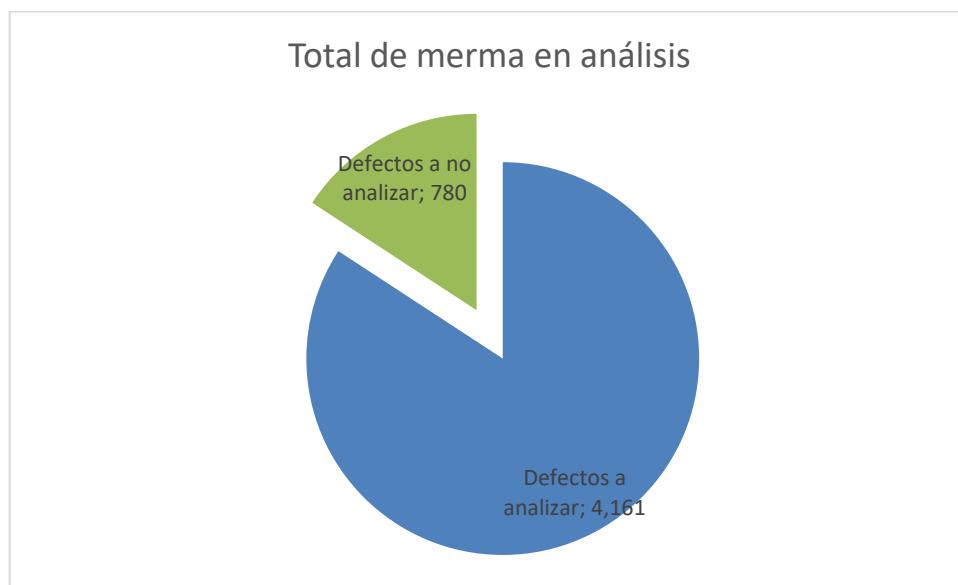
Nota. Pareto del nivel de merma. Elaboración propia, realizado con Excel.

En la figura 26, se observan el gráfico de Pareto para visualizar el 80 % de los defectos (merma) generado en el área. En el gráfico se visualizan 4 defectos que forman el 80 % de la cantidad de merma generada en área, estos defectos se encuentran comprendidas por:

- Fallo de máquina
- Envase rayado
- Contaminación de material
- Purga por cambio de color

Figura 27.

Merma generado en el año 2021 (soplado PE)



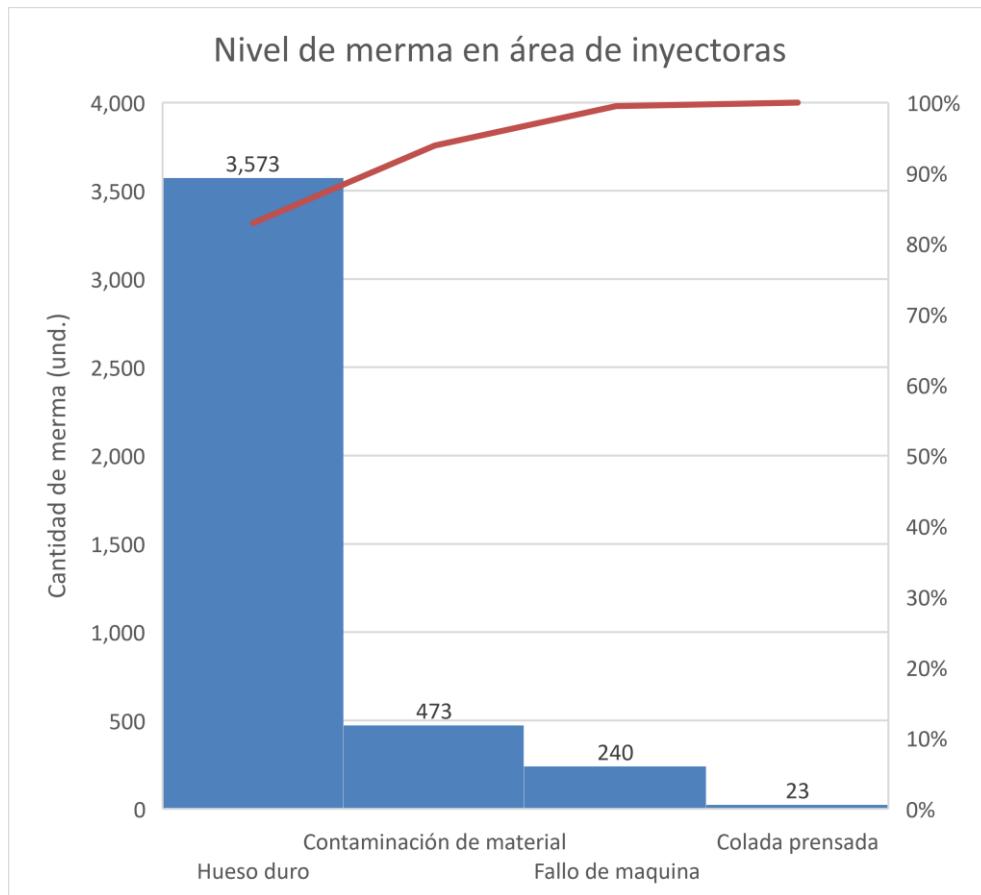
Nota. Total de merma a analizar. Elaboración propia, realizado con Excel.

3.2.1.3. Merma en área de Inyecciones

Se genera un diagrama de Pareto para visualizar las causas que generan la mayor cantidad de merma en las líneas de producción.

Figura 28.

Gráfica Pareto para análisis de merma en inyectoras



Nota. Pareto del nivel de merma por inyectoras. Elaboración propia, realizado con Excel.

En la figura 28, se observan en el gráfico de Pareto el 80 % de los defectos (merma) generado en el área. En el gráfico se visualizan un solo defecto que forman más del 80 % de la cantidad de merma generada en área, este debido es debido al hueso duro generado en la línea.

3.2.2. Tiempos de paros

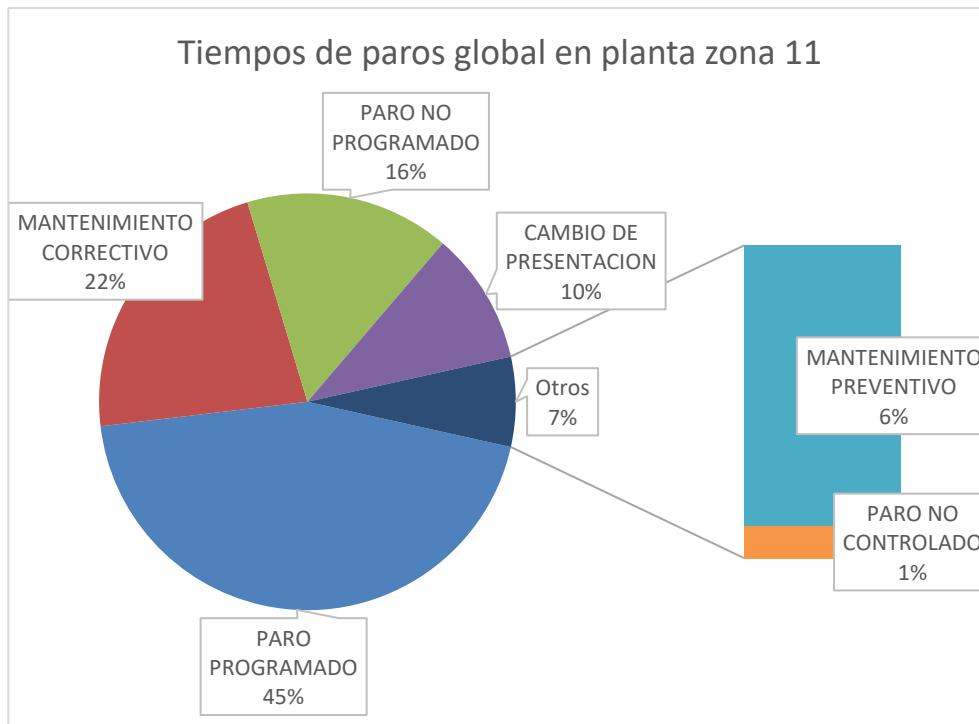
La información recopilada por tiempos de paro se encuentra comprendida por el periodo del año 2021. Estos paros se dividen en dos categorías:

- Tiempo de paros programados
 - Paros programados
 - Mantenimientos preventivos
 - Paros no controlados (cortes de energías eléctricas)
- Tiempo de paros no programados
 - Paros no programados (paros operativos)
 - Mantenimiento correctivo
 - Cambio de presentación

Se visualiza que los paros más prolongados son los paros programados. Según los objetivos planteados en el presente trabajo, no se tomará en cuenta debido a que no es objeto que perjudica las productividades en las líneas. Se realizará una cuantificación de tiempos de cambios y se visualizarán los tipos de tiempos de paros que más han afectado a la productividad de las líneas.

Figura 29.

Tiempos de paros en las áreas de producción en planta



Nota. Desglose de tiempo de paro global. Elaboración propia, realizado con Excel.

3.2.2.1. Paros en área sopladoras PET

Durante el periodo del año 2021, se recopiló toda la información pertinente para realizar el análisis de paro en la línea. Se establece que los tiempos de paro está comprendido por las diversas máquinas que se encuentran en la línea.

Las líneas PET en la planta se encuentran comprendidas por las siguientes máquinas:

- Volcador de preformas

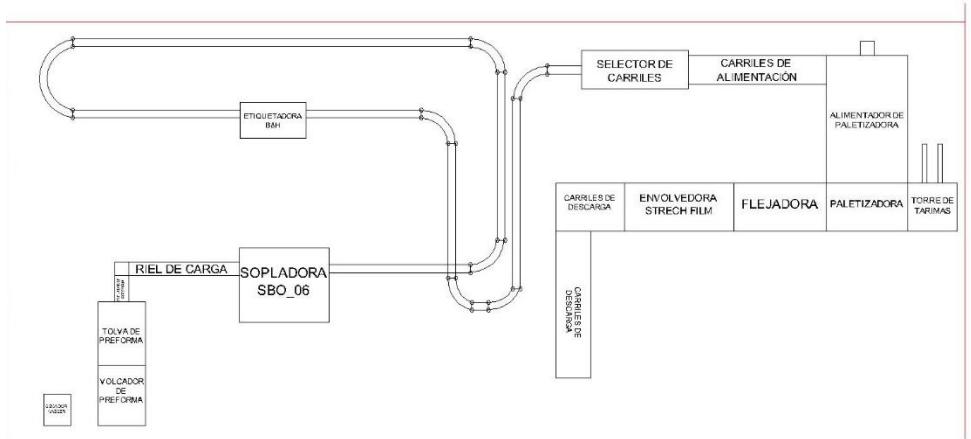
- Sopladora PET
- Transportador de envases (este se encuentra comprendido entre cada máquina)
- Etiquetadora
- Selector de carriles
- Carriles de alimentación
- Alimentador de paletizadora
- Paletizadora
- Flejadora
- Envolvedora de strech film

En la siguiente figura se ilustra la línea SBO_6, se observa que las líneas de producción están comprendidas por las máquinas anteriormente mencionadas. Por tanto, la base de datos de paros en la línea abarca todas las máquinas en línea, esto provoca que se genere una gran cantidad de información respecto a paros en la línea. En el presente análisis se encontraron 412 causas de paro, estas comprenden todas las máquinas en la línea de producción.

Por cuestión de facilidad en el análisis, se dispondrá a extraer los paros con mayor frecuencia que fueron presentados en el año. El criterio también aportara un mejor resultado en la reducción de tiempo de paro para aumentar la productividad en la línea. Esto se debe a que no se va a colocar en análisis paros que fueron generados de manera triviales.

Figura 30.

Línea de producción SBO_6

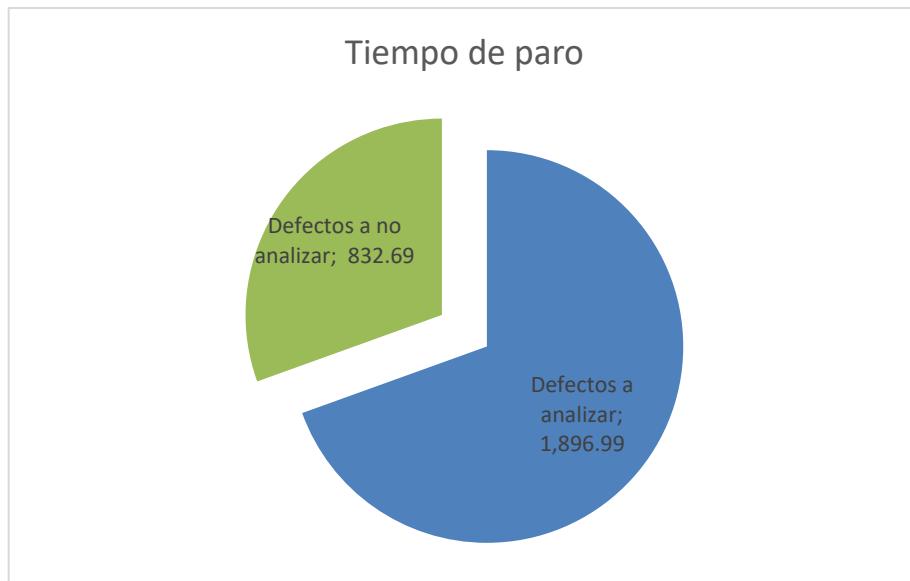


Nota. Línea de producción PET. Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

El criterio de filtración de causa consiste en que debe de aparecer una vez cada siete días (1/7: 0.1428, lo cual representa una probabilidad de 14.28 %). Para lo cual, se hizo necesario que se buscara la frecuencia de cada causa de paro y dividirlo en los días que comprende el análisis (365 días). Esto genera la siguiente figura:

Figura 31.

Tiempo de Paro en el año 2021 (soplado PET)



Nota. Desglose de tiempo de paro. Elaboración propia, realizado con Excel.

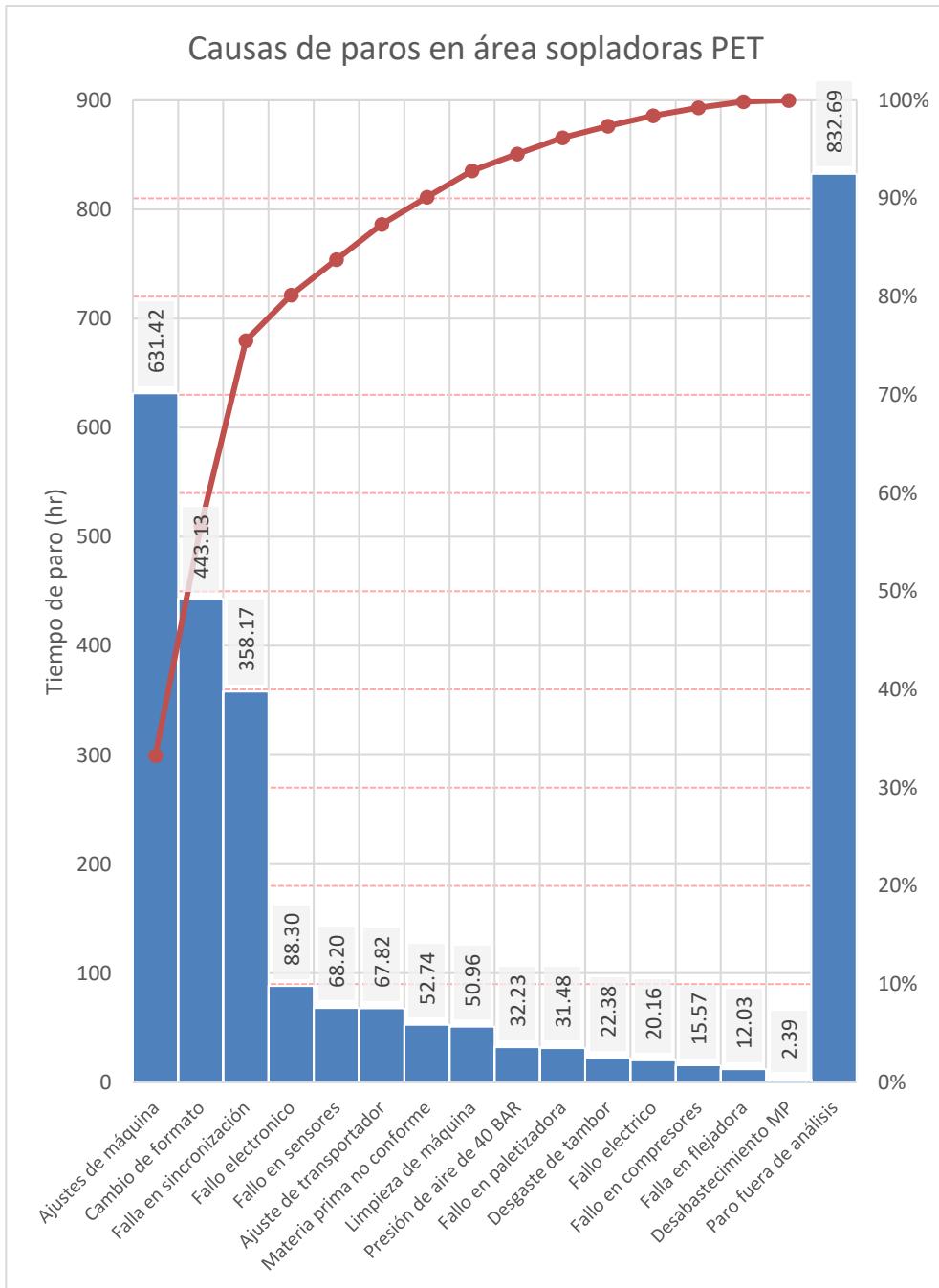
En la figura 32 indica que existen 4 causas de paro en la línea (ajustes de máquina, cambio de formato, falla en sincronización y fallo electrónico) los cuales representan 1,521.02 horas de paro (4 horas y 10 minutos de paro diariamente).

Los resultados encontrados representan el 80.18 % de los defectos a analizar. Los tiempos de paro encontrados se clasifican de la siguiente manera:

- Paros no programados (paros operativos): ajustes de máquina
- Mantenimiento correctivo: falla en sincronización y fallo electrónico
- Cambio de presentación: cambio de formato

Figura 32.

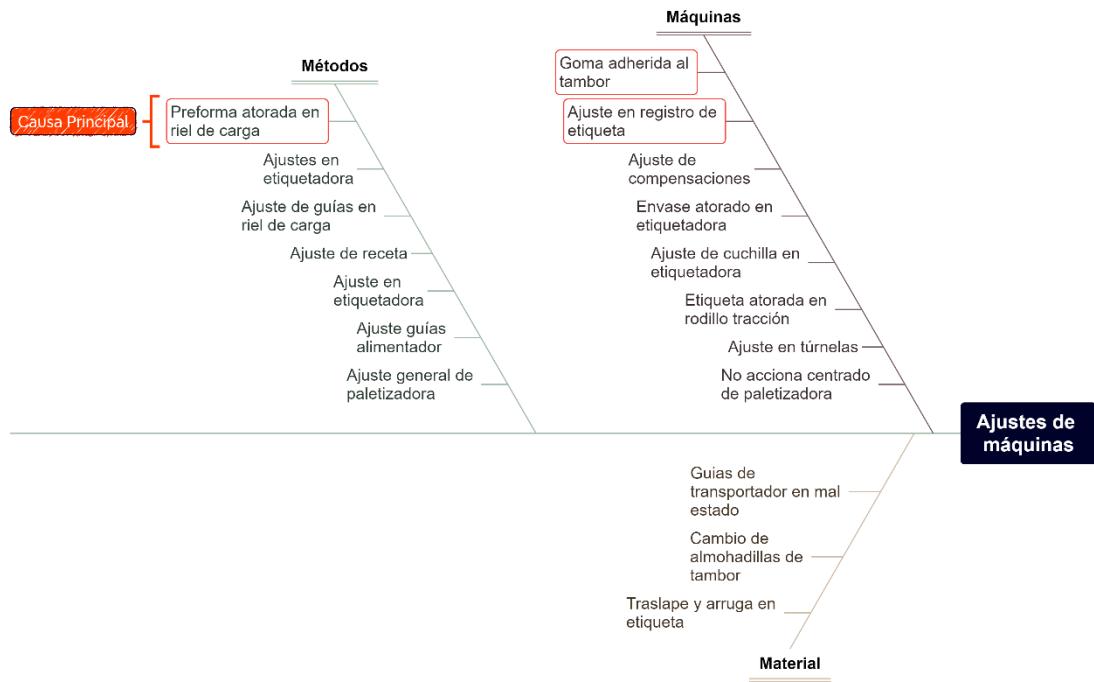
Gráfica Pareto de paros en áreas sopladoras PET



Nota. Pareto con causas de paros. Elaboración propia, realizado con Excel.

Figura 33.

Diagrama causa y efecto analizando los ajustes de máquinas



Nota. Ishikawa con análisis de paro. Elaboración propia, realizado con XMIND.

En el análisis de la figura 33 se engloban todas las causas que suceden al momento que se debe de ajustar la máquina. Se encierra en un cuadro rojo la mayor causa de tiempo de paro, tal ejemplo se puede mencionar:

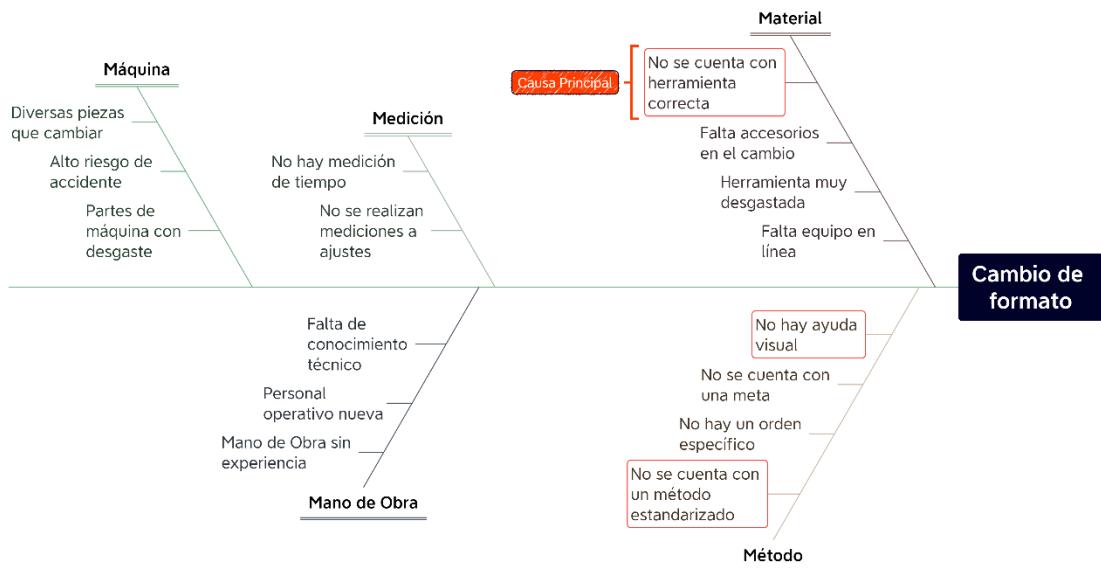
- Causa principal: preforma atorada en riel de carga (98.99 horas, 15 veces/día), se puede concluir que es necesario una estandarización de los ajustes y revisión de las partes que están involucradas el riel de carga.
- Goma adherida al tambor (62.45 horas, 2 veces/día): se puede concluir que es necesario una estandarización en las operaciones de ajuste y

cambio de formato de la etiqueta. También se es necesario de una revisión de los equipos y sensores que están involucrados con la detección y corte de etiqueta.

- Ajuste de registro de etiqueta (51.33 horas, 3 veces/2 días): se puede concluir que es necesario estandarizar el proceso para ajuste de registro de etiqueta para garantizar que la máquina etiquetadora no genere variaciones en el corte de etiqueta.

Figura 34.

Diagrama causa y efecto analizando el cambio de formato



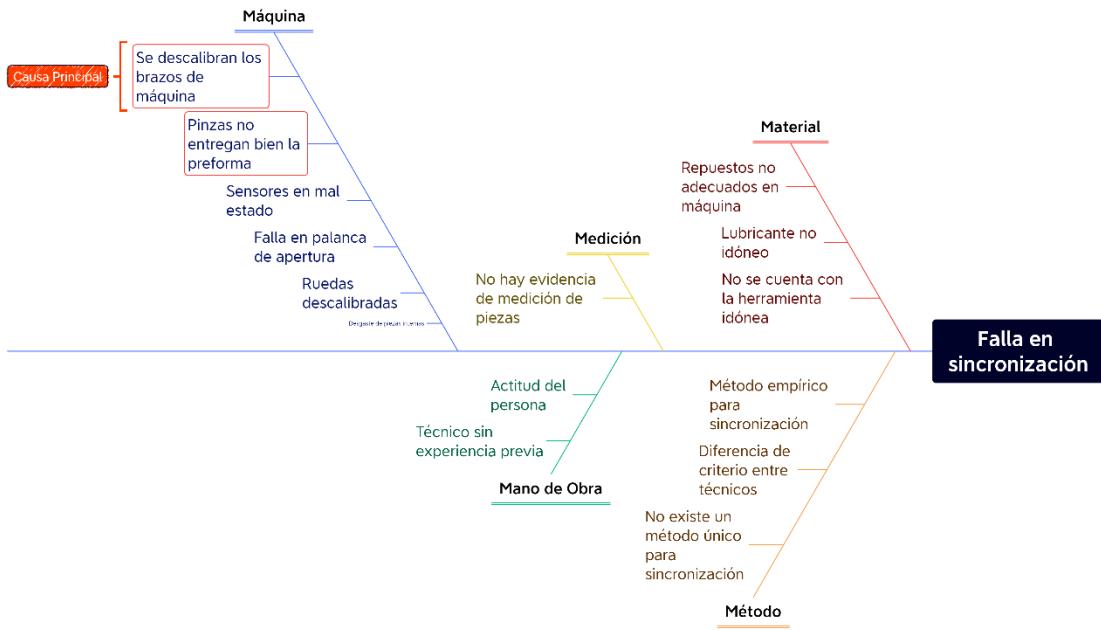
Nota. Ishikawa con análisis de paro. Elaboración propia, realizado con XMIND.

Utilizando la misma metodología anterior, se puede concluir lo siguiente con relación al cambio de formato:

- Causa principal: no se cuenta con herramienta correcta, se es necesario un inventario de la herramienta a utilizar en el proceso de cambio modelo, diagnosticar su vida útil y realizar el reemplazo correspondiente.
- No hay ayuda visual: contar con ayuda visual a que apoye en establecer un método ordenado para realizar un cambio de formato. También se puede colocar ayuda visual a las piezas intercambiables para conocer su lugar de instalación. Para este paso se es necesario realizar un cronometraje del cambio de formato, anotar las actividades realizadas y los equipos o piezas utilizadas para el cambio.
- No se cuenta con un método estandarizado: para este paso se es necesario realizar un cronometraje del cambio de formato, anotar las actividades realizadas y los equipos o piezas utilizadas para el cambio.

Figura 35.

Diagrama causa y efecto analizando la falla en sincronización



Nota. Ishikawa con análisis de paro. Elaboración propia, realizado con XMIND.

Utilizando la misma metodología anterior, se puede concluir lo siguiente con relación la falla de sincronización:

- Causa principal: se descalibran los brazos de máquina (110.08 horas, 3 veces/2 días): se necesita de implementar mantenimientos eficientes para detectar desgastes o desajustes en los brazos de máquina. Considerar las piezas que no se encuentren muy desgastadas en su accionamiento mecánico.
- Pizas no entregan bien la preforma (58.98 horas, 3 veces/2 días): analizar la transición de la preforma en su traslado del horno de calentamiento a

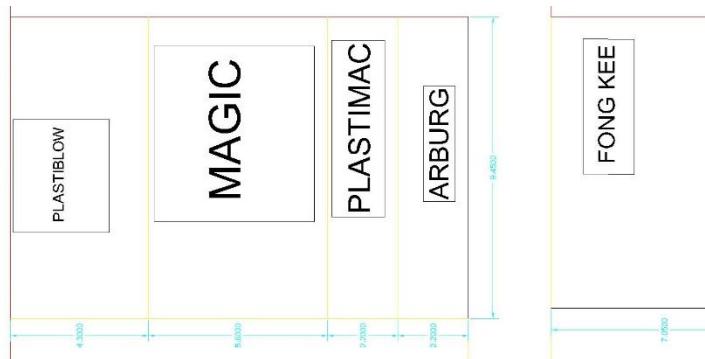
los moldes de soplado. Considera que debe de trabajarse un mantenimiento para prevenir estos acontecimientos que pueden afectar la productividad.

3.2.2.2. Paros en área sopladoras PE

Durante el periodo del año 2021, se recopiló toda la información pertinente para realizar el análisis de paro en la línea. Se establece que los tiempos de paro tienen similitud entre varias máquinas ya que cuenta con los mismo equipos y mecanismos para su operación.

En la siguiente figura se ilustra el área de sopladoras PE, se observa que el área está comprendida por 3 sopladoras PE. La denominación de cada sopladora es: Magic, Plastiblow y Fong Kee. En el presente análisis se encontraron 124 causas de paro, estas comprenden todas las máquinas dentro del área.

Figura 36.
Área de sopladoras PE



Nota. LayOut de área de inyectoras y sopladoras PE. Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

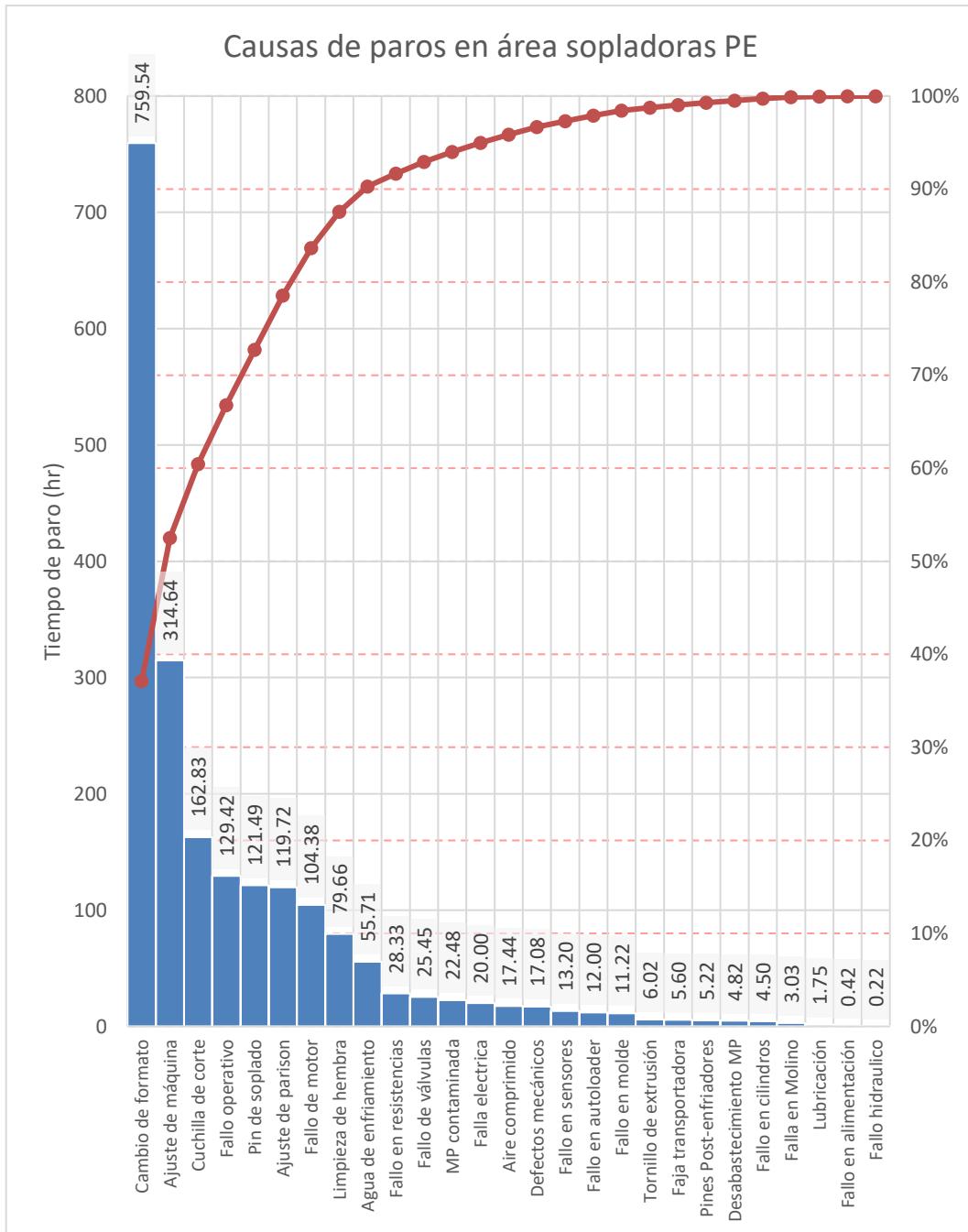
En la figura 37 indica que existen 6 causas de paro en la línea (cambio de formato, ajuste de máquina, cuchilla de corte, fallo operativo, pin de soplado y ajuste de parison) los cuales representan 1,607.64 horas de paro (4 horas y 24 minutos de paro diariamente).

Los resultados encontrados representan el 78.57 % de los defectos a analizar. Los tiempos de paro encontrados se clasifican de la siguiente manera:

- Paros no programados (paros operativos): ajuste de máquina, fallo operativo y ajuste de parison
- Mantenimiento correctivo: cuchilla de corte y pin de soplado
- Cambio de presentación: cambio de formato

Figura 37.

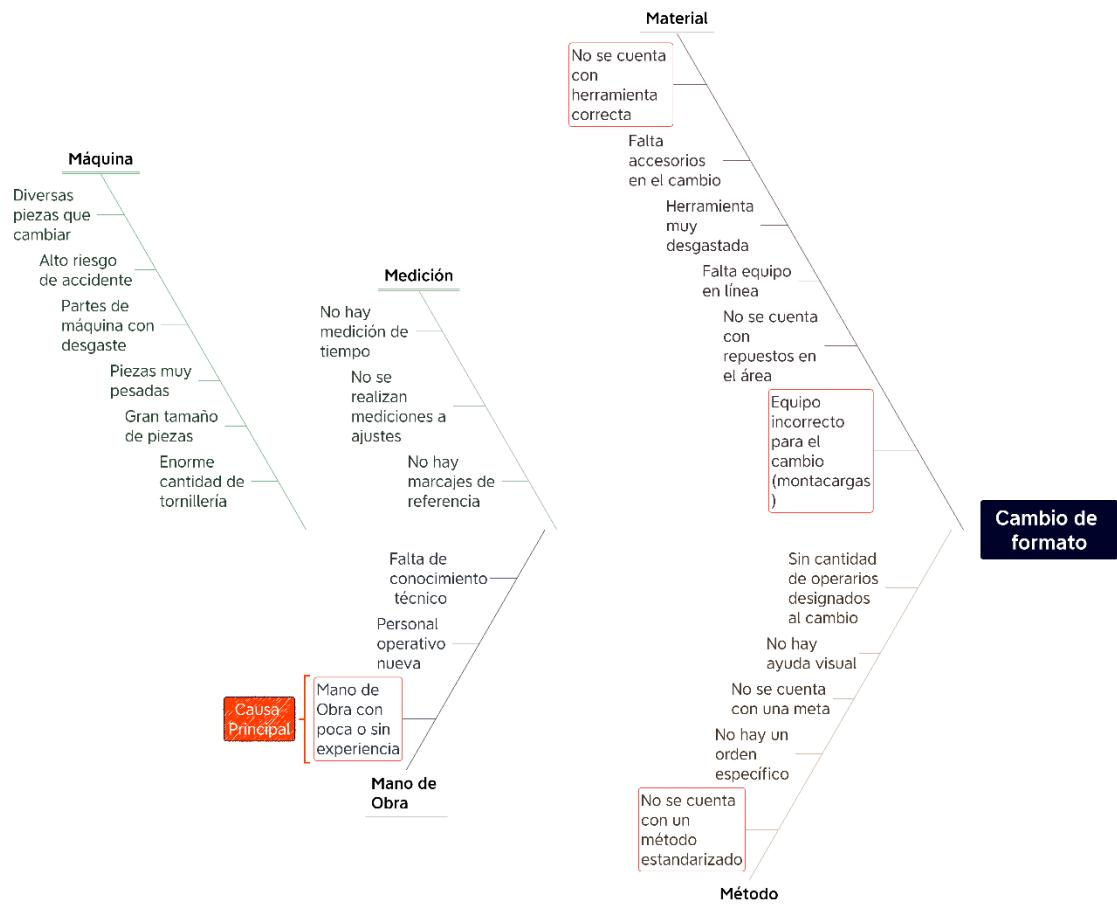
Gráfica Pareto de tiempo de paro en sopladoras PE



Nota. Pareto con causas de paro en sopladoras PE. Elaboración propia, realizado con Excel.

Figura 38.

Diagrama causa y efecto analizando el cambio de formato



Nota. Ishikawa con análisis de paro. Elaboración propia, realizado con XMIND.

En el análisis de la figura 38 se engloban todas las causas que suceden al momento que se debe de ajustar la máquina. Se encierra en un cuadro rojo la mayor causa de tiempo de paro, tal ejemplo se puede mencionar:

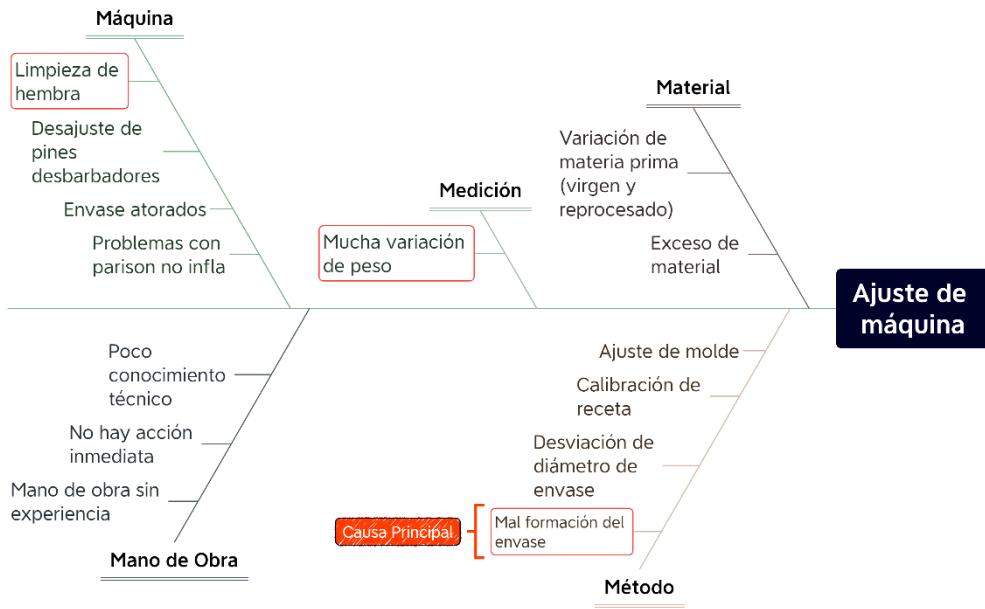
- Causa principal: mano de obra con poca o sin experiencia: para tratar esta causa se es necesario realizar una recopilación de todos los pasos que

son necesarios para realizar un cambio de formato en la máquina. Esto también incluye un inventario de la herramienta necesaria y repuestos que pueden ser empleados en el proceso.

- No se cuenta con herramienta correcta: posterior a que se cuente con un inventario de herramienta necesaria para el proceso, se debe de realizar una evaluación si dicha herramienta es la idónea para el proceso. En caso contrario, será necesario observar el proceso y determinar los herramientales necesarios para realizar eficientemente y con seguridad el proceso de cambio de formato.
- Equipo incorrecto para el cambio (montacargas): se determina a siempre vista que se es necesario un equipo conformado por un polipasto para realizar el proceso de izaje de moldes. Esto es para no depender totalmente del montacarga en planta.
- No se cuenta con un método estandarizado: para este paso se es necesario realizar un cronometraje del cambio de formato, anotar las actividades realizadas y los equipos o piezas utilizadas para el cambio.

Figura 39.

Diagrama causa y efecto analizando el ajuste de máquina



Nota. Ishikawa con análisis de paro. Elaboración propia, realizado con XMIND.

Utilizando la misma metodología anterior, se puede concluir lo siguiente con relación ajuste de máquina:

- Causa principal: mal formación del envase (104.04 horas, 1 paro/5 días): se es necesario en recopilar información de las recetas en que se utilizan para la fabricación de envases. También es necesario una revisión de las partes de la máquina para validar que los mecanismos y equipos se encuentren en buen estado para garantizar la estandarización del proceso.
- Mucha variación de peso (20.02 horas, 1 paro/25 días): realizar una estandarización del proceso para trabajar con los mismos parámetros en la máquina. Considerar la capacidad de variación que tenga la máquina

para establecer la variación de peso que ofrece cada uno de las sopladoras. Evaluar el desgaste de los componentes mecánicos y equipos utilizados para la fabricación de envases.

- Limpieza de hembra (70.97 horas, 1 paro/6 días): verificar los parámetros de operación y la frecuencia en que se realiza la limpieza de hembra. Revisar mecanismos o de extrusión y hembra para formación de parison.

Figura 40.

Diagrama causa y efecto analizando la cuchilla de corte



Nota. Ishikawa con análisis de paro. Elaboración propia, realizado con XMIND.

Utilizando la misma metodología anterior, se puede concluir lo siguiente con relación a cuchilla de corte:

- Causa principal: no se ajusta correctamente la cuchilla (47.33 horas, 1 paro/20 días): estandarizar el proceso de ajuste de cuchilla para contar con el mismo criterio entre los operarios de realizar este proceso. Analizar el estado de las piezas relacionadas con la cuchilla de corte, para garantizar el correcto funcionamiento de esta.
- Cuchilla con desgaste (34.25 horas, 1 paro/50 días): validar el material de la cuchilla que es empleado para el corte de parison, considerar propuestas de proveedores para garantizar la durabilidad y funcionalidad.

Figura 41.

Diagrama causa y efecto analizando fallo operativo



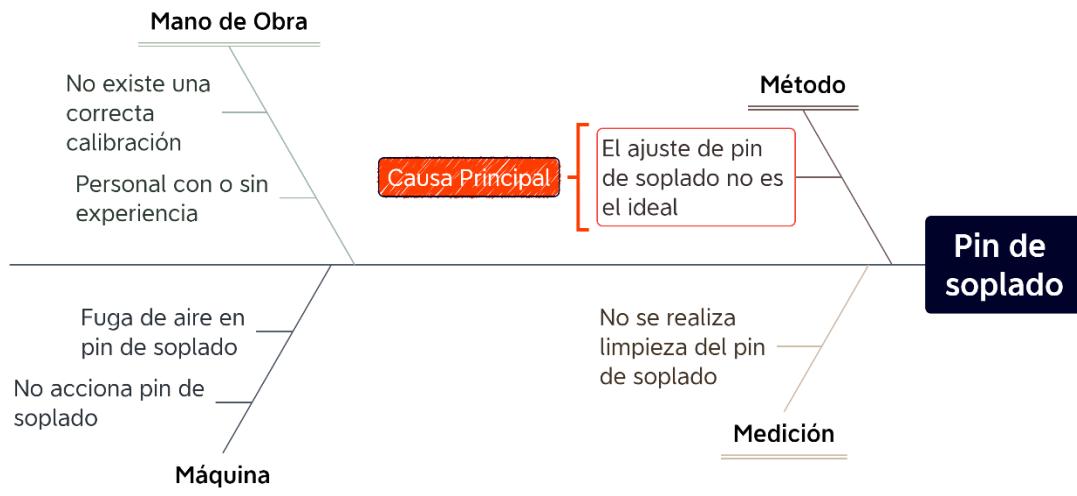
Nota. Ishikawa con análisis de paro. Elaboración propia, realizado con XMIND.

Utilizando la misma metodología anterior, se puede concluir lo siguiente con relación a fallo operativo:

- Causa principal: falta de personal (127.03 horas, 1 paro/14 días): establecer un plan en el caso que el personal operativo no pueda asistir a sus labores o no logre cubrir el puesto de trabajo en horarios de almuerzo.

Figura 42.

Diagrama causa y efecto analizando el pin de soplado



Nota. Ishikawa con análisis de paro. Elaboración propia, realizado con XMIND.

Utilizando la misma metodología anterior, se puede concluir lo siguiente con relación el pin de soplado:

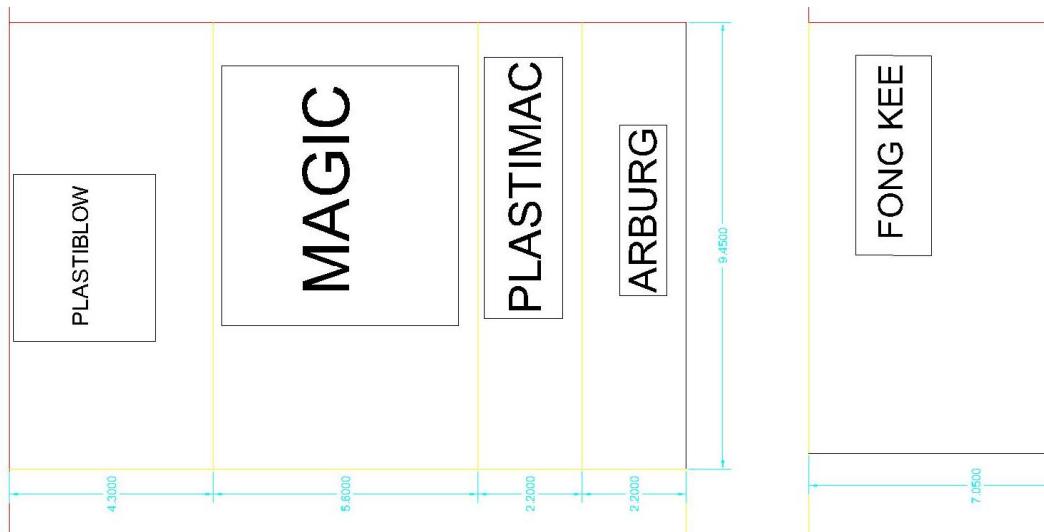
- Causa principal: el ajuste de pin de soplado no es el ideal (83.38 horas, 1 paro/10 días): se puede analizar el desgaste de las piezas que se encuentran en la máquina, validar que se cuente con todo el equipo y mecanismo en buen estado. Estandariza el proceso de ajuste en pines de soplado para asegurar la repetibilidad.

3.2.2.3. Paros en área inyectoras

Durante el periodo del año 2021, se recopiló toda la información pertinente para realizar el análisis de paro en la línea. Se establece que los tiempos de paro tienen similitud entre varias máquinas ya que cuenta con los mismo equipos y mecanismos para su operación.

En la siguiente figura se ilustra el área de inyectoras, se observa que el área está comprendida por 2 inyectoras. La denominación de cada inyectora es: Arburg y Plastimac. En el presente análisis se encontraron 73 causas de paro, estas comprenden todas las máquinas dentro del área.

Figura 43.
Área de inyectoras



Nota. Lay Out de área de inyectoras y sopladoras PE. Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

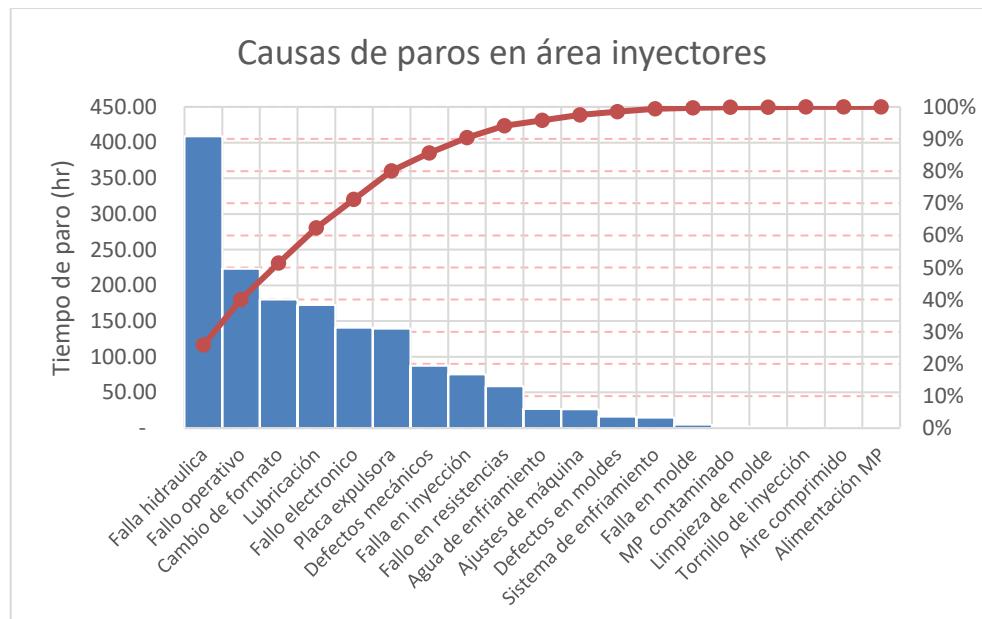
En la figura 29 indica que existen 6 causas de paro en la línea (falla hidráulica, fallo operativo, cambio de formato, lubricación, fallo electrónico y placa expulsora) los cuales representan 1,265.26 horas de paro (3 horas y 28 minutos de paro diariamente).

Los resultados encontrados representan el 80.10 % de los defectos a analizar. Los tiempos de paro encontrados se clasifican de la siguiente manera:

- Paros no programados (paros operativos): fallo operativo
- Mantenimiento correctivo: falla hidráulica, lubricación, fallo electrónico, placa expulsora
- Cambio de presentación: cambio de formato

Figura 44.

Gráfica Pareto de tiempos de paro en inyección



Nota. Pareto con causas de paro en inyectores. Elaboración propia, realizado con Excel.

Figura 45.

Diagrama causa y efecto analizando la falla hidráulica



Nota. Ishikawa con análisis de paro. Elaboración propia, realizado con XMIND.

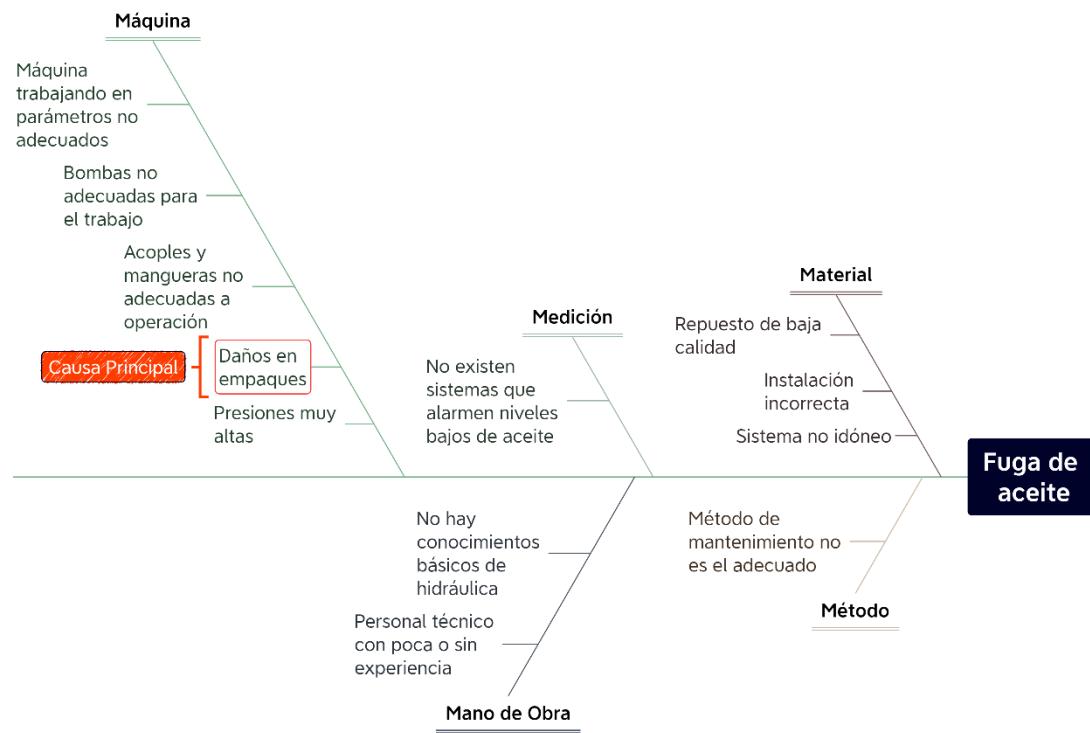
En el análisis de la figura 45 se engloban todas las causas que suceden al momento en que ocurre una falla hidráulica. Se encierra en un cuadro rojo la mayor causa de tiempo de paro, tal ejemplo se puede mencionar:

- Causa principal: presión hidráulica insuficiente (181.30 horas, 1 paro/20 días): revisión de conducto y acoplos hidráulicos, elaboración de programas de mantenimiento para disminución de tiempos de paro en las inyectoras por fallas hidráulicas. Considerar la capacitación al personal técnico sobre buenas prácticas para la manipulación y reparación del sistema hidráulico.
- Fuga de aceite (85.31 horas, 1 paro/33 días): revisión de conducto y acoplos hidráulicos, elaboración de programas de mantenimiento para

disminución de tiempos de paro en las inyectoras por fallas hidráulicas. Considerar si es adecuado el lubricante utilizado en las líneas hidráulicas.

Figura 46.

Diagrama causa y efecto analizando fuga de aceite



Nota. Ishikawa con análisis de paro. Elaboración propia, realizado con XMIND.

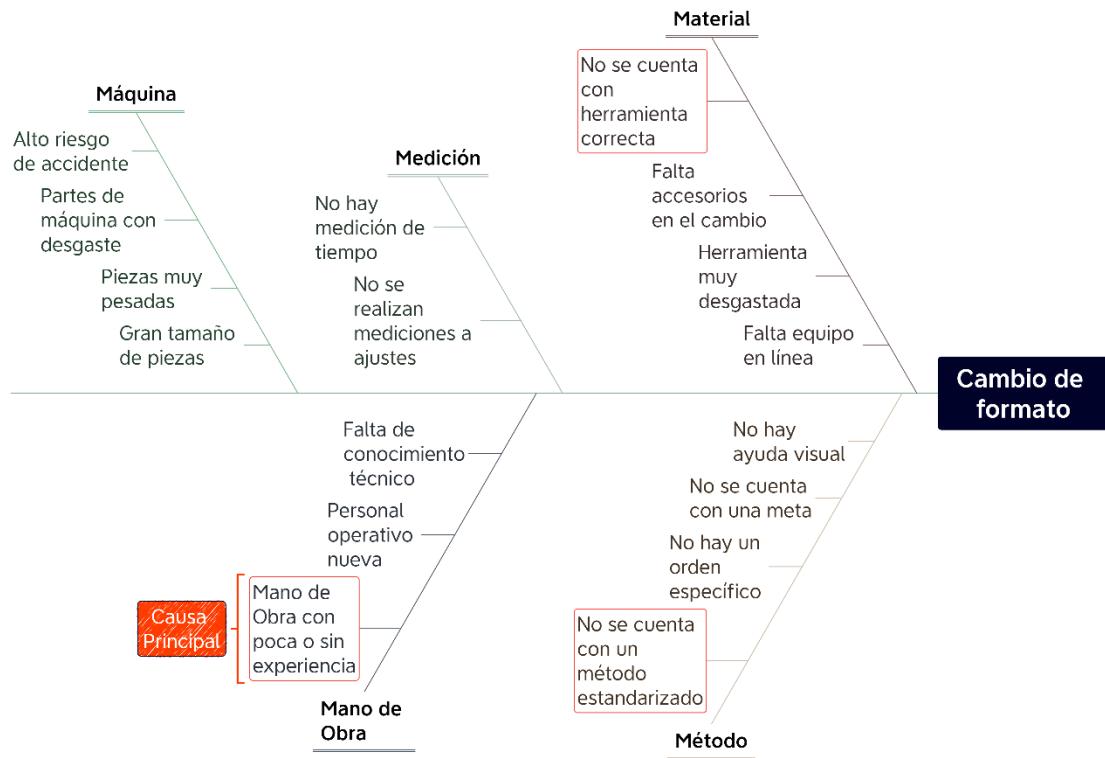
Utilizando la misma metodología anterior, se puede concluir lo siguiente con relación a las fugas de aceite:

- Causa principal: daño en empaques (172.68 horas, 1 paro/13 días): revisión de empaques de sellos y elaboración de programa de mantenimiento con pasos especificados para la revisión del sistema

hidráulico. Capacitación al personal técnico para trabajos con sistemas hidráulicos.

Figura 47.

Diagrama causa y efecto analizando cambio de formato



Nota. Ishikawa con análisis de paro. Elaboración propia, realizado con XMIND.

Utilizando la misma metodología anterior, se puede concluir lo siguiente con relación al cambio de formato:

- Causa principal: mano de obra con poca o sin experiencia: para tratar esta causa se es necesario realizar una recopilación de todos los pasos que

son necesarios para un cambio de formato en la máquina. Esto también incluye un inventario de la herramienta necesario.

- No se cuenta con herramienta correcta: posterior a que se cuente con un inventario de herramienta necesaria para el proceso, se debe de realizar una evaluación si dicha herramienta es la idónea para el proceso. En caso contrario, será necesario observar el proceso y determinar los herramientales necesarios para realizar eficientemente y con seguridad el proceso de cambio de formato.
- No se cuenta con un método estandarizado: para este paso se es necesario realizar un cronometraje del cambio de formato, anotar las actividades realizadas y los equipos o piezas utilizadas para el cambio.

Figura 48.

Diagrama causa y efecto analizando placa expulsora



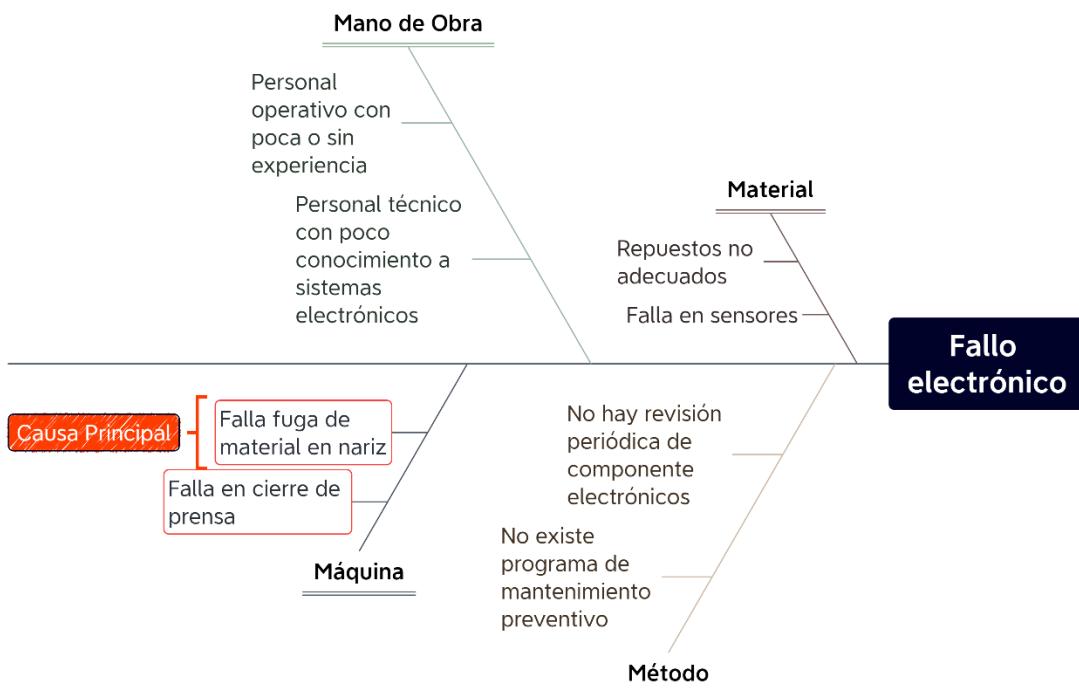
Nota. Ishikawa con análisis de paro. Elaboración propia, realizado con XMIND.

Utilizando la misma metodología anterior, se puede concluir lo siguiente con relación a la placa expulsora:

- Causa principal: circuito electrónico no se encuentra en condiciones óptimas (117.54 horas, 1 paro/20 días): realizar el levantamiento del circuito eléctrico y electrónico de la máquina para detectar puntos donde sean necesarios realizar mantenimientos y revisión a la máquina. Capacitar a los técnicos en mantenimiento sobre la lectura y comprensión de los diagramas electrónicos para su correcto manejo.

Figura 49.

Diagrama causa y efecto analizando fallo electrónico



Nota. Ishikawa con análisis de paro. Elaboración propia, realizado con XMIND.

Utilizando la misma metodología anterior, se puede concluir lo siguiente con relación al fallo electrónico:

- Causa principal: falla fuga de material en nariz (47.97 horas, 1 paro/14 días) y falla en cierre de prensa (45.08 horas, 1 paro/13 días): realizar el levantamiento del circuito eléctrico y electrónico de la máquina para detectar puntos donde sean necesarios realizar mantenimientos y revisión a la máquina. Capacitar a los técnicos en mantenimiento sobre la lectura y comprensión de los diagramas electrónicos para su correcto manejo.

3.2.3. Nivel de velocidad en las líneas

Para el presente estudio, se recopilo información de cada línea de producción (máquinas) y comparar su nivel de velocidad (eficacia). En la siguiente figura se observan las 3 área en estudio, visualizando el porcentaje de eficacia resultante (producción real vs. producción teórica).

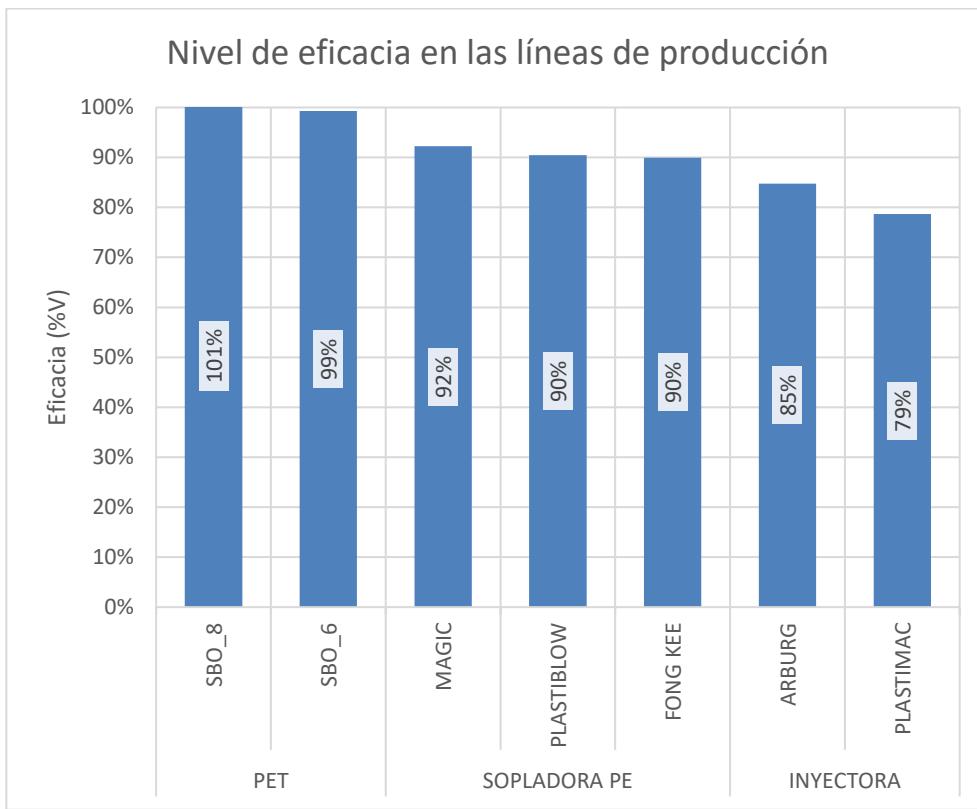
En un principio se puede observar que las líneas de producción en el área PET (SBO_8 y SBO_6) cuenta con una eficacia bastante alta. En la SBO_8 rebasa la capacidad con la cual se encuentra determinada (resultado del 100.50 %). La SBO_6 está a 0.72 % de eficacia debajo del 100 % (60 envases menos por hora), lo cual es un muy buen resultado. Para el presente estudio, se desestimarán el análisis en las líneas del área de soplado PET.

En el área de soplado PE (Magic, Plastiblow y Fong Kee) cuenta con un resultado distinto. La línea de producción menos eficaz es Fong Kee, para ello se realizará un análisis del por qué no cuenta con una eficacia del 100 %. El mismo análisis se realizará con el área de inyección (Arburg y Plastimac), los cuales

presentan con resultados aún menores que soplado PE. Siendo la Plastimac con el resultado menor en cuanto eficacia.

Figura 50.

Niveles de eficacia en las líneas de producción



Nota. Nivel de eficacia por línea. Elaboración propia, realizado con Excel.

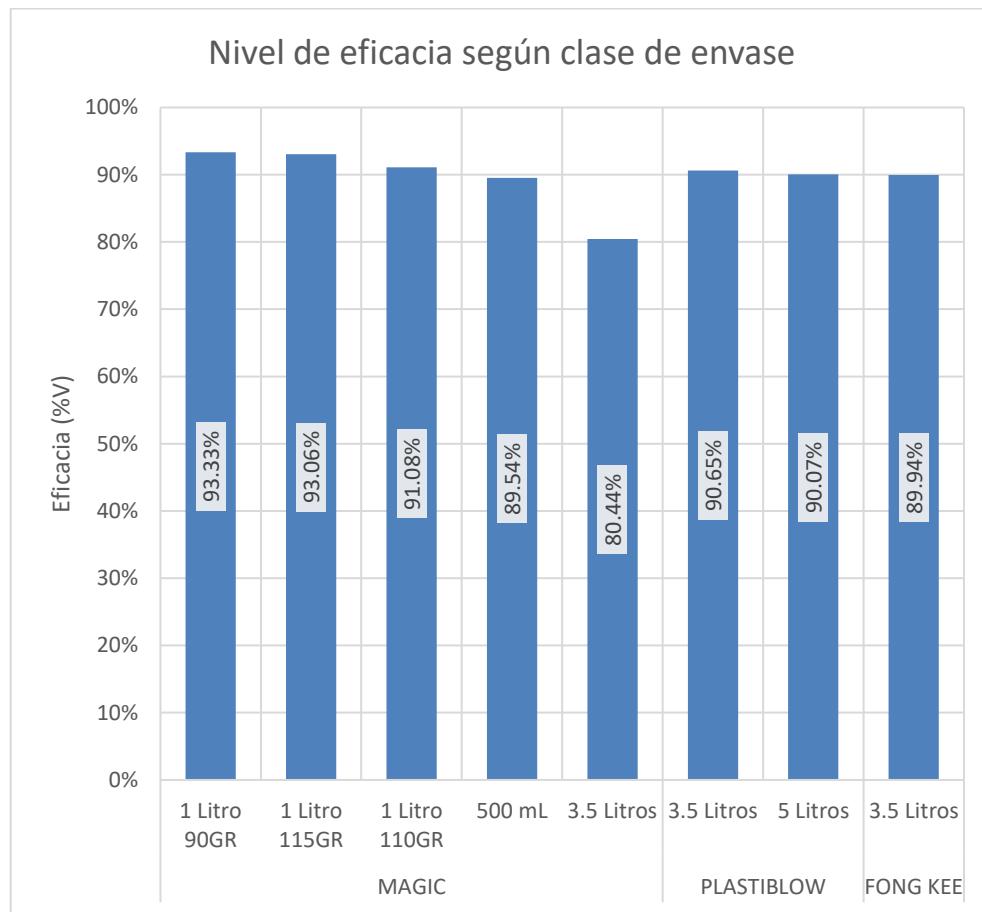
3.2.3.1. Eficacia en área sopladoras PE

En la siguiente figura se visualiza el nivel de eficacia según el tipo de producto que se esté fabricando en la línea de producción. Se visualiza que los

resultados de eficacia en cuanto a los envases 3.5 litros son los más bajos. Las causas de su baja eficacia serán estudiadas con un diagrama de causa y efecto.

Figura 51.

Eficacia según clase de envase y línea de producción



Nota. Nivel de eficacia según producto. Elaboración propia, realizado con Excel.

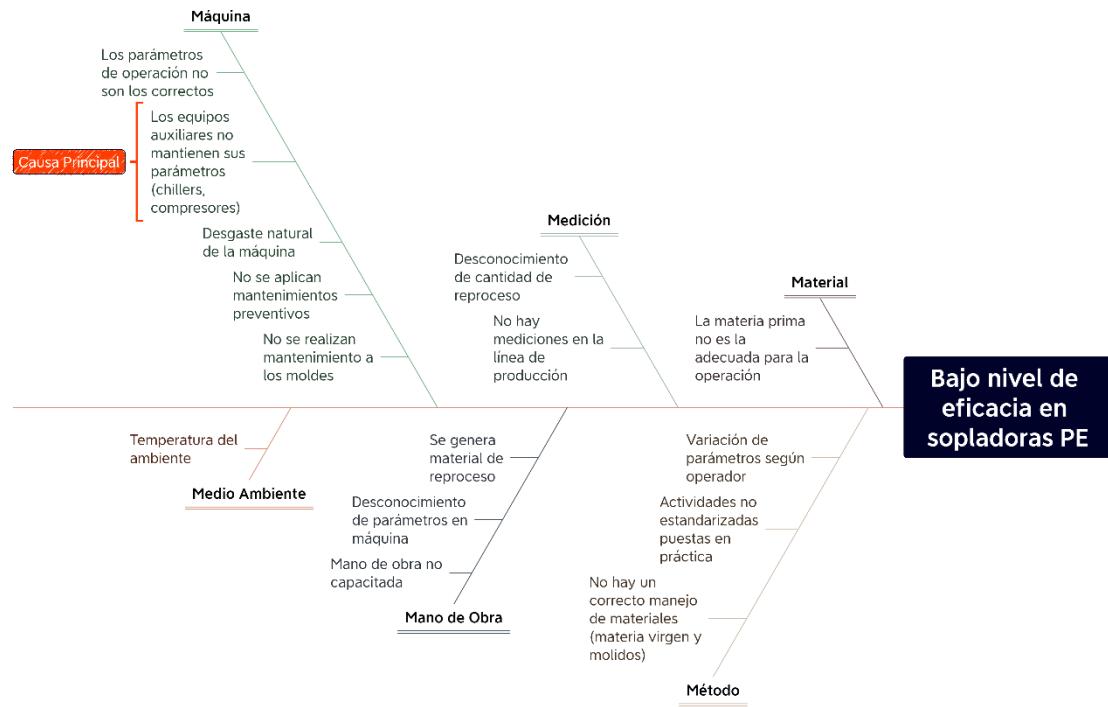
En la figura 37 se visualiza las diferentes causas por la que una máquina de soplado PE sufre de un bajo nivel de eficacia. De los cuales podemos ver en que la ramificación de máquina se encuentra concentrados varias causas. Se considera que la mayor parte de las causas se debe a un estado grave en la

máquina, la cual necesita de mantenimiento e inspecciones periódicas para su buen funcionamiento.

Se sospecha que en el caso de la presentación de 3.5 litros, existe una mayor complejidad para la máquina de fabricarlo debido a su mayor tamaño y forma más compleja que los envases de un litro. Esto esclarece que son importantes los ajustes en la máquina para garantizar una repetibilidad en la operación.

Figura 52.

Bajo nivel de eficacia en sopladora PE



Nota. Ishikawa con análisis de paro. Elaboración propia, realizado con XMIND.

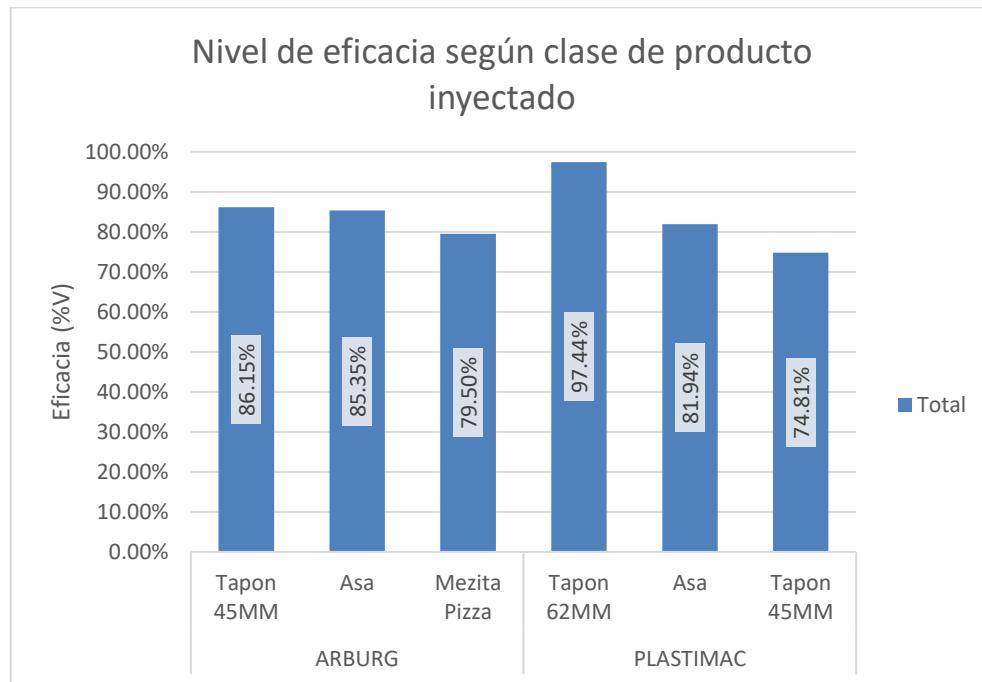
3.2.3.2. Eficacia en área inyectoras

Para el análisis de la eficacia en las inyectoras, se tomó el mismo análisis que el apartado anterior. Se demuestra una comparativa entre las distintas presentaciones que fabrican en las líneas de inyección. Se observa que el producto con menor eficacia es el tapón 45mm en la máquina Plastimac. Caso contrario ocurre en la máquina Arburg, en esta inyectora, el tapón 45mm es la que mayor eficacia cuenta la línea.

Este tema posiblemente se deba al estado de los moldes de inyección, estado de la máquina o parámetros de operación.

Figura 53.

Eficacia de producto inyectado y línea de producción

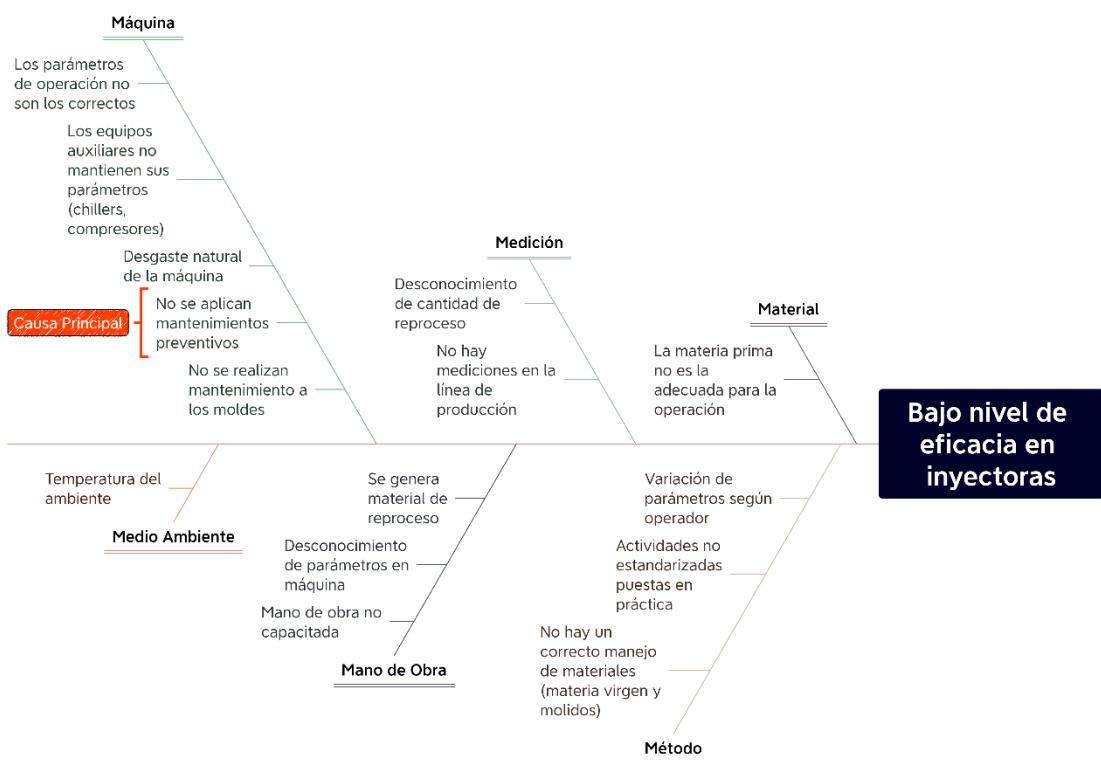


Nota. Nivel de eficacia según clase de producto. Elaboración propia, realizado con Excel.

En la figura 53 se visualiza las diferentes causas por la que una máquina de inyección sufre de un bajo nivel de eficacia. De los cuales podemos ver en que la ramificación de máquina se encuentra concentrados varias causas. Se considera que la mayor parte de las causas se debe a un estado grave en la máquina, la cual necesita de mantenimiento e inspecciones periódicas para su buen funcionamiento.

Figura 54.

Bajo nivel de eficacia en inyectoras



Nota. Ishikawa con análisis de paro. Elaboración propia, realizado con XMIND.

3.3. Indicadores productivos y financieros para medir el desempeño por líneas productivas

Como parte de los beneficios de la metodología, indica que la aplicación de herramientas de manufactura esbelta, aportan a la reducción de costos en operación y al aumento de productividad. Para ello, se toma en cuenta la formación y establecimiento de indicadores productivos (OEE) y financieros para medir los beneficios obtenidos.

3.3.1. Cálculo de la tarifa de producción

Para la parte del estudio financiero, se reúne información para generar la tarifa de producción. La tarifa de producción está comprendida por los gastos necesarios para mantener un proceso operativo en marcha. Esto no incluye las materias primas de las líneas.

Para su cálculo será necesario la obtención de información del presupuesto asignado en cada una de las cuentas contables de las líneas de producción, los gastos generados en un periodo de tiempo y el total de producción en unidades que se realizó en el mismo periodo.

Su cálculo está comprendido por la siguiente ecuación:

$$\text{Tarifa } (\$/\text{und}) = \frac{\text{cantidad monetaria}}{\text{producción en la línea}}$$

Figura 55.

Matriz para cálculo de tarifa según líneas de producción

Líneas	GASTO REAL USD	PRESUPUESTO USD	PRESUPUESTO PRODUCCIÓN	PROYECCIÓN PRODUCCIÓN	Tarifa Plan	TARIFA PROYECTADA	%TARIFA	% PRODUCCIÓN	CONSUMO GASTO
Inyección	\$136.39	\$53.29	764,732	817,034	\$0.000065	\$0.0002	239.55%	107%	239.55%
Inyección Arburg	\$34.59	\$24.04	334,700	206,086	\$0.000117	\$0.0001	233.62%	62%	233.62%
Inyección Plastimac	\$101.80	\$29.24	430,032	610,948	\$0.000048	\$0.0002	245.02%	142%	245.02%
Linea PET	\$190.42	\$27.64	89,700	1,415,914	\$0.000020	\$0.0021	43.65%	1578%	43.65%
Sopladora SB06	\$190.42	\$27.64	89,700	1,415,914	\$0.000020	\$0.0021	43.65%	1578%	43.65%
Soplado	\$151.07	\$92.55	541,144	431,245	\$0.000215	\$0.0003	204.82%	80%	204.82%
Magic	\$97.92	\$57.77	470,360	380,803	\$0.000152	\$0.0002	209.35%	81%	209.35%
Plastiblow	\$53.15	\$34.78	70,784	50,442	\$0.000690	\$0.0008	214.45%	71%	214.45%
Grand Total	\$492.34	\$173.48	1,395,576	2,664,193	\$0.000065	\$0.0004	148.66%	191%	148.66%

Nota. Matriz para tarifa de producción. Elaboración propia, realizado con Excel.

En la figura 55 se observa que se cuenta con los apartados de tarifa plan y tarifa real, esta comparación tiene lugar en % tarifa, lo cual indica la línea se encuentra fuera de la tarifa presupuestada. Este análisis es importante para la toma de decisiones con respecto a la cantidad de producción a realizar o los ahorros financieros necesarios.

Cabe resaltar que la matriz antes descrita no cuenta con datos reales debido a que se debe de contar con confidencialidad con los datos para protección de información de la empresa estudiada.

3.3.2. Utilidades aproximadas

En las utilidades aproximadas se excluye la materia prima en el alcance debido a que solo se tiene acceso a la información con la tarifa de producción. Se genera una matriz donde se obtienen las utilidades aproximadas generales para la unidad de negocio de empaques rígidos.

Tabla 6.*Matriz con utilidades aproximadas según áreas de producción*

MES	Inyección	Línea PET	Soplado	Grand Total
1	\$ 228.78	\$ 701.09	\$ 626.88	\$ 1,556.75
2	\$ 364.60	\$ 529.34	\$ 708.38	\$ 1,602.32
3	\$ 229.71	\$ 633.43	\$ 450.98	\$ 1,314.13
4	\$ 83.58	\$ 404.72	\$ 487.49	\$ 975.78
5	\$ 133.03	\$ 795.61	\$ 477.21	\$ 1,405.85
6	\$ 114.29	\$ 179.45	\$ 475.24	\$ 768.98
7	\$ 170.82	\$ 202.19	\$ 296.14	\$ 669.15
8	\$ 52.67	\$ 101.89	\$ 291.31	\$ 445.87
9	\$ 59.35	\$ 71.35	\$ 99.31	\$ 230.01
TOTAL	\$ 1,436.81	\$ 3,619.07	\$ 3,912.94	\$ 8,968.83

Nota. Matriz de utilizades. Elaboración propia, realizado con Excel.

Cabe resaltar que la matriz antes descrita no cuenta con datos reales debido a que se debe de contar con confidencialidad con los datos para protección de información de la empresa estudiada.

3.4. Diseño para la aplicación de manufactura esbelta

En el diseño de la aplicación de manufactura esbelta se utilizó la herramienta de VSM (*Value Stream Mapping*), esta herramienta da un enfoque general de toda la cadena de valor que cuenta la empresa. En el siguiente apartado se visualiza el VSM actual y un estado a futuro con la aplicación de herramientas.

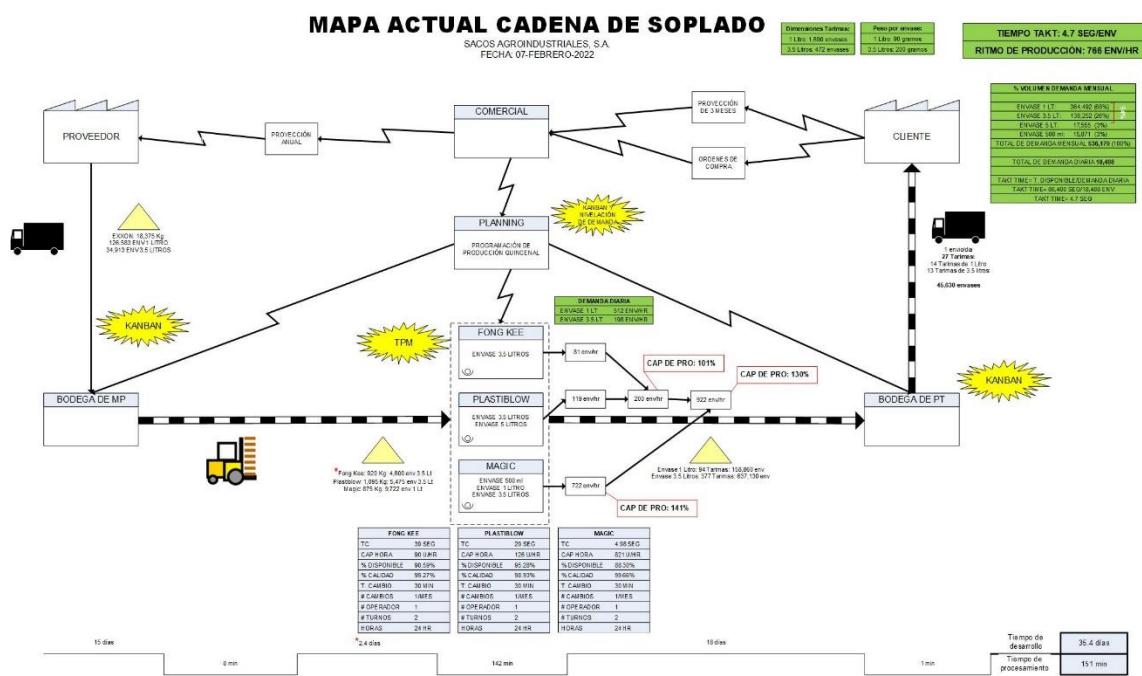
3.4.1. Elaboraciòn de VSM (Value Stream Mapping)

Para el análisis en el área de Soplado PE se observa toda la cadena de valor desde la recepción de materia prima, la transformación de la materia prima, el almacenaje del producto terminado y el despacho o distribución el producto terminado.

En la siguiente figura se observa la cadena de valor en el área de Soplado PE actual.

Figura 56.

VSM actual en cadena de valor soplado PE



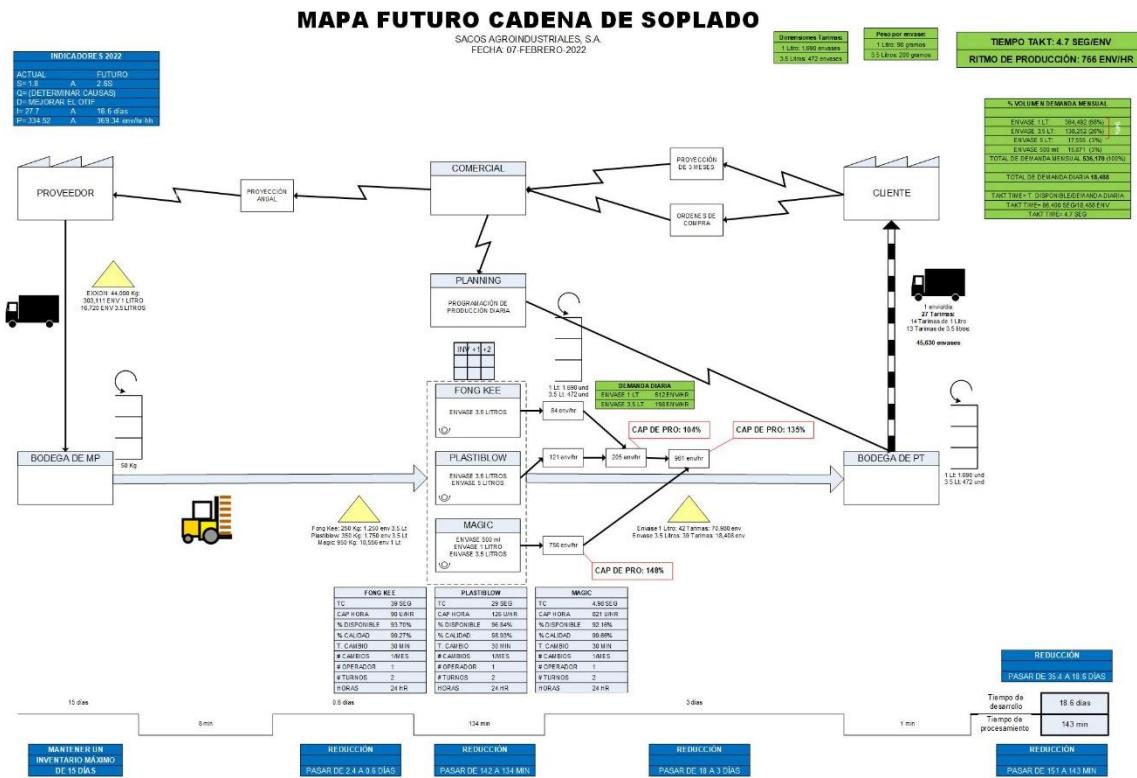
Nota. *Value Stream Mapping*. Elaboración propia, realizado con Visio.

Se visualiza en la figura 56 que las herramientas sugeridas a implementar en el área de producción de soplado PE son las siguientes:

- KANBAN: para llevar un control de inventario en cuanto a la materia prima, producto en proceso y en el almacenamiento del producto terminado.
- TPM: se visualiza oportunidad de mejora en cuanto a la eficacia de las máquinas. Se debe de contar con una herramienta que apoye al estado de las máquinas y cuide la calidad de los productos terminados.
- SMED: oportunidad de mejor en cuanto a los tiempos de cambio medido en las líneas de producción para el cambio de formato. Se sugiere realizar no solamente un evento, sino que deben de ser varios para mejorar continuamente y reducir los tiempos de cambio para beneficio en la flexibilidad de los cambios de modelo.

Figura 57.

VSM futuro en cadena de valor soplado PE

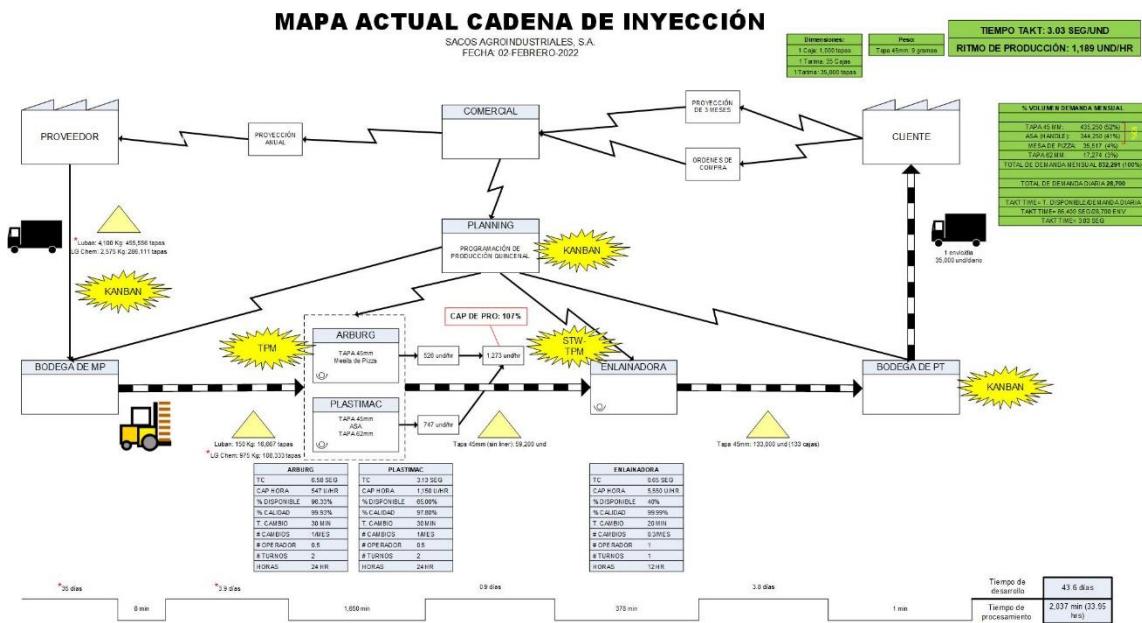


Nota. *Value Stream Mapping*. Elaboración propia, realizado con Visio.

En la figura anterior se observa el estado a futuro de las líneas de producción de sopladora PE. Se visualiza una un aumento en la eficacia de las líneas de producción, control de inventario en toda la cadena de valor y reducción del tiempo para el procesamiento y despacho de producto terminado.

Figura 58.

VSM actual en cadena de valor inyección



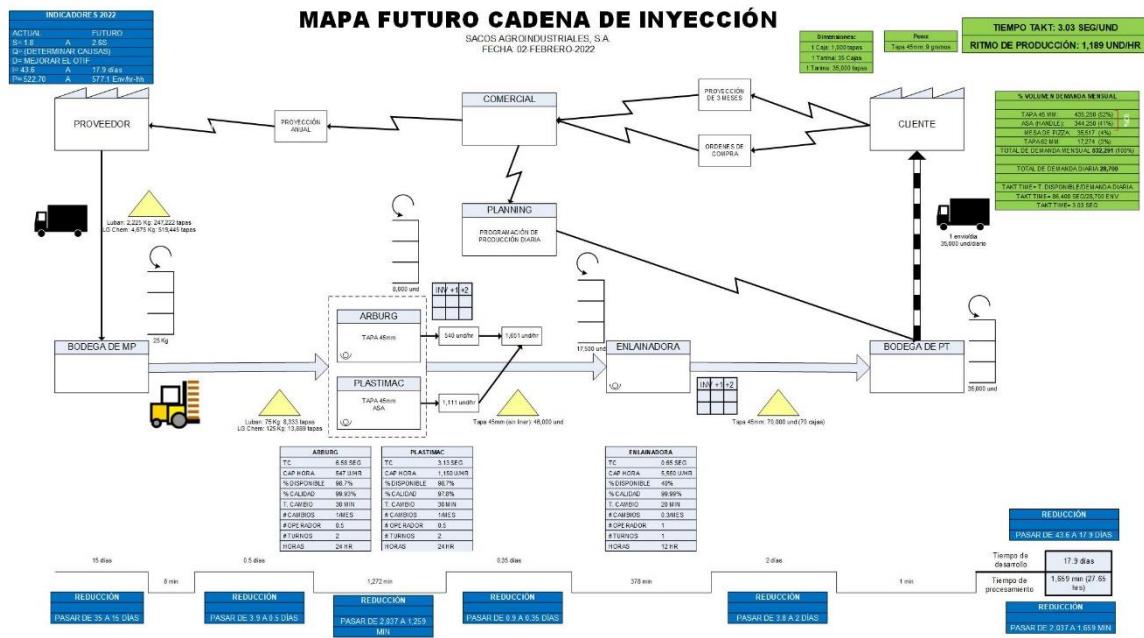
Nota. *Value Stream Mapping*. Elaboración propia, realizado con Visio.

Se visualiza en la figura 58 que las herramientas sugeridas a implementar en el área de producción de soplado PE son las siguientes:

- KANBAN: para llevar un control de inventario en cuanto a la materia prima, producto en proceso y en el almacenamiento del producto terminado.
 - TPM: se visualiza oportunidad de mejora en cuanto a la eficacia de las máquinas. Se debe de contar con una herramienta que apoye al estado de las máquinas y cuide la calidad de los productos terminados.

Figura 59.

VSM futuro en cadena de valor inyección



Nota. Value Stream Mapping. Elaboración propia, realizado con Visio.

En la figura anterior se observa el estado a futuro de las líneas de producción de sopladora PE. Se visualiza una un aumento en la eficacia de las líneas de producción, control de inventario en toda la cadena de valor y reducción del tiempo para el procesamiento y despacho de producto terminado.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El presente capítulo utilizará como base los resultados descritos dentro del capítulo 3, tanto los análisis estadísticos, como los análisis de causa y efecto por cada problema o deficiencia encontrada en el área.

Se realizará un análisis interno en donde enfocará los resultados obtenido y como estos son representativos para la organización donde fue realizado el estudio, comparándolo con otros indicadores que se manejen en la misma organización.

El análisis externo tendrá un enfoque fuera de la organización, determinando si los resultados obtenidos o la metodología usada es útil para otro tipo de organización o giro de negocio distinto.

4.1. Análisis interno

Los resultados recopilados para la presente investigación son confiables debido a que la recopilación de información ya se había implementado, en conjunto con la medición del OEE. Se realizaron mejoras para facilitar la clasificación de los problemas de las líneas de producción. En base a los primeros resultados, se realizaron visitas y entrevistas por validar las fallas encontradas en los registros de paros.

Se elaboraron diversos diagramas de Ishikawa con ayuda del personal operativo, supervisores, jefatura de producción y mantenimiento. Todas las

propuestas mencionadas por el personal entrevistado se analizaron con la herramienta de manufactura esbelta que mejor encajaba.

La información recolectada fue por ayuda de los operarios en línea, quienes registraban los paros de máquina generados en el área; en consiguiente los digitadores de planta, ingresaban la información a base de datos de Excel. La recopilación de información fue con ayuda de Excel (tiempos de paro de máquina, niveles de producción y cantidad de merma) y con SAP (gastos reales cargados en el período de estudio).

Para el presente estudio no hubo limitaciones a la información, con excepción a los costos de materia prima.

Se cumplieron con los objetivos establecidos en el inicio del estudio, con la finalidad de definir una propuesta para implementación de herramientas de manufactura esbelta para el aumento de productividad.

Para el objetivo general, se realizó una propuesta de implementación de la metodología de manufactura esbelta. Esto se realizó con ayuda de una VSM (*Value Stream Mapping*) donde se visualizan las oportunidades de mejora en todas las líneas y que metodología puede ser aplicada.

Se realizó un diagnóstico en el nivel de productividad de las líneas, el cual se visualiza en la figura 9, donde se determinó que los mejores resultados eran las líneas PET. Esto se debe a su alta velocidad de producción (media de 8,400 und/hr) y la poca cantidad de mano de obra necesaria para su operación. En caso de las líneas de inyección cuenta con productividades media de 1,300 unidades/hr-hh, este resultado se debe a que las máquinas cuentan con un solo operario para ambas líneas. Esto genera un resultado favorable para la productividad.

En la figura 9, se visualiza el caso de sopladoras PE, cuentan con una productividad media del 117 a 550 envases por hora-hombre. Esto se debe a su bajo nivel de procesamiento (de acuerdo con la presentación a fabricar y la cantidad de operarios en la línea) y la cantidad de operarios en las líneas. Generalmente solo cuenta con un operario por línea.

En la figura 13, se evidencia que los factores que perjudican la productividad de las líneas se deben al tiempo disponible, eficacia de la línea y la cantidad de merma. El área que cuenta con un mayor OEE es en el área de sopladoras PET, en el área cuenta con una eficiencia y calidad muy alta (media mayor del 99.5 %) pero la disponibilidad de máquina no presenta un buen resultado (media del 88.5 %). El área con menor nivel de OEE es inyección, en el área cuenta con un resultado del 72.34 %, siendo la velocidad el factor que mayormente afecta el resultado (una media del 81.5 %). Se clasificó los tiempos de paro y las causas que afectaron la velocidad de producción, estas fueron analizadas para presentar un plan de acción.

Se desarrollaron e implementaron indicadores productivos y financieros para el cálculo de desempeño de las líneas. Para el indicador productivo se encuentra la medición de productividad y el indicador financiero se encuentra la tarifa de producción.

Para diseñar la aplicación de la aplicación de manufactura esbelta se encuentra los mapas VSM con el estado actual y el estado a futuro de la cadena de valor. En el mapa actual se visualizan los resultados actuales en las líneas de producción y se visualizan las oportunidades de mejora. En el mapa a futuro se observan los resultados esperados al momento de implementar y mantener las mejoras con las herramientas de manufactura esbelta.

4.2. Análisis externo

La aplicación de metodología de manufactura esbelta puede ser aplicado no solamente a la industria de manufactura de plástico. También en cualquier organización o empresa que desee aplicar manufactura esbelta para generar un ciclo de mejora continua con beneficios económicos.

Según indica Socconini (2008)

Una empresa Lean, esbelta o ágil, que quiera obtener el mejor beneficio dadas las condiciones cambiantes de un mundo globalizado debe ser capaz de adaptarse rápidamente a los cambios. Para ello debe recurrir a las herramientas idóneas de mejora, prevención, solución de problemas y administración disponibles, tener hábitos en la cultura y disponer de una administración congruente con liderazgo que motive el cambio y el autocrecimiento. (p. 11)

La propuesta se basó en el aumento de productividad por medio de las herramientas de manufactura esbelta, con ello también, a una reducción de los costos operativos de las líneas de producción. La información utilizada para basarse en la propuesta fue con ayuda a los niveles de producción de las líneas, tiempos de paro, merma generada y los costos operativos en el período de estudio. Para esto, fue indispensable la utilización del indicador de OEE el cual brinda un buen diagnóstico de la eficiencia en la línea de producción.

La propuesta es viable debido a que no es necesario una alta inversión, se es necesario el visualizar las líneas de producción y ordenar los procesos para

que pueda existir un flujo en todos los procesos para la transformación de materia prima en producto terminado.

La propuesta puede ser aplicada e implementarse en otras organizaciones según lo indica Socconini (2008), *lean manufacturing* (manufactura esbelta) “es el esfuerzo de incansable y continuo para crear empresas más efectivas, innovadoras y eficientes” (p. 11).

Las herramientas pueden ser empleadas en otra organización, con la salvedad en que no se puede implementar en el mismo orden que otra organización haya sido implementada las herramientas. Esto debido a que pueden existir empresas donde cuenta con deficiencias en áreas o procesos específicos, que en otra organización que cuenta con distintas deficiencias en sus resultados operativos.

CONCLUSIONES

1. Se determinó, con ayuda de un análisis de causa y efecto, la necesidad de aplicar metodología de manufactura esbelta en la cadena de valor. Se diseño la implementación de metodologías como TPM, SMED y KANBAN para aumentar la productividad de las áreas.
2. Luego de realizado el diagnóstico se determinó que las sopladoras PET cuentan con la mayor cantidad de productividad en la planta, esto se debe a que la velocidad de producción es alta en comparación con las demás áreas. Mientras que el área de inyectoras cuenta con una alta productividad debido a que sus moldes poseen diversas cavidades y no necesitan mayor atención humana para realizar su operación. Por el contrario, el área de soplado PE cuenta con una baja productividad (en comparación con las dos áreas antes descritas) esto debido a su velocidad de producción (lenta).
3. Posterior de haber realizado el trabajo de investigación, se visualizan los resultados generales de OEE en la planta de zona 11. Se determina que los factores que perjudican y reducen la productividad es la disponibilidad, eficacia de las máquinas, cantidad de merma generada y la cantidad de operadores en las diversas máquinas. Los factores predominantes antes la baja productividad se centra en la disponibilidad y eficacia de las líneas de producción.
4. Se desarrolló el indicador financiero el cual consiste en el cálculo de la tarifa de producción basado en los costos operativos de cada línea de

producción y relacionándolo con la cantidad de unidades producida en un periodo establecido (establecido como período mensual). Para el indicador productivo se basó en el cálculo de productividad-hora-hombre, este se encuentra calculado de acuerdo con una base de datos llamada TVC (en sus siglas: Tiempo, Velocidad y Calidad, el cual contienen los tiempos de paros, niveles de producción, cantidad de merma generada y cantidad de personal en la línea de producción.

5. Se diseñó la aplicación de manufactura esbelta con la ayuda de la herramienta VSM, el cual se visualiza la cadena de valor de los procesos productivos y se evidencian las oportunidades de aplicación basadas en el SMED, TPM y KANBAN. Se agregan controles estadísticos basados con datos históricos de productividad y capacidad de producción de las líneas para realizar un análisis de posibles variaciones en la cantidad de producción entregada.

RECOMENDACIONES

1. Para el área operativa, implementar primeramente la metodología de las 5's, debido a que esta metodología fortalece la disciplina y mejora continua en el área y procesos. Es importante que el personal acepte y coloque en práctica dicha metodología antes de implementar otra. Elaborar un cronograma, con una duración de un año para la implementación de las diversas metodologías. Considerar el recurso humano y financiero para cada implementación, capacitar al personal administrativo y operativo con relación de la implementación.
2. Para el área operativa, contar con un estándar en la velocidad y parámetros de producción por cada familia de productos a fabricar en sopladoras PE. Para estandarizar la velocidad de producción, considerar cálculos de velocidad en base al peso del envase y con ello, obtener un tiempo de ciclo. Realizar una comparación de costo beneficio en equipos que ayuden a reducir el tiempo de ciclo de las sopladora PE, para determinar si la inversión compensa el tiempo de ciclo resultante.
3. Para el área de mejora continua, analizar los tiempos de paro de las máquinas para determinar acciones correctivas que aportaran en la reducción o eliminación de tiempo de paro. Considerar la velocidad o el tiempo de ciclo de cada línea de producción y determinar si el parámetro es el idóneo para la operación, basado en la calidad del producto terminado. Evaluar la cantidad de operarios en las líneas de producción, determinar si la cantidad es la idónea para el cumplimiento de funciones y tareas asignadas. Tomar en cuenta los mantenimientos preventivos

que se realizan en la máquina para determinar si son los suficiente para un correcto desempeño de las máquinas.

4. Se recomienda a las jefaturas en planta de registrar todos los cargos o costos operativos en sus respectivas líneas de producción, tomar en cuenta que un desvió de información puede generar información falsa al momento del cálculo de tarifa de producción. Se recomienda al equipo de digitación de cargar la información del TVC a la línea de producción designada. Realizar revisiones con un periodo semanal para verificar que la información se encuentre registro correctamente.
5. Para el área de mejora continua, realizar el mismo diseño y análisis cada año para verificar los cambios se generen en la cadena de valor, con ello se determina si las herramientas empleadas fueron las correctas o deba de utilizarse otras metodologías para alcanzar el objetivo de aumentar la productividad de las líneas.

REFERENCIAS

- Aranibar, M. (2016). *Aplicación del Lean Manufacturing, para la mejora de la productividad en una empresa manufacturera* (tesis de maestría). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú.
- García, F. (2010). *Diseño de un molde de extrusión-soplado para botellas de polietileno de baja densidad* (tesis de maestría). Instituto Politécnico Nacional, México.
- Hernández, J. y Vizán, A. (2013). *Lean manufacturing. Conceptos, técnicas e implantación*. Madrid, España: Escuela de organización industrial.
- Pico, L. (2013). *Efectos de variables de proceso de extrusión soplado en las propiedades finales del polietileno de alta densidad* (tesis de maestría). Universidad de los Andes, Colombia.
- Prada, R. y J.C. Acosta-Prado (2017). *El molde en el proceso de inyección de plásticos para el logro de objetivos empresariales*. Dimensión Empresarial, 15(1), 157-168.
- Ponce, F. (2007). *Reconstrucción y semi-automatización de la máquina de inyección de plástico de laboratorio de ingeniería mecánica* (tesis de maestría). Universidad de las Américas Puebla, México.
- Rajadell M. & Sánchez J. (2010). *Lean manufacturing. La evidencia de una necesidad*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos.

Rodríguez, A. (2009). *Utilización de preformas de PET luego de sufrir un calentamiento accidental en la máquina de soplado* (tesis de maestría). Universidad Simón Bolívar, Colombia.

Sarg, J. (2019). *Montaje e instalación de línea sopladora de envases PET (Sidel SBO 10) en una empresa dedicada a fabricar botellas plásticas* (tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Socconini L. (2008). *Lean manufacturing paso a paso*. Barcelona, España: Norma.

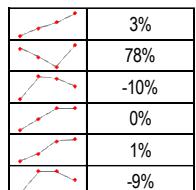
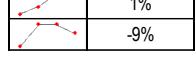
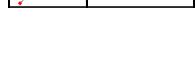
Soplado (febrero, 2012). *Boletín de Sidel a better match*, 1(1), 6-9.

Suasnavas, D. (2017). *Degradación de materiales plásticos “PET” (polyethylene terephthalate), como alternativa para su gestión* (tesis de maestría). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ecuador.

APÉNDICES

Apéndice 1.

Indicadores de productividad para el área de producción

INDICADOR	U/M	OBJETIVO	SEMANA		MES		AÑO		MEJORA
			REAL	%	REAL	%	REAL	%	
"P" - PRODUCTIVIDAD									
SBO_6	UN/HR-HOM	1,822.00	1,706.40	94%	1,614.99	89%	1,648.84	90%	 3%
ARBURG	UN/HR-HOM	781.00	659.39	84%	728.95	93%	706.82	91%	 78%
PLASTIMAC	UN/HR-HOM	1,727.00	1,402.88	81%	982.12	57%	1,444.13	84%	 -10%
MAGIC	UN/HR-HOM	684.00	586.76	86%	559.63	82%	530.12	78%	 0%
FONG KEE	UN/HR-HOM	75.00	65.73	88%	65.65	88%	61.49	82%	 1%
PLASTIBLOW	UN/HR-HOM	111.00	96.40	87%	89.86	81%	89.73	81%	 -9%

Nota. Cuadro de indicadores de productividad. Elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 2.

Ayuda visual para las velocidades de producción

MÁQUINA: PLASTIMAC		MÁQUINA: ARBURG	
PRODUCTO	PRODUCCIÓN X HORA	PRODUCTO	PRODUCCIÓN X HORA
TAPA 45MM	1330	TAPA 45MM	547
TAPA 62MM	555	MESITA DE PIZZA	595
ASA	1266		

MÁQUINA: MAGIC		MÁQUINA: FONG KEE	
PRODUCTO	PRODUCCIÓN X HORA	PRODUCTO	PRODUCCIÓN X HORA
1 LITRO 90 GR	821	3.5 LITROS	90
1 LITRO 110 GR	570		
1 LITRO 115 GR	499		
3.5 LITROS	253		

MÁQUINA: PLASTIBLOW	
PRODUCTO	PRODUCCIÓN X HORA
3.5 LITROS	126
5 LITROS	114

Nota. Listado de meta en unidades por hora. Elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 3.

Metas de productividad para las líneas

MÁQUINA: PLASTIMAC			MÁQUINA: ARBURG		
PRODUCTO	PRODUCCIÓN X HORA	UN. EQUIVALENTE	PRODUCTO	PRODUCCIÓN X HORA	UN. EQUIVALENTE
TAPE 45MM	1400	0.95	TAPE 45MM	576	1.00
TAPE 62MM	584	2.28	MESITA DE PIZZA	940	0.61
ASA	1333	1.00	CONO 15.3 GR	126	4.57
META CALIDAD	<= 3%		META CALIDAD	<= 2%	
PRODUCTIVIDAD	>= 1,727 ENV/HR-HOM		PRODUCTIVIDAD	>= 918 ENV/HR-HOM	

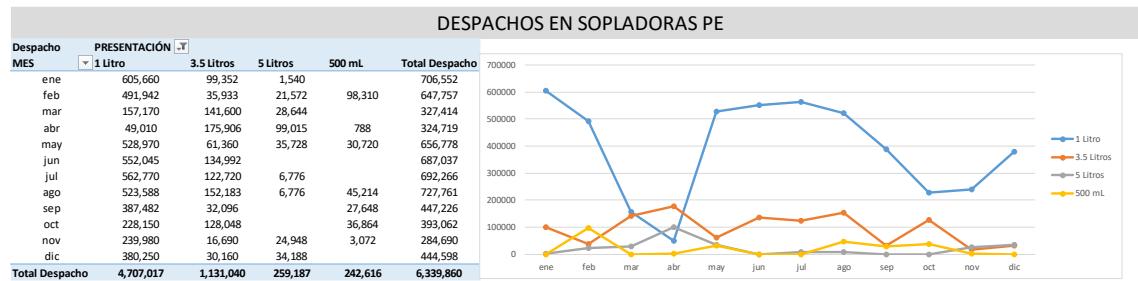
MÁQUINA: MAGIC			MÁQUINA: SBO 06		
PRODUCTO	PRODUCCIÓN X HORA	UN. EQUIVALENTE	PRODUCTO	PRODUCCIÓN X HORA	UN. EQUIVALENTE
500 mL	900	0.96	600 mL	8400	1.00
1 LITRO 90 GR	864	1.00	1.5 Litros	8400	1.00
1 LITRO 110 GR	696	1.24	2 Litros	8000	1.05
1 LITRO 115 GR	525	1.65	2.5 Litros	8000	1.05
3.5 LITROS	266	3.25	3 Litros	6500	1.29
META CALIDAD	<= 1%		META CALIDAD	<= 450 ENV/TURNO	
PRODUCTIVIDAD	>= 684 ENV/HR-HOM		PRODUCTIVIDAD	>= 1,822 ENV/HR-HOM	

MÁQUINA: PLASTIBLOW			MÁQUINA: SBO 08		
PRODUCTO	PRODUCCIÓN X HORA	UN. EQUIVALENTE	PRODUCTO	PRODUCCIÓN X HORA	UN. EQUIVALENTE
3.5 LITROS	133	1.00	GENERAL	11590	1
5 LITROS	120	1.11	META CALIDAD	<= 450 ENV/TURNO	
META CALIDAD	<= 5%		PRODUCTIVIDAD	>= 5,187 ENV/HR-HOM	
PRODUCTIVIDAD	>= 111 ENV/HR-HOM				

Nota. Matriz de metas de productividad. Elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 4.

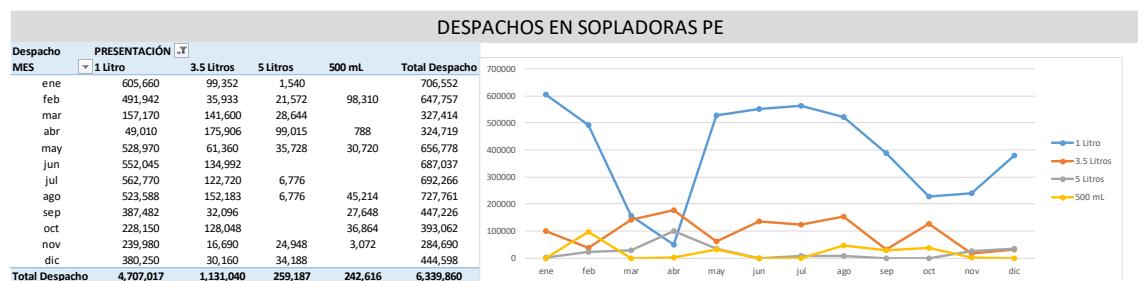
Cantidad de despacho de producto terminado en Soplado PE



Nota. Control de unidades despachadas en PE. Elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 5.

Cantidad de despacho de producto terminado en Inyección



Nota. Control de unidades despachadas en inyección. Elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 6.

Estaciones de trabajo según tipo de producto

ESTACIONES DE TRABAJO					ESTACIONES DE TRABAJO				
INYECCIÓN					INYECCIÓN				
FAMILIA DE PRODUCTOS					FAMILIA DE PRODUCTOS				
INJECTORA					INJECTORA				
EMPAQUETADO	ENLAZADORA	EMPAQUE			EMPAQUETADO	ENLAZADORA	EMPAQUE		TOTAL TIEMPO DE CICLO
Mesita de Pizza	X	X			Mesita de Pizza				
Tapa 38mm S/L*	X	X			Tapa 38mm S/L*				
Tapa 45mm C/L*	X	X	X	X	Tapa 45mm C/L*				
Tapa 62mm C/L	X	X	X	X	Tapa 62mm C/L				
Asa (Handle)	X	X			Asa (Handle)				

ESTACIONES DE TRABAJO					ESTACIONES DE TRABAJO				
SOPLADO					SOPLADO				
FAMILIA DE PRODUCTOS					FAMILIA DE PRODUCTOS				
ENTARIMADO					ENTARIMADO				
SOPLADORA					SOPLADORA				TOTAL TIEMPO DE CICLO
ENVASE DE 1 LITRO	X	X			ENVASE DE 1 LITRO	X	X		
ENVASE DE 3.5 LITROS	X	X			ENVASE DE 3.5 LITROS	X	X		
ENVASE DE 5 LITROS	X	X			ENVASE DE 5 LITROS	X	X		
ENVASE DE 500 mL	X	X			ENVASE DE 500 mL	X	X		

Nota. Agrupación de familias de productos. Elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 7.

Cálculo de demanda de productos de inyección para VSM

VSM - INYECCIÓN

1. DEMANDA ANUAL

PRESENTACIÓN	DEMANDA ANUAL	% DEMANDA	% DEMANDA ACUMULADA
Tapa 45mm	5,223,000	52.3%	52.3%
Asa (Handle)	4,130,999	41.4%	93.7%
Mesita de Pizza	426,200	4.3%	97.9%
Tapa 62mm C/L	207,284	2.1%	100.0%
TOTAL DEMANDA	9,987,483		
DÍAS DISPONIBLES	350		
HRS. PRODUCTIVAS (HR)	24		
TIEMPO DISPONIBLE (HR)	8,400		
TIEMPO DISPONIBLE (SEG)	30,240,000		

Nota. Cálculos de demanda y disponibilidad en inyección. Elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 8.

Cálculo de tiempo takt para productos de inyección

2. TIEMPO TAKT

TIEMPO TAKT (SEG/UND)	3.03
RITMO DE PRODUCCIÓN (UND/SEG)	1,188.99

DEMANDA POR PRESENTACIÓN	DEMANDA POR HORA	DEMANDA DIARIA	DEMANDA MENSUAL
Tapa 45mm	622	14,923	435,250
Asa (Handle)	492	11,803	344,250
Mesita de Pizza	51	1,218	35,517
Tapa 62mm C/L	25	592	17,274
TOTAL DEMANDA	1,189	28,536	832,290

Nota. Cálculos de tiempo takt en inyección. Elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 9.

Cálculo de demanda de productos de soplado extrusión para VSM

VSM - SOPLADO

1. DEMANDA ANUAL

PRESENTACIÓN	DEMANDA ANUAL	% DEMANDA	% DEMANDA ACUMULADA
ENVASE DE 1 LITRO	4,303,700	68.0%	68.0%
ENVASE DE 3.5 LITROS	1,632,400	25.8%	93.8%
ENVASE DE 5 LITROS	207,284	3.3%	97.0%
ENVASE DE 500 mL	187,392	3.0%	100.0%
TOTAL DEMANDA	6,330,776		
 DÍAS DISPONIBLES	350		
HRS. PRODUCTIVAS (HR)	24		
TIEMPO DISPONIBLE (HR)	8,400		
TIEMPO DISPONIBLE (SEG)	30,240,000		

Nota. Cálculos de demanda y disponibilidad en PE. Elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 10.

Cálculo de tiempo takt para productos de soplado extrusión

VSM - SOPLADO

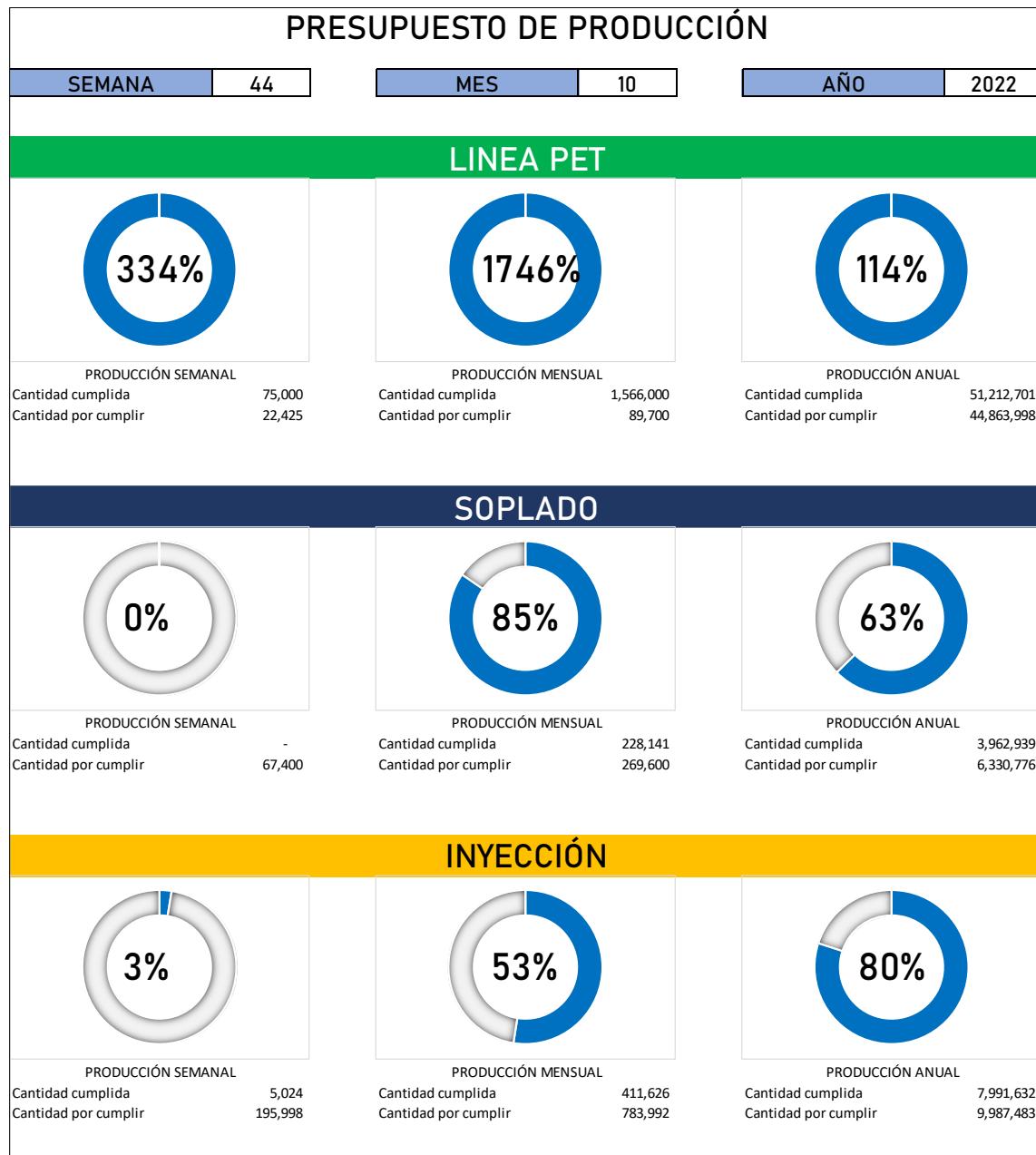
1. DEMANDA ANUAL

PRESENTACIÓN	DEMANDA ANUAL	% DEMANDA	% DEMANDA ACUMULADA
ENVASE DE 1 LITRO	4,303,700	68.0%	68.0%
ENVASE DE 3.5 LITROS	1,632,400	25.8%	93.8%
ENVASE DE 5 LITROS	207,284	3.3%	97.0%
ENVASE DE 500 mL	187,392	3.0%	100.0%
TOTAL DEMANDA	6,330,776		
 DÍAS DISPONIBLES	350		
HRS. PRODUCTIVAS (HR)	24		
TIEMPO DISPONIBLE (HR)	8,400		
TIEMPO DISPONIBLE (SEG)	30,240,000		

Nota. Cálculos de tiempo takt en PE. Elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 11.

Indicadores del presupuesto de producción para el cálculo de tarifa



Nota. Dashboard para cálculo de cumplimiento de tarifa de producción. Elaboración propia, realizado en Excel.

ANEXOS

Anexo 1.

Cálculo de tiempo de trabajo por estación

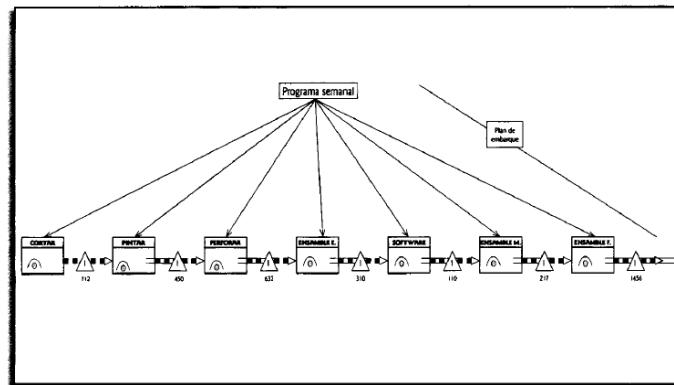
The diagram illustrates a family of products (FAMILIA DE PRODUCTOS) represented by a green trapezoid. Inside the trapezoid, five stations are listed vertically: INYECTORA, EMPAQUETADO, ENVASEADORA, EMPAQUE, and TOTAL TIEMPO DE CICLO. Below the trapezoid is a table with five columns corresponding to these stations. The table rows list product variants: Mesita de Pizza, Tapa 38mm S/L*, Tapa 45mm C/L*, Tapa 62mm C/L, and Asa (Handle). The first column is labeled 'Mesita de Pizza' and the last column is labeled 'TOTAL TIEMPO DE CICLO'.

FAMILIA DE PRODUCTOS	INYECTORA	EMPAQUETADO	ENVASEADORA	EMPAQUE	TOTAL TIEMPO DE CICLO
Mesita de Pizza					
Tapa 38mm S/L*					
Tapa 45mm C/L*					
Tapa 62mm C/L					
Asa (Handle)					

Nota. Familia de productos, Obtenido de L. Socconini (2008). *Lean manufacturing paso a paso.* (p. 111.) Norma

Anexo 2.

Formato para el diagrama de flujo de valor

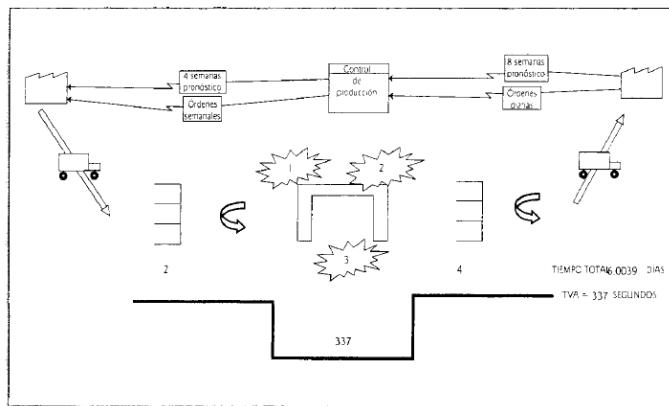


Nota. Construcción de VSM, Obtenido de L. Socconini (2008). *Lean manufacturing paso a paso*.

(p. 117.) Norma

Anexo 3.

VSM futuro



Nota. Construcción de VSM, Obtenido de L. Socconini (2008). *Lean manufacturing paso a paso*.

(p. 118.) Norma

Anexo 4.

Registro del flujo de proceso

FLUJO DE PROCESO - INYECCIÓN

	PARAMETROS	BODEGA	EMPAQUE FINAL	ENLAINADO	EMPAQUE PROCESO	INYECCIÓN	MATERIA PRIMA
ENVASE 1 LITRO	T. CICLO						
	INVENTARIO						
	# CAMBIOS/SEMANA						
	T.C. CAMBIO MODELO						
	% DISPONIBILIDAD						
	% CALIDAD						
	# PERSONAS						
	# MÁQUINAS						
ENVASE 3,5 LITROS	T. CICLO						
	INVENTARIO						
	# CAMBIOS/SEMANA						
	T.C. CAMBIO MODELO						
	% DISPONIBILIDAD						
	% CALIDAD						
	# PERSONAS						
	# MÁQUINAS						

Nota. Construcción de VSM, Obtenido de L. Socconini (2008). *Lean manufacturing paso a paso.* (p. 112.) Norma