



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica 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**

**Milton Yordani Fuentes Castañón**

Asesorado por el M.A. Aníbal Armando Alvarado Racancoj

Guatemala, marzo 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

**MILTON YORDANI FUENTES CASTAÑÓN**  
ASESORADO POR M.A. ANÍBAL ARMANDO ALVARADO RACANCOJ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, MARZO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martinez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. 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	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Alberto Eulalio Hernández García
EXAMINADOR	Inga. Milbian Kattina Mendoza Méndez
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.



**Milton Yordani Fuentes Castañón**



**EEPFI-PP-0371-2022**

Guatemala, 14 de enero de 2022

**Director**  
**César Ernesto Urquizú Rodas**  
**Escuela Ingeniería Mecánica Industrial**  
**Presente.**

**Estimado Ing. Urquizú**


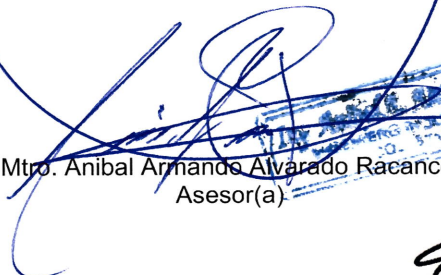
Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación 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**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Área de Operaciones - Optimización de operaciones y procesos**, presentado por el estudiante **Milton Yordani Fuentes Castañon** carné número **201404086**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Gestion Industrial.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado

Atentamente,

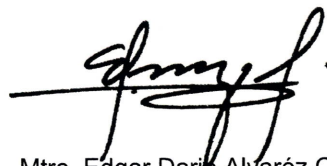
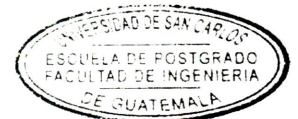
*"Id y Enseñad a Todos"*



Mtro. Anibal Armando Alvarado Racancoj  
Asesor(a)



Mtro. Carlos Humberto Aroche Sandoval  
Coordinador(a) de Maestría



Mtro. Edgar Darío Alvaréz Cotí  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería





EEP-EIMI-0371-2022

El Director de la Escuela Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado 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 el estudiante universitario **Milton Yordani Fuentes Castañon**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

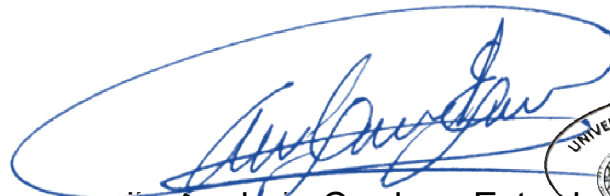
Ing. César Ernesto Urquizú Rodas  
Director  
Escuela Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, enero de 2022

LNG.DECANATO.OI.307.2023

La Decana 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 Ingeniería Mecánica Industrial, 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 **Milton Jordani Fuentes Castañón**, después de haber culminado las revisiones y firmas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabeia Cordova Estrada

Decana



Guatemala, marzo de 2023

AACE/gaoc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por permitirme cumplir este objetivo académico y las bendiciones que me ha brindado en mi vida.
- Mis padres** René Osbelí Fuentes Bautista y Yolanda Leticia Castañón Barrios, 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 incondicionales** Dayana Guerra, Aníbal Gómez y Obed Aldana, por las palabras de aliento y elogio hacia mi persona.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Ing. Andrés García</b>	Por permitirme realizar el presente trabajo de graduación bajo su mando, el apoyo y lecciones aprendidas que me inculcó.
<b>Ing. Aníbal Alvarado</b>	Por su asesoramiento y seguimiento en el presente trabajo de graduación.
<b>Ing. Josué Chanchavac</b>	Por el apoyo y las lecciones aprendidas que llevará a la práctica en mi ámbito laboral y profesional.
<b>Ing. Alejandro González</b>	Por la transmisión de sus conocimientos y consejos importantes para mi vida profesional y laboral.
<b>La Facultad de Ingeniería</b>	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 .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	11
3.1. Descripción del problema .....	11
3.2. Formulación del problema .....	12
3.2.1. Pregunta central .....	12
3.2.2. Preguntas de investigación.....	12
3.3. Delimitación de estudio.....	13
3.3.1. Límite temporal.....	13
3.3.2. Límite geográfico .....	13
3.3.3. Límite espacial.....	13
3.3.4. Límite institucional .....	13
3.4. Viabilidad de la investigación.....	14
3.5. Consecuencias al realizar la investigación .....	14
3.5.1. De realizarse.....	15
3.5.2. De no realizarse.....	15
4. JUSTIFICACIÓN .....	17

5.	OBJETIVOS.....	19
5.1.	General .....	19
5.2.	Específicos.....	19
6.	NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN .....	21
6.1.	Etapas de la investigación.....	21
6.1.1.	Fase uno: revisión documental.....	21
6.1.2.	Fase dos: diagnóstico .....	21
6.1.3.	Fase tres: definición de la estrategia .....	22
6.1.4.	Fase cuatro: definición de evaluación de desempeño.....	22
6.2.	Esquema de solución .....	22
7.	MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	25
7.1.	Manufactura de envases PET y PE .....	25
7.1.1.	Soplado PET .....	25
7.1.1.1.	Materia prima .....	25
7.1.1.2.	Flujo del proceso para soplado PET ....	26
7.1.2.	Extrusión soplado.....	28
7.1.2.1.	Materia prima .....	29
7.1.2.2.	Flujo del proceso .....	29
7.1.3.	Sopladoras PET .....	31
7.1.3.1.	Máquinas sopladoras .....	31
7.1.3.2.	Moldes de envases .....	32
7.1.4.	Extrusoras de soplado.....	32
7.1.4.1.	Máquinas extrusoras.....	32
7.1.4.2.	Moldes de envases .....	33
7.1.5.	Inyección .....	34
7.1.5.1.	Máquinas inyectoras .....	34

	7.1.5.2.	Moldes de productos .....	35
7.2.		Manufactura esbelta .....	35
	7.2.1.	Eventos <i>Kaizen</i> .....	36
		7.2.1.1. Las 5S para orden y limpieza .....	36
		7.2.1.2. Control visual.....	38
	7.2.2.	Herramienta para mejorar tiempo de entrega y capacidad .....	39
		7.2.2.1. Manufactura celular .....	39
		7.2.2.2. SMED .....	40
		7.2.2.3. TPM .....	42
	7.2.3.	Herramientas para control de materiales y de producción .....	44
		7.2.3.1. <i>Kanban</i> para control de materiales y producción .....	44
		7.2.3.2. <i>Heijunka</i> para la secuenciación de la producción .....	45
8.		PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO .....	47
9.		METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	51
	9.1.	Diseño .....	51
	9.2.	Enfoque .....	51
	9.3.	Tipo .....	52
	9.4.	Alcance.....	52
	9.5.	Variables e indicadores .....	52
	9.6.	Operativización de variables.....	54
	9.7.	Fases de la investigación .....	55
	9.8.	Población y muestra .....	56

10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....	59
11.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	61
11.1.	Recursos .....	61
11.1.1.	Recurso humano .....	61
11.1.2.	Recursos físicos .....	61
11.1.3.	Recursos financieros .....	62
12.	CRONOGRAMA .....	63
	REFERENCIAS .....	65
	APÉNDICES .....	67

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Fases de la investigación .....	23
2.	Cronograma de actividades .....	63

### TABLAS

I.	Pilares del mantenimiento .....	43
II.	Descripción de variables a estudiar .....	54
III.	Listado de recursos ..	62



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>\$</b>	Dólar
<b>Hr</b>	Horas
<b>PE</b>	Polietileno
<b>PET</b>	Tereftalato de polietileno
<b>UND</b>	Unidades





## GLOSARIO

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

<b>Productividad</b>	Relación entre la cantidad de productos obtenida por un sistema productivo y los recursos utilizados para obtener dicha producción.
<b>Tiempo takt</b>	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.
<b>Tiempos de ciclo</b>	Tiempo en el que un proceso se ejecuta, entendiendo este tiempo como el que produce aporte de valor; es decir, que genera transformación de la materia prima en producto acabado.

## **RESUMEN**

El propósito de la investigación es realizar un análisis para determinar las metodologías de manufactura esbelta, necesarias para ser aplicadas en la cadena de valor de una empresa. Tiene 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.

Para la recolección de datos se utilizarán los 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.

La investigación propone una metodología de manufactura esbelta, que será 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.



# 1. INTRODUCCIÓN

La manufactura esbelta proporciona un apoyo importante en las industrias, para generar un aporte positivo en su nivel de competitividad dentro del mercado. El mercado guatemalteco cuenta con numerosas empresas que manufacturan productos PET y polietileno, que compiten con costos de manufactura bajos. Para solucionar dicha problemática, se debe diseñar una sistematización de manufactura esbelta aplicado en los procesos productivos.

La importancia de la solución impacta en el aumento de utilidades para la empresa, al aplicar diversas metodologías que aportan valor al proceso y disminuyen o eliminan desperdicios dentro del proceso productivo. Esta solución, llamada manufactura esbelta, ya es un hecho que funciona en diversas empresas, sin importar su giro de negocio, y proporciona resultados sostenibles. La finalidad de la manufactura esbelta es el aumento y sostenibilidad en la productividad de las líneas (relación proporcional de entradas y salidas al proceso), estandarización de procesos, reducción o eliminación de tiempos muertos y diversos tipos de desperdicios, así como la reducción de inventarios (tanto en producto terminado, producto en proceso y materia prima).

A continuación, se describe cada uno de los capítulos que conforman este trabajo:

El capítulo dos presenta antecedentes de empresas que han implementado la metodología de manufactura esbelta y menciona los beneficios que se han obtenido posterior a su implementación. Se mencionan las ventajas

competitivas que logran identificar varios autores acerca de la implementación de manufactura esbelta.

El capítulo tres plantea a quiénes afecta la baja productividad de las líneas de producción.

En el capítulo cuatro se encuentra planteado el porqué es importante realizar el estudio de la baja productividad en las líneas y la implementación de manufactura esbelta.

En el capítulo cinco se describen los objetivos, con los cuales se conoce qué es lo que se espera alcanzar con el presente trabajo.

En el capítulo seis se presentan las necesidades que deben ser cubiertas y el esquema de solución propuesto para solucionar el problema de la baja productividad en las líneas de producción.

En el capítulo siete se define toda la teoría que sustenta el proyecto de investigación. El enfoque principal de la teoría se centra en las herramientas que conforma la metodología de manufactura esbelta y de envases rígidos.

En el capítulo ocho se presenta la propuesta de índice en la cual estará comprendido el trabajo de investigación.

En el capítulo nueve se define la perspectiva investigativa, indicando qué tipo de alcance tiene el trabajo. La perspectiva técnica muestra qué procedimientos se llevarán a cabo. La perspectiva de resultados muestra cuáles son los resultados esperados al final de la investigación. Se describen las variables a estudiar en el trabajo de investigación.

En el capítulo diez se explica cómo se validará las técnicas de análisis de datos, la recolección de datos y la interpretación que se le dará a los resultados.

En el capítulo once se evalúa si el proyecto es factible desde la perspectiva operativa, técnica y económica.

Finalmente, en el capítulo doce se presenta el calendario de trabajo para la elaboración del proyecto de investigación.





## 2. ANTECEDENTES

“El *Lean Manufacturing* o *Lean Thinking* es exactamente lo que el nombre indica: ‘cortar hasta el hueso’, eliminar completamente los procesos no productivos y simplificar las operaciones y organizaciones” (Fernández, 2014, p. 11).

Esta definición proporciona un enfoque y objetivo a la presente investigación, que da como directriz: la identificación de todos los procesos (ya sean productivos o administrativos) que no agreguen valor al producto final que es comercializado con el cliente final. Para la implementación de manufactura esbelta es necesario que exista una cultura, para realizar una búsqueda desmedida de los desperdicios que provoquen la baja productividad en los procesos.

La reducción de los tiempos de espera, los cuellos de botella y ciclo es todo lo que importa tanto a la empresa como al cliente. Cualquier variación en el tiempo para completar los procesos (o cada paso de un proceso) causa diferenciación y hay que encargarse de eso para asegurar la satisfacción del cliente. (Fernández, 2014)

Los objetivos de la manufactura esbelta están alineados a los objetivos empresariales, para su respectiva operación y estrategia de negocio. Este objetivo tiene que ver con el enfoque hacia el cliente. Por lo tanto, es necesario identificar, reducir y eliminar los tiempos de espera, cuellos de botella, ciclos de fabricación y desperdicios que provocan baja calidad.

Esta definición nos ayuda a entender que la manufactura esbelta también promueve una empresa versátil y moldeable para las necesidades de los distintos clientes.

Antes de iniciar un proceso de implantación de manufactura esbelta, es necesario cartografiar la situación actual, mostrando el flujo de material y de información. En su libro *Lean Thinking*, Womack y Jones explican que la cartografía persigue identificar todas las actividades que ocurren a lo largo de un flujo de valor para un producto o familia de productos. (Rajadell y Sánchez, 2010, p. 33)

El anterior párrafo nos aporta una importante directriz para los primeros pasos de la implementación de manufactura esbelta. Este consiste en hacer un mapa de flujo de valor para cada familia de producto, que se procese en cada línea de producción dentro de la planta.

Para el presente caso, es necesario el diseño de VSM (*Value Stream Mapping*), para conocer el mapa de valor en las etapas de fabricación del producto terminado (PET y polietileno).

“(…) Mostrar cómo se puede representar esquemáticamente cualquier proceso productivo, logístico o administrativo, de forma que permita una fácil identificación de las operaciones que aportan valor con respecto a las operaciones que serán consideradas mudas (...)” (Rajadell y Sánchez, 2010, p. 34).

El texto explica que, para la realización de VSM, se debe tener un enfoque para la identificación de procesos (tanto administrativos como

operativos) en donde no se obtienen valor alguno para la manufactura del producto terminado.

Un evento Kaizen es una cadena de acciones realizadas por equipos de trabajo cuyo objetivo es mejorar los resultados de los procesos existentes. Mediante estas acciones, los dueños de los procesos y los operadores pueden realizar mejoras significativas en su lugar de trabajo que se traducirán en beneficios de productividad (y, en consecuencia, de rentabilidad) para la empresa. (Socconini, 2019, p. 103)

Con la definición anterior de *Kaizen*, se enriquece la investigación para definir la estrategia para la implementación de manufactura esbelta. La detección de procesos que no agregan valor y la oportunidad de implementar mejoras que sean significativas a un bajo costo de inversión, para obtener un aumento en la productividad de la empresa, se denomina evento *Kaizen*.

Para esto es necesario definir a qué problemas o desperdicios se pretende atacar para reducir o eliminar su impacto en la baja productividad de los procesos productivos. La finalidad de *Kaizen* es que participen muchas personas, tanto personas operativas como administrativas (jefes y gerentes, entre otros).

Con el objetivo de alcanzar el cumplimiento de los principios de *Lean Manufacturing* se han desarrollado diferentes herramientas *Lean* orientadas a identificar, corregir y, optimizar el proceso de producción, entre las más conocidas se encuentran: Las 5's, *Just in Time* (Justo a Tiempo), Cambio rápido de molde (SMED), Control autónomo de los defectos: Jidoka, Control visual (Sistema Andon), Dispositivos para prevenir errores : Poka Yoke, Kaizen (Mejora continua), Sistema Kanban,

Estandarización de las operaciones, Mantenimiento Productivo Total (TPM), Mapa de la Cadena de valor (VSM). (Vásquez, 2013, p. 57)

En el apartado anterior, la manufactura esbelta cuenta con varias herramientas que garantizan reducir los desperdicios que ocurren en la cadena de valor (VSM) y, con ello, hacer más versátil y rentable la operación. También se toma en cuenta que las herramientas a utilizar deben estar enfocadas a un proceso que agregue valor al producto y para el cliente.

Kaizen, como lo vimos anteriormente, es la utilización del recurso humano para el aprovechamiento de su creatividad, donde debe aportar para la reducción de desperdicios. Por lo tanto, es imperativamente necesario asociar a los colaboradores, supervisores y jefes de áreas, con los términos y herramientas que se pretenden usar; en qué beneficia para el análisis y aplicación de mejoras.

Por el simple hecho de trabajar con otras personas que no se encuentren asociadas con la metodología *lean*, puede surgir el inconveniente de resistencia al cambio. Ante estos problemas, debe de prevalecer el liderazgo del equipo, para convencer con hechos a los involucrados que se puede hacer las operaciones de una manera distinta.

La productividad implica la mejora del proceso productivo. La mejora significa una comparación favorable entre la cantidad de recursos utilizados y la cantidad de bienes y servicios producidos. Por ende, la productividad es un índice que relaciona lo producido por un sistema (salidas o producto) y los recursos utilizados para generarlo (entradas o insumos). (Carro, 2014, p. 105)

De esta referencia podemos evidenciar que la productividad está relacionada directamente con las entradas o insumos. Esto quiere decir que la metodología de manufactura esbelta busca el aumento de productividad y la implementación ideal, para obtener buenos resultados dentro de la planta de producción.

No queda excluida la necesidad de llevar un seguimiento muy cercano y en buscar soluciones innovadoras que agreguen valor al proceso productivo. La manufactura esbelta no se debe de imponer en las empresas, sino que se deben de volver acciones cotidianas para la búsqueda de mejoras en el proceso y reducción de desperdicios.



### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Los paros no programados generan baja productividad, en las líneas de producción para la fabricación PET y polipropileno. Esto también causa incumplimiento, en la demanda de los clientes potenciales.

#### **3.1. Descripción del problema**

La capacidad instalada en la planta es muy amplia (más de 13 millones de envases al mes), la cual está conformada por las líneas de producción PET y polietileno. Se cuenta con dos líneas de producción PET y cuatro 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, que consiste en 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, también, cumple con sus expectativas y necesidades. Esto implica que las líneas de producción deben contar con una versatilidad mayor que la actual, para producir los distintos productos que demanda el conjunto de clientes.



Además, en el ámbito financiero, los paros con tiempo muy prolongado elevan el costo unitario del producto se eleve, lo cual provoca que la operación sea menos rentable y la empresa sea poco competitiva en el mercado de manufactura PET y polipropileno.

### **3.2. Formulación del problema**

A partir de las necesidades planteadas y los antecedentes, se generan diversas preguntas.

#### **3.2.1. 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?

#### **3.2.2. Preguntas de investigación**

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

### **3.3. Delimitación de estudio**

El presente estudio se delimita de manera temporal, geográfico espacial e institucional.

#### **3.3.1. Límite temporal**

El estudio se desarrolla durante los meses comprendido entre los cursos de Seminario I y Seminario III, de mayo del 2021 a noviembre del 2022.

#### **3.3.2. Límite geográfico**

El estudio se efectuará en la Ciudad de Guatemala, República de Guatemala.

#### **3.3.3. Límite espacial**

La investigación se llevará a cabo en el Departamento de producción (líneas productivas), área donde se manufacturan los productos terminados PET y PE.

#### **3.3.4. Límite institucional**

La institución en la que se realizará la investigación es dentro de una planta dedicada a la manufactura de envases PET y polietileno, productos destinados para envasar productos alimenticios, químicos y agroquímicos.

### **3.4. Viabilidad de la investigación**

El presente proyecto cuenta con un alto grado de viabilidad en su ejecución, debido a que existen varios casos de éxitos en empresas que lograron implementar la metodología planteada (Nike, Kimberley-Clark, Caterpillar, Intel, Illinois Tool Works, Textron, Parker Hannifin, John Deere, Ford y Toyota) y que han obtenido el éxito y rentabilidad en sus operaciones.

Con esta investigación se busca generar una cultura en la planta de producción. Hacer que su personal se encuentre en sintonía con la mejora continua (*Kaizen*) de los procesos, calidad de producción, seguridad en el puesto de trabajo, reducción o eliminación de desperdicios, mantenimientos sostenibles en las líneas, entre otros.

Antes de obtener un plan de acción para la ejecución del proyecto, se pueden realizar mediciones en donde se pruebe que la manufactura esbelta logra aumentar la productividad y, en consecuencia, hay aumento en la producción y utilidades para la empresa.

En conclusión, es viable realizar la investigación, ya que se obtendrán utilidades al ejecutar una manufactura esbelta y aplicar las metodologías que buscan reducir los desperdicios a nivel de planta.

### **3.5. Consecuencias al realizar la investigación**

Se menciona las consecuencias de realizar y de no realizar la investigación

### **3.5.1. De realizarse**

Se presentan consecuencias favorables para la organización, tanto en el nivel de las líneas de producción como a nivel administrativo. Estas consecuencias están enfocadas en el nivel productivo de las líneas, aumento en la capacidad de producción de la planta, trabajos estandarizados, reducción en los tiempos de cambio de modelo para hacer más versátil la operación, y la implantación de una cultura de mejora continua con todos los operadores y personal administrativo.

### **3.5.2. De no realizarse**

Si no se realiza esta operación no habrá avances y no se obtendrán los mismos resultados o menores a los promediados, tanto a nivel de producción como en utilidades para la empresa. Al no implementar los resultados de la investigación dentro de planta, se corre el riesgo de aumentar la creencia de que no existen mejoras; que las operaciones se deben seguir ejecutando y haciendo de la misma manera.



## 4. JUSTIFICACIÓN

Este estudio se sitúa dentro de la línea de investigación de optimización de operaciones y procesos, en el área de operaciones de la Maestría en Gestión Industrial, de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Este se enfoca en el aumento de productividad en el área de producción, para la manufactura de envases PET y polietileno, mediante la aplicación de manufactura esbelta.

La necesidad de desarrollar y aplicar la investigación de manufactura esbelta es para aumentar la productividad en las líneas, lo cual conlleva a una mayor capacidad productiva en la planta, reducción en el costo unitario del producto terminado, mayor rentabilidad de operaciones para la empresa, mayor versatilidad en la producción de distintos productos, reducción de inventarios (materia prima, producto en proceso y producto terminado) y reducción de actividad o procesos que no agregan valor al producto terminado.

La importancia, el desarrollo y aplicación de manufactura esbelta radica en que el mercado, tanto nacional como internacional, es más competitivo. Esto nos indica que es necesario innovar y expandir operaciones, para tener elementos de diferenciación respecto de los demás competidores. Este sistema agrega valor a los procesos productivos y atrae nuevas oportunidades de negociaciones. Así mismo, se hace la mención de aumentar la rentabilidad de la empresa, lo cual aumenta la capacidad instalada de la empresa y generar nuevas oportunidades laborales para la sociedad guatemalteca.

El desarrollo de la presente investigación tiene como motivación el diseño de metodologías que no son tan usuales en las empresas guatemaltecas. El reto de la manufactura esbelta está en su implementación, debido a que se necesita no solamente la reducción de desperdicios, sino que también es necesario un cambio de cultura dentro de la organización. La manufactura esbelta debe estar orientada a realizar mejoras continuas.

Los beneficios consisten en aumentar la capacidad instalada de la planta, adquirir una mayor cantidad de clientes, mejorar el ambiente productivo de la empresa, el aumento de utilidades por medio de la reducción de inventario y un mayor flujo en los procesos productivos.

El resultado de la investigación tiene como beneficiarios a los operadores de planta: al efectuar mejoras en sus actividades diarias las hace más sencillas, disminuye la fatiga o pérdidas en tiempo, movimiento, traslado y cualquier otro desperdicio. Jefes de planta: hay mayor control de las líneas y procesos para mejora continua. Propietario de empresa: mayor rentabilidad de la empresa por medio de la reducción de desperdicios, incremento de la capacidad instalada de la planta y utilidades del ejercicio. Sociedad guatemalteca: una mayor expansión de operaciones y más oportunidades laborales para lanzar ofertas de contratación (tanto operativo como administrativo).

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. General**

Diseñar una propuesta para la 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.

### **5.2. Específicos**

- Realizar un diagnóstico del nivel de productividad en las líneas de producción.
- Determinar los factores que perjudican y reducen la productividad en las líneas de producción de envases PET y polietileno.
- Desarrollar indicadores productivos y financieros para medir el desempeño por líneas productivas.
- 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.





## **6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN**

### **6.1. Etapas de la investigación**

La investigación se desarrollará en cuatro fases:

#### **6.1.1. Fase uno: revisión documental**

Se hacen visitas a las líneas de producción y departamentos involucrados en la cadena de valor, así como revisión de documentación de procesos para la manufactura de envases PET y polietileno.

En un periodo de tres semanas se efectúan las capacitaciones con los jefes de áreas, departamentos y supervisores de líneas productivas. Durante el mismo periodo se toma información con base en datos históricos respecto de los niveles de producción, tiempos de paros y registros de mantenimiento en las líneas.

Para el siguiente periodo de dos semanas se busca conocer los procesos en planta e identificar las variables críticas, para la configuración y manipulación de máquinas y recetas para los diversos productos terminados.

#### **6.1.2. Fase dos: diagnóstico**

En un periodo de dos semanas se analizan los tiempos de paros no programados de la máquina; se busca la causa y el efecto de este paro de máquina. Así mismo, se compara el nivel de producción teórico y real para

obtener un dato en el rendimiento de líneas. Se analiza el nivel de calidad en la línea y clasificado por presentación de envase. Cabe destacar que este análisis debe ayudar a calcular el nivel de TVC (Tiempo, Velocidad, Calidad) y OEE (*Overall Equipment Effectiveness*).

### **6.1.3. Fase tres: definición de la estrategia**

Se elabora el *project charter* (carta de objetivo) para definir los pasos y objetivos de las mejoras continuas para el área o lugar de trabajo. Esta herramienta es implementada antes de ejecutar una evento o semana Kaizen.

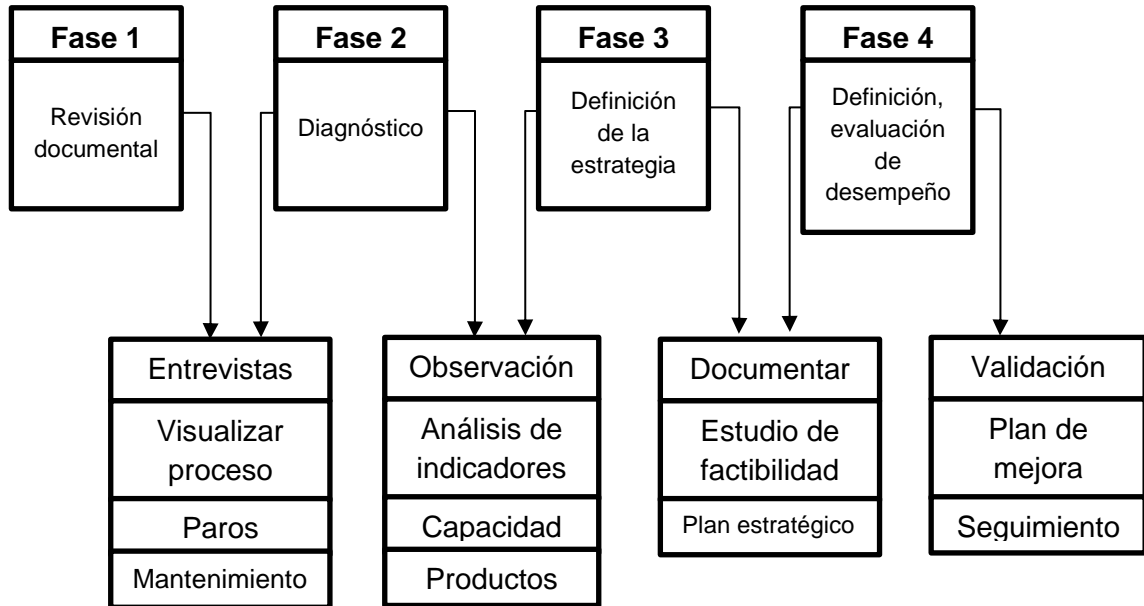
### **6.1.4. Fase cuatro: definición de evaluación de desempeño**

Definir los indicadores para controlar que se están cumpliendo las mejoras implementadas en el área, así como calendarizar las tareas pendientes para cumplir con el proyecto propuesto con enfoque de mejoras.

## **6.2. Esquema de solución**

Se presentan las fases para la ejecución de la investigación.

Figura 1. Fases de la investigación



Fuente: elaboración propia, realizado con Word.



## **7. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL**

### **7.1. Manufactura de envases PET y PE**

Explicación del procedimiento en el uso de materiales.

#### **7.1.1. Soplado PET**

El material tereftalato de polietileno, más conocido como PET (siglas en inglés de *polyethylene terephthalate*), es una combinación de materiales (ácido tereftálico y etilenglicol) unidos por medio de un proceso químico de cristalización que forman este tipo de polímero plástico.

Dicho material es muy utilizado en la industria alimenticia; es más común en la industria de envasado de bebidas carbonatadas y no carbonatadas. Este material es preferido en el mercado de envases debido a su bajo costo, liviano peso, alta resistencia a presión interna e impacto y baja permeabilidad a los gases. Por estas especificaciones, de un envase PET se puede obtener un material para envasar con una alta calidad y a un costo muy bajo, en comparación con otros materiales para envasado (vidrio, plásticos sintéticos, entre otros).

##### **7.1.1.1. Materia prima**

El PET se compone de dos grupos reactivos: etilenglicol (EG) y el tereftálico (TPA). Esta composición, por enlaces covalentes, forma los

polímeros que se denominan monómeros. Es el resultante de la reacción entre dos petroquímicos secundarios (elementos que derivan del petróleo).

Con base en su composición química, el PET posee la peculiaridad de 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. También posee una limitación, la cual consiste en que los materiales PET en general alcanzan a resistir hasta 71 °C. Esta cifra térmica no lo hace idóneo para contener material a muy alta temperatura.

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

#### **7.1.1.2. Flujo del proceso para soplado PET**

A grandes rasgos, se puede explicar que el flujo de proceso para el soplado de envases PET consta de recepción de materia prima, soplado de preforma, etiquetado de envase y paletizado de producto terminado.

A continuación, se describe de manera más extensa cada etapa en el flujo del proceso:

- Ingreso de materia prima: se ejecuta una recepción de materia prima, la cual es un material denominado preforma. 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 recibe el material en el área y es colocado en el volcador de la línea, el cual es el

encargado de descarga de las preformas de las jaulas a la línea de producción.

- Calentamiento de preformas: después que las preformas ingresan a la línea de producción, son transferidos a la rueda de carga de la sopladora para luego ingresar al horno, por medio de túnelas, que son las encargadas de sostener y circular las preformas dentro del horno. Dentro del horno se les irradia calor por medio de celdas dentro del horno de la sopladora. Estas celdas calientan el material a una temperatura mayor de 90 °C.
- Soplado de envase: después que a las preformas se les aplique la temperatura correcta, son trasladadas por medio de pinzas a los moldes de soplado. Estos movimientos deben ser sincronizados para que la sopladora pueda entregar 140 envases por minuto (dos envases por segundo). Al momento que las pinzas entregan la preforma a más de 90 °C dentro del molde de soplado, este se cierra de forma hermética y se le aplica una corriente de aire comprimido dentro del molde, a una presión mayor de 150 PSI. Dentro de estos moldes se encuentra la silueta y diseño final del envase; este diseño es hecho con base en las especificaciones del cliente.
- Etiquetado de envase: cuando el envase ya posee el diseño y volumen requerido por el cliente, este es expulsado de la sopladora hacia la etiquetadora. Por medio de carriles que empujan los envases con ventosas, son transportadas hasta la máquina etiquetadora, la cual es la encargada de colocar las etiquetas a cada uno de los envases. En este proceso se debe tener mucho cuidado con los detalles, para que la etiqueta sea cortada y pegada en el envase de manera correcta.



- Paletizado de producto terminado: luego de estos procesos en la línea de producción, se considera al envase como producto terminado. Pero se encuentra pendiente el proceso de paletizado. Los envases son transportados a la paletizadora, la cual tiene la función de ordenar los envases y colocarlos en la tarima. Sigue el proceso de flejado, donde el fleje es colocado en la tarima para seguridad durante el transporte. Por último, se envuelve la tarima completa con ayuda de *stretch film* (material plástico que envuelve y protege al producto terminado de contaminantes), el cual garantiza la inocuidad del producto terminado.
- Despacho de producto terminado: las tarimas con producto terminado son almacenadas en bodega, para posteriormente ser cargados en los camiones repartidores, con destino a los clientes finales.

### **7.1.2. Extrusión soplado**

El proceso de extrusión soplado consiste en un procedimiento y materiales completamente distintos en comparación con el proceso de soplado PET. En este tipo de manufactura de polímeros, la diferencia radica en que es necesario un flujo de material, moldes de diseños diversos y tiempos de ciclo más prolongados en comparación con el soplado PET.

Estos productos cuentan con características favorables para la manufactura de productos con formas intrincadas, bajos costos de producción, bajo peso, seguridad en el envasado o contención de materiales en su interior, y son de fácil reciclaje.

### **7.1.2.1. Materia prima**

Las materias primas que se utilizan para el proceso son resinas y *master batch* (resinas tipo pigmento). Estas resinas deben tener características favorables para el proceso de extrusión soplado, debido a que por variantes químicas y físicas pueden afectar la operación.

Las resinas idóneas para este proceso son las que tienen una viscosidad alta en estado fundido. También deben de contar con una resistencia ante la deformación, requerido para el proceso de formación de parison (resina en forma de manga). Este parison debe contar con una deformación mínima para no afectar el grosor de su material; que no existan riesgos de 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.

### **7.1.2.2. Flujo del proceso**

A grandes rasgos, se puede decir que el flujo de proceso para extrusión de soplado consta de recepción de materia prima, formación de parison, soplado del parison, enfriamiento del fundido formado y paletizado del producto terminado.

- Recepción de materia prima: se recibe la materia prima, la cual consiste en resina, *master batch* (colorante) y material molido de otras producciones. Estos materiales son mezclados según las necesidades y requerimientos del cliente, en donde puede variar el porcentaje de *master*

*batch* para definir la intensidad del colorante. También, como decisión interna, se hace uso del material molido. El molido es un material generado por las coladas o mermas rescatadas de las producciones pasadas. Posterior a la mezcla de los materiales, son transportados a la tolva, donde ingresan en el cañón del extrusor.

- Formación de parison: después de ingresar la resina dentro del cañón, esta se calienta por medio de resistencias eléctricas a una temperatura mayor de 200 °C. En este proceso es indispensable que la resina cuente con una buena fluidez para ser transportada al cabezal de la máquina. Cuando se encuentra el flujo en el proceso, es cuando se transporta hacia la boquilla y el mandril. El parison se forma cuando el flujo de material sale por medio de la boquilla y mandril, y se forma una película de material con forma de manga.
- Soplado de parison: cuando el parison cuenta con la altura programada en la máquina, el molde con ambas caras del envase se cierra para prensarlo en todos los extremos. Posterior al cierre de moldes, el pin de soplado baja hacia el molde e inyecta aire a alta presión, según la programación de equipo. En el momento que se inyecta aire, la manga de material se expande y entra en contacto con las paredes del molde, donde se encuentra a una temperatura de enfriamiento de por los menos 12 °C.
- Enfriamiento de envase: después del proceso de soplado, el envase reposa dentro del molde para ser enfriado por medio de las paredes del molde (dentro del molde se encuentra una red de circulación para agua refrigerante). Este tiempo de enfriamiento se debe determinar a través de un balance entre la productividad de la máquina y la calidad del envase

ante los problemas de cristalinidad, densidad, encogimiento y permeabilidad, entre otros defectos por un mal enfriamiento del material.

- Despacho de producto terminado: las tarimas con producto terminado son almacenadas en bodega, para posteriormente ser cargados a los camiones repartidores, con destino a los clientes finales.

### **7.1.3. Sopladoras PET**

Las sopladoras PET con que cuenta el lugar de esta investigación son marca SIDEL. Esta marca es francesa y se caracteriza por manejar un nivel de producción alto, para cumplir con las demandas del mercado de envases PET. Estas máquinas son automatizadas; el operador de la máquina debe introducir la receta para el tipo de envase y ejecutarla. Estas máquinas son tan veloces que es necesario efectuar un ajuste y una sincronización exacta, para que la máquina trabaje sin problemas y se obtengan productos de buena calidad.

#### **7.1.3.1. Máquinas sopladoras**

Las máquinas sopladoras cuentan con diversos sistemas, entre los cuales se pueden mencionar el sistema de transferencia de preforma, horno, oruga de túnelas, estaciones para portamoldes, moldes de estirado y soplado, sistema de enfriamiento y neumático.

En este 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 depositado la preforma, la cual sufre un estiramiento por medio de una varilla hasta llegar cerca del fondo del molde.

Cuando se encuentra estirada la preforma, se inyecta aire comprimido. Esta inyección de aire comprimido se divide en dos tipos: presoplado y soplado. La inyección de aire presoplado maneja una presión de 6 a 12 bares, el cual tiene como finalidad la expansión de la preforma hasta las paredes del molde. La inyección de aire de soplado maneja una presión de 40 bares, que tiene la finalidad de expandir aún más la preforma, para obtener con mayor definición los grabados que se encuentran en el molde.

#### **7.1.3.2. Moldes de envases**

Estos moldes son fabricados en bases de aluminio, debido a que el aluminio es un material de un costo competitivo en el mercado; es fácil de torneado o grabar diseños en él y la transferencia de temperatura es rápida y eficiente, para bajar la temperatura de los envases soplados en el proceso.

#### **7.1.4. Extrusoras de soplado**

Se hace una mención técnica y conceptual de los equipos empleados para realizar el proceso de extrusión soplado.

##### **7.1.4.1. Máquinas extrusoras**

Las máquinas extrusoras son equipos destinados para el procesamiento de polímeros, en donde se efectúan las etapas de calefacción del material, transporte de material fundido a cabezal de máquina, formación de parison, soplado de envases PE y enfriamiento de material.

Las máquinas extrusoras cuentan con resistencias en el cañón para calentar la materia prima; un tornillo sin fin, el cual tiene como funcionalidad

empujar el material fundido; y 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, que es el mezclado de resina virgen, *master batch* (colorante) 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 colocado dentro del cañón; al mismo tiempo se aplica calor para fundir el material. Dicho material pasa por medio del cabezal y finalmente sale por medio del macho y hembra de la máquina, que forma el parison.

Para lograr todo este proceso es necesario que la extrusora cuente con insumos y materias primas, por ejemplo:

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

#### **7.1.4.2. Moldes de envases**

Los moldes para las extrusoras de soplado cuentan con diseños diversos, según las necesidades y requerimiento del cliente. Por la naturaleza

de la materia prima, es posible que el producto terminado tenga diversos diseños.

Estos moldes son fabricados en base de 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 la boquilla y fondo para cortar las coladas sobrantes del proceso (material en exceso).

#### **7.1.5. Inyección**

Se hace una mención técnica y conceptual de los equipos empleados para realizar el proceso de inyección.

##### **7.1.5.1. Máquinas inyectoras**

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

Estas máquinas poseen los mismos equipos que las máquinas extrusoras, con la diferencia de que no tienen cabezal, hembra ni macho para formación de parison. Solo cuentan con una boquilla al final del cañón, el cual conecta con el molde para dar paso libre y hermético del material fundido dentro del molde.

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

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

#### **7.1.5.2. Moldes de productos**

Los moldes para las máquinas inyectoras de soplado contienen diseños diversos, según las necesidades y requerimiento del cliente. Por la naturaleza de la materia prima y el proceso, es posible que el producto terminado tenga diversos diseños.

Estos moldes son fabricados en base de acero 1045 (acero al carbono), con algunas aleaciones de aluminio para mejorar la transferencia de calor dentro de conductos refrigerantes. Es importante considerar tanto el sistema de enfriamiento como el diseño de la cuchilla para cortar las coladas sobrantes del proceso (material en exceso). Este material sobrante o colada es producido por los conductos donde se transporta el material hacia las cavidades.

#### **7.2. Manufactura esbelta**

La manufactura esbelta cuenta con distintas herramientas y conceptos que son necesario se entender y aplicarlo para la mejora continua de los procesos.



### **7.2.1. Eventos *Kaizen***

La palabra *Kaizen* proviene del idioma japonés que significa mejora continua, lo cual nos orienta a ver las tareas diarias de otra manera o pensar en que existe una mejor manera de hacerlas. Para ello, es necesario el ordenamiento de las tareas y distribución de responsabilidades dentro del área. Por medio de una cultura de mejora continua, se puede garantizar que todos los esfuerzos y cambios realizados traerán beneficios de productividad para la empresa.

El principal objetivo de los eventos *Kaizen* es la búsqueda frenética 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)

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

#### **7.2.1.1. Las 5S para orden y limpieza**

La metodología de las 5S surge porque en las áreas de trabajo no se cuentan con un ordenamiento y limpieza estándar, en donde el operador tenga

un ambiente laboral aceptable para desempeñar sus tareas diarias, así como desarrollar la disciplina dentro del área laboral.

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

Para aplicar las 5S en el puesto de trabajo es necesario seguir sus etapas, las cuales constan de:

- Seleccionar (Seiri): consiste en hacer un recorrido visual dentro del área para detectar materiales que no son necesarios en ese sector. Para esta implementación hay que buscar y rebuscar equipo y materiales que no sean indispensables en el área.
- Organizar (Seiton): habiendo expulsado los materiales innecesarios, se deben organizar los artículos en un lugar específico y delimitar su espacio. Es fundamental estudiar el flujo del proceso y buscar la mejor ubicación para materia prima, suministros y equipos, entre otros.
- Limpiar (Seiso): este paso básico se refiere a efectuar una limpieza profunda en el área y hacer mejoras en el sector, para evitar que se siga produciendo suciedad. El área más limpia no es la que más limpieza tiene, sino la que menos se ensucia.
- Estandarizar (Seiketsu): consiste básicamente en efectuar las actividades propuestas en los tres puntos anteriores, para cuidar el nivel de 5S y mejorarlas. Para este paso es necesario contar con procedimientos, prácticas y actividades estándar.

- Seguimiento (Shitsuke): la metodología de 5S se basa en crear una cultura y ser disciplinado con las mejoras propuestas e implementadas. Por ello, se debe dar seguimiento para que estos resultados puedan mantenerse y que se vuelvan un hábito.

Para la implementación de la metodología 5S hay que contar con la participación del personal administrativo, jefes de área y gerencia. De esta manera, se aumentará el entusiasmo para la ejecución del proyecto, y apoyar en los requerimientos del área para mejorar el nivel de 5S. Esta metodología aporta tanto para la organización como 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 y herramientas, entre otras labores.

#### **7.2.1.2. Control visual**

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

Para el control visual en el proceso o del área existen los siguientes tipos:

- Alarmas: son señales de aviso que proporcionan información cuando exista una emergencia.

- Lámparas y torretas: con base en cada uno de los colores en su torreta, se puede saber el estado actual de la máquina. Los colores más comunes o usados son: azul (problemas con materia prima), verde (operación normal), amarillo (en mantenimiento preventivo) y rojo (máquina parada).
- Kanban: indica el momento en que comienza o finaliza la producción de un pedido, con sus respectivas especificaciones y cantidades.
- Tableros de información: proporcionan información del ritmo de producción 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).

### **7.2.2. Herramienta para mejorar tiempo de entrega y capacidad**

Se realiza mención de las herramientas para mejorar los tiempos de entrega y capacidad en el proceso.

#### **7.2.2.1. Manufactura celular**

Esta metodología es aplicada en líneas de producción con un volumen bajo demanda, en el cual se debe manufacturar una diversidad de producto y

generar varios cambios de modelo o cambios de presentación en el producto terminado.

Lo que se busca en la manufactura celular es generar un flujo ininterrumpido del producto en proceso y el producto terminado. La metodología señala que se debe tener personal con habilidades para una sola tarea, en el cual se asegura que la tarea se ejecuta de forma correcta y con la calidad requerida en el proceso. Para ejecutar esta metodología es esencial aplicar las tareas que se mencionan más adelante, para asegurar un buen análisis y con base en esto, generar ideas para reducir tiempo *takt* (relación entre la cantidad de tiempo disponible y la demanda de un producto específico) y aumentar la productividad o flujo del proceso:

- Realizar un diagrama de *spaghetti*
- Dibujar el mapa de valor actual
- Hacer 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

#### **7.2.2.2. SMED**

La metodología SMED (siglas en inglés de *Single Minute Exchange of Die*) tiene la característica de realizar cambios de modelo en un solo dígito de minuto; en este caso, quiere decir en menos de diez minutos.

Esta metodología se basa en la observación, análisis de actividades, determinación de mudas e implementación de un nuevo método para el cambio

de modelo. Es primordial observar y grabar con un dispositivo móvil las actividades que se están ejecutando en el momento que se realiza el cambio.

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

Con base en este análisis se puede generar una lluvia de ideas, para hacer mejoras en el tiempo de cambio de presentación por medio de las siguientes opciones:

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

Luego de haber analizado y definido el plan de acción, se debe 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.

### **7.2.2.3. TPM**

Las diversas y actuales industrias cuentan con máquinas para generar grandes niveles de producción y productividad, en lugar de necesitar una gran cantidad de mano de obra para la manufactura de productos. Es aquí donde se tiene visualizada la metodología TPM (Total Productive Maintenance), que se refiere a un enfoque de mantenimiento, prevención de fallas y mejoras continuas en equipos.

Por ello es necesario involucrar a todo el personal de planta, para realizar tareas de mantenimiento en las líneas de producción. Esto lleva a que las tareas sean ejecutadas con mucha más agilidad y hace que los equipos se conserven en buena manera.

Las dificultades de esta metodología radican en la capacitación del personal de producción en los temas de mantenimiento y su involucramiento en las tareas asignadas. Esto se debe a que mucho del personal mantiene un pensamiento retrógrado, al creer que su labor principal solo consiste en operar la máquina.

La buena implementación implica 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%.

La metodología TPM cuenta con seis pilares que apoyan una mejor ejecución del mantenimiento, para obtener excelentes resultados en la productividad de la máquina:

- Mantenimiento autónomo

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

El enfoque de los pilares anteriormente mencionados es expuesto en la siguiente tabla:

Tabla I. **Pilares del mantenimiento**

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

Fuente: elaboración propia, realizado con Word.



### **7.2.3. Herramientas para control de materiales y de producción**

Se realiza mención de las herramientas para el control de materiales y de producción (material en proceso).

#### **7.2.3.1. *Kanban* para control de materiales y producción**

En el sistema de producción, *Kanban* funciona como un sistema del tipo *pull* (sistema de producción basado en pedidos). Esto quiere decir que se debe generar una acción al momento que se haga una notificación.

El sistema *Kanban* es similar a los sistemas de supermercado. Es decir, cuando se desabastece algún producto en la estantería, al mismo tiempo se genera una etiqueta o tarjeta que indica que es necesario el reabastecimiento del producto. Esto crea confiabilidad en el cliente al saber que se surtirá más del producto para ser entregado.

El mismo concepto se implementa en producción; para esta área se debe tener un control de todos los materiales para uso del proceso. Esto evitará errores en caso se mezclen los materiales, habrá reducción en los tiempos para buscar un material y se conocerán los niveles de inventario permisibles para evitar un desabastecimiento de material.

En el sistema *Kanban* se cuenta con los siguientes beneficios:

- Se evita sobreproducción
- Trabajo estandarizado enfocado en los inventarios

- Fabricación con base en pedidos del cliente (no por *stock*)
- Comparación de lo que se fabrica contra lo que el cliente pide.

#### **7.2.3.2. *Heijunka* para la secuenciación de la producción**

La metodología *Heijunka* consiste en la nivelación de producción con base en la demanda del cliente, para variar la carga de trabajo en los procesos de manufactura.

Los beneficios en la implementación de *Heijunka* son:

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



## 8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

### 1. MARCO TEÓRICO

#### 1.1. Manufactura de productos plásticos

##### 1.1.1. Soplado de envases polietileno de tereftalato

1.1.1.1. Materia prima PET

1.1.1.2. Flujo del proceso para soplado PET

1.1.1.3. Sopladoras PET

1.1.1.3.1. Máquinas sopladoras

1.1.1.3.2. Moldes de envases

##### 1.1.2. Extrusión soplado

1.1.2.1. Materia prima

1.1.2.2. Flujo del proceso

1.1.2.3. Extrusoras sopladoras

1.1.2.3.1. Máquinas extrusoras sopladoras

1.1.2.3.2. Moldes de envases

##### 1.1.3. Inyección

1.1.3.1. Materia prima

- 1.1.3.2. Flujo de proceso
    - 1.1.3.3. Inyectoras
      - 1.1.3.3.1. Máquinas inyectoras
      - 1.1.3.3.2. Moldes de inyección
  - 1.2. Manufactura esbelta
    - 1.2.1. Eventos *Kaizen*
      - 1.2.1.1. Las 5S para orden y limpieza
      - 1.2.1.2. Control visual
    - 1.2.2. Herramienta para mejorar tiempo de entrega y capacidad
      - 1.2.2.1. Manufactura celular
      - 1.2.2.2. Single minute exchange of die
    - 1.2.3. Herramienta para mejorar la efectividad de los equipos
      - 1.2.3.1. Mantenimiento productivo total
      - 1.2.3.2. Efectividad total de los equipos
    - 1.2.4. Herramientas para control de materiales y de producción
      - 1.2.4.1. *Kanban* para control de materiales y producción
      - 1.2.4.2. *Heijunka* para la secuenciación de la producción
    - 1.2.5. *Value Stream Mapping*
- 2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN
- 3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS
  - 3.1. Diagnóstico del nivel de productividad
    - 3.1.1. Líneas de producción

- 3.1.2. Familias de productos
- 3.1.3. Cadencia de las familias de productos
- 3.1.4. Productividad de las líneas
- 3.2. Factores que perjudican y reducen la productividad
  - 3.2.1. Porcentaje de producto conforme
    - 3.2.1.1. Merma en área PET
    - 3.2.1.2. Merma en área soplado PE
    - 3.2.1.3. Merma en área de inyectoras
  - 3.2.2. Tiempos de paros
    - 3.2.2.1. Paros en área sopladoras PET
    - 3.2.2.2. Paros en área sopladoras PE
    - 3.2.2.3. Paros en área inyectoras
  - 3.2.3. Nivel de velocidad en las líneas
    - 3.2.3.1. Eficacia en área inyectoras
- 3.3. Indicadores productivos y financieros para medir el desempeño por líneas productivas
  - 3.3.1. Cálculo de la tarifa de producción
  - 3.3.2. Utilidades aproximadas
- 3.4. Diseño para la aplicación de manufactura esbelta
  - 3.4.1. Elaboración de VSM (*Value Stream Mapping*)

#### 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- 4.1. Análisis interno
- 4.2. Análisis externo

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

## ANEXOS

## **9. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

La investigación descrita en este documento utiliza 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.

### **9.1. Diseño**

Se ha trabajado bajo un diseño no experimental. Se ha realizado un estudio del proceso, para luego hacer 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. La toma de datos fue hecha de forma retrospectiva, para obtener datos bases y comparar el cambio en la productividad al implementar las mejoras propuestas, reducción de desperdicios, ordenamiento y estandarización de actividad para el operador.

### **9.2. Enfoque**

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 con base en datos y simuladores en variación de productividad. En el ámbito cualitativo se analiza la satisfacción de los operadores con las tareas productivas asignadas. Se conocen sus sugerencias para aumentar la productividad en la línea, así como también la seguridad en la operación. Además, se observa el mejoramiento en el aspecto visual de la línea y se



analizan tareas para que sean distribuidas entre operadores y supervisores, para obtener un mayor rendimiento en las tareas.

### **9.3. Tipo**

Según el análisis e investigación que se busca aplicar, debe ser del tipo longitudinal, en el cual relaciona datos históricos con los niveles de producción, paros en las líneas y desperdicios generados por el proceso, falta de mantenimiento y errores operativos.

### **9.4. Alcance**

El alcance de la investigación es correlacional, debido a que se busca unir dos o más variables que puedan afectar en el nivel de productividad de 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.

### **9.5. Variables e indicadores**

Las variables que se analizan en esta investigación son conceptuales y operacionales, lo que permite hacer estimaciones de tipo matemático y estadístico con sus valores. También son de tipo cuantitativo continuo porque admiten valores intermedios en su cálculo.

Se consideran cuatro variables conceptuales y operacionales:

- Diagnóstico del nivel de productividad en las líneas de producción. Esta variable es de tipo cuantitativo continuo y se define en la fase de

entendimiento del proceso en funcionamiento. Esta variable es independiente, ya que forma parte del modelo en ejecución, y se asocian dos indicadores a mencionar:

- Productividad de la línea
  - Cadencia
- 
- Determinación de los factores que perjudican y reducen la productividad en las líneas de producción de envases PET y polietileno. Esta variable es de tipo cuantitativo continuo y se define en la fase de formulación del plan de acción. Esta variable es independiente porque forma parte del modelo en ejecución, y se asocia a tres indicadores:
    - Porcentaje de merma
    - Tiempo productivo
    - Cadencia
- 
- 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. Esta variable es cuantitativa continua y se define en la fase de implementación del plan de acción. Esta variable es dependiente porque es determinada por acciones controladas y planificadas, y se asocia a tres indicadores:
    - Productividad de la línea
    - Tiempo de paro
    - Capacidad instalada
- 
- Desarrollo de indicadores productivos y financieros para medir el desempeño por líneas productivas. Esta variable es de tipo cuantitativo

continuo y se define en la fase de implementación del plan de acción. Esta variable es dependiente porque es determinada por acciones controladas y planificadas, y se asocia a tres indicadores:

- Utilidades
- Costo unitario de producto
- Capacidad porcentaje de disponibilidad de la máquina

### 9.6. Operativización de variables

Se realiza una recopilación de variables a estudiar, el concepto y cómo puede realizarse su medición.

Tabla II. Descripción de variables a estudiar

Nombre de la variable	Tipo de variable	Indicador	Técnica de recolección
1. Diagnóstico del nivel de productividad en las líneas de producción.	Conceptual y operacional, de tipo cuantitativo continuo, variable independiente	1. Productividad de la línea: cantidad de envases producidos / (horas trabajadas * cantidad del recurso humano) 2. Cadencia: cantidad de envases producidos / horas productivas	Observación Manejo de base de datos TVC Recolección de datos brindados por hodómetros Encuestas
2. Determinación de los factores que perjudican y reducen la productividad en las líneas de producción de envases PET y polietileno.	Conceptual y operacional, de tipo cuantitativo continuo, variable independiente	1. Porcentaje de merma: Cantidad de envases defectuosos / total de envases producidos 2. Tiempo productivo: tiempo disponible – tiempo de paro	Observación Manejo de base de datos TVC Niveles de inventario de producto terminado
3. Diseño para la aplicación de <i>Lean Manufacturing</i> en las líneas productivas y controles estadísticos, para seguimiento del cumplimiento en función de productividad y capacidad instalada de las líneas.	Conceptual y operacional, de tipo cualitativo, variable independiente	1. Tiempo de paro: tiempo disponible – tiempo productivo 2. Capacidad instalada: cadencia * tiempo productivo	Manejo de base de datos TVC

Continuación de la tabla II.

4. Desarrollo de indicadores productivos y financieros para medir el desempeño por líneas productivas.	Conceptual y operacional, de tipo cuantitativo continuo, variable independiente	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Utilidades: ingresos monetarios – costos de operación</li> <li>2. Costo unitario de producto: envases producidos / costos de operación</li> <li>3. Porcentaje de disponibilidad de máquina: tiempo productivo / tiempo disponible</li> </ol>	Estimación de costos Manejo de base de datos TVC
--	---	--	---

Fuente: elaboración propia, realizado con Word.

### 9.7. Fases de la investigación

La investigación se compone de cuatro fases descritas a continuación:

- **Revisión documental:** en las primeras dos semanas se llevará a cabo el levantamiento de información de las máquinas que existen en las líneas. Posteriormente, en los próximos quince días se llevará a cabo una estimación de ritmo de producción con base en la información brindada por el TVC, para continuar con la clasificación de productos terminados en los siguientes seis días de trabajo. Por último, se hará un cálculo de productividad con base en envases-hora-hombre durante los siguientes tres días.
  
- **Diagnóstico:** durante siete días se elaborará el VSM (*Value Stream Mapping*) para identificación de puntos de mejora. Luego, durante dos meses se tienen contemplados efectuar varios análisis por concepto de paros, cambios de formato o modelo, merma y reproceso de producto terminado. Al tener la información correcta, se inicia con la elaboración de los cinco porqués. A sabiendas de las razones, en los siguientes siete

días, se pueden definir los factores que perjudican la productividad en las líneas.

- Definición de la estrategia: para este punto se tiene contemplado la implementación de metodologías de manufactura esbelta. Se tiene considerado un mes para proyectar el VSM ideal para las líneas de producción. También se tiene estimado un mes para la implementación de las 5S en el área y eventos *Kaizen* durante un mes. Se implementará SMED por medio de recursos humanos y financieros, para mejorar el método, con una duración de un mes. *Kanban* será aplicado durante un mes; la metodología TPM también durante un mes y, por último, se tiene la metodología JIT (siglas en inglés de *Just In Time*), también por un mes. Cabe resaltar que en cada una de estas metodologías es indispensable el recurso humano, financiero y los materiales. Así mismo, es necesario el involucramiento de gerencias y jefaturas de áreas.
- Definición de evaluación de desempeño: durante un periodo de 15 días se aplicará 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 controlará por medio de hojas Excel, con manejo de datos e indicadores interactivos.

## **9.8. Población y muestra**

La población total se integra por 33 colaboradores que trabajan en el Departamento de producción. Para el desarrollo de esta investigación se decidió tomar en cuenta a todos los colaboradores que participan en la

operación, debido a que la diferencia con la muestra calculada no es representativa.

Se aplica el análisis de muestreo estadístico. Con un nivel de confianza del 96 % y con un error del 5 % se calcula el tamaño de la muestra:

$$n = \frac{N\sigma^2 Z^2}{(N - 1)e^2 + \sigma^2 Z^2}$$

Donde:

n= tamaño de la muestra

N= tamaño de la población

$\sigma$ = desviación estándar de la población (0.5 por convención)

Z= tipificación del nivel de confianza de la distribución normal, para este caso 1.96

e= error de la muestra (0.05 para convención)

$$n = \frac{33 * 0.5^2 * 1.95^2}{(33 - 1) * 0.05^2 + 0.5^2 * 1.95^2} = 30 \text{ colaboradores}$$

- Conclusión: para llegar a un nivel de confianza del 96 % es fundamental tener una muestra de 30 colaboradores a evaluar.



## 10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para la presente investigación se hará uso de la recolección de datos por medio de 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 el análisis se utilizará estadística descriptiva.

En la recopilación de datos se utilizará la información del total de productos que manufacturan las líneas (un total de 17 productos distintos). Para tal efecto, se hará una clasificación de materiales según su peso, capacidad de envasado, color y tipo de resina, entre otras características.

En la etapa de análisis se utilizarán herramientas estadísticas del tipo descriptiva como el promedio, media, moda, máximos, mínimos, desviación estándar y curva de la norma (curva de gauss), entre otras.

Para determinar las oportunidades, se recurrirá al análisis de dos variables. Se hará un análisis enfocado en la materia prima que se está utilizando, el peso del envase, color del mismo y las variables presentes en el proceso.

Para esta etapa del análisis el estudio se apoyará en el *software* Microsoft Excel, mediante el uso de base de datos, tablas dinámicas y *dashboard* de elaboración propia, entre otras aplicaciones con las que cuenta el paquete de Excel. Así mismo, el paquete de Microsoft Word servirá para hacer reportes de la productividad y eficiencia en la línea.





## **11. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO**

### **11.1. Recursos**

Desde la fase de investigación, por medio de registros y dentro de planta, es necesario el uso de recursos para que las tareas sean ejecutadas con éxito.

#### **11.1.1. Recurso humano**

La manufactura esbelta es un cambio de cultura laboral que se debe ejecutar con todo el personal operativo, jefes de área y gerencia. En ese sentido, todos aportan tanto ideas como soluciones y facilidades para aplicar nuevos métodos en la operación. Por lo tanto, en la fase de investigación se necesitan específicamente al jefe de producción, jefe de calidad y digitadores de planta, entre otros.

Posteriormente, en la fase de implementación, es necesaria la participación de todos los operadores de planta, jefes de áreas y gerencias de planta. Esta acción sirve para que esta cultura laboral pueda ser ejecutada desde la parte de arriba de la organización hasta la parte operativa.

#### **11.1.2. Recursos físicos**

En el proceso de recopilación de datos se cuenta con las máquinas de las líneas productivas, repuestos para efectuar mantenimientos correctivos, equipo de cómputo, equipo de proyección, megáfonos y productos defectuosos para observar las causas de la mala calidad en el proceso.

### 11.1.3. Recursos financieros

Para la puesta en marcha de la manufactura esbelta se necesita una inversión financiera en equipo de control visual en las líneas, equipo adicional, papelerías y útiles. Todo esto se detalla a continuación:

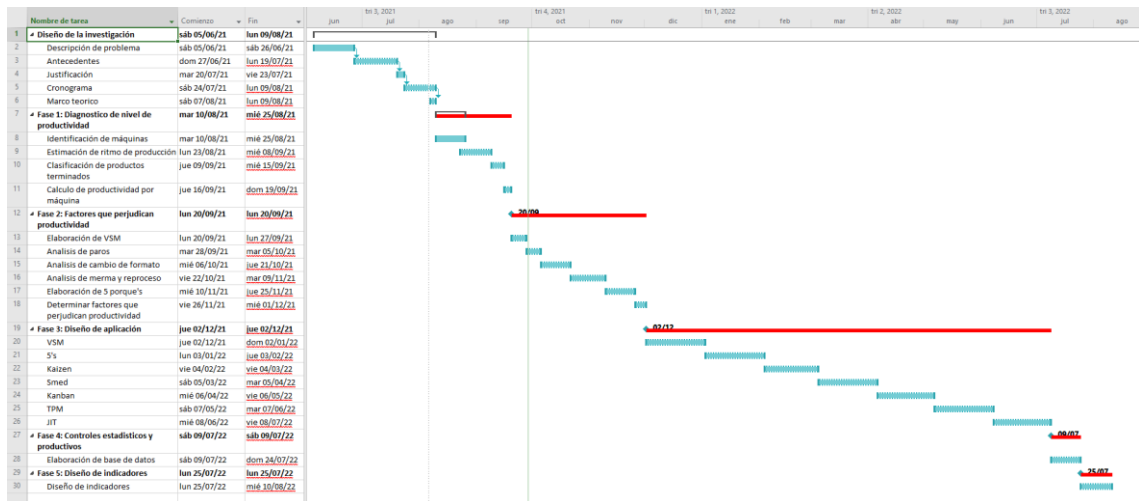
Tabla III. **Listado de recursos**

<b>Recursos financieros</b>				
<b>Papelería y útiles</b>	<b>Cantidades</b>	<b>Precio</b>	<b>Total</b>	
<b>Caja de lapiceros</b>	2	Q 15.90	Q	31.10
<b>Caja de marcadores</b>	4	Q 15.90	Q	343.60
<b>Caja de resaltadores</b>	4	Q 65.90	Q	263.60
<b>Calculadora de bolsillo</b>	1	Q 130.60	Q	130.60
<b>Hojas A1</b>	20	Q 5.00	Q	100.00
<b>Impresiones de formato en A1</b>	20	Q 15.00	Q	300.00
<b>Pizarrones</b>	7	Q 219.00	Q	2,023.00
<b>Post it</b>	10	Q 51.90	Q	519.00
<b>Resma de hojas bond carta</b>	2	Q 41.90	Q	13.10
<b>Rotafolios</b>	2	Q 299.00	Q	591.00
<b>Tabla para anotaciones</b>	7	Q 24.90	Q	174.30
<b>Total</b>			<b>Q</b>	<b>4,637.70</b>

Fuente: elaboración propia, realizado con Word.

## 12. CRONOGRAMA

Figura 2. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Project.



## REFERENCIAS

1. Ascamm. (2011). *Las mejores técnicas y métodos de análisis disponibles*. Reach.
2. C. A. N. (2001). *Extrusion processing data*. Cincinnati, Estados Unidos: Plastics Pocket.
3. C. R. C. (2011). *Diseño de una maquina extrusora para la empresa plastik de occidente*. Santiago de Cali, Colombia: Universidad del Valle.
4. Carreras, M. R. (2010). *Lean manufacturing la evidencia de necesidad*. Madrid: Díaz de Santos.
5. Carro, R. (2015). *Nulan*. Recuperado de <http://nulan.mdp.edu.ar/>
6. Flores, D. F. (2017). *Degradación de materiales plásticos "PET" (polyethylene terephthalate), como alternativa para su gestión*. Quito, Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
7. Fonseca, G. H. (2016). *Diseño y construcción de una maquina extrusora para la fabricación de filamento termoplásticos para impresoras 3D*. Tunja: Universidad Santo Tomas Tunja.
8. Gómez, J. J. (2007). *Diseño de una extrusora para plásticos*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.

9. Gómez, M. F. (2014). *Lean manufacturing*. Estados Unidos: Digital edition.
10. Muñoz, J. A. (2008). *Tesis, diseño y automatización de una maquina extrusora para reciclaje de plástico*. Cali, Colombia: Universidad Autónoma de Occidenete.
11. Noriega, M. D. (1996). *Curso de introducción a la extrusión de termoplásticos*. Medellín, Colombia: ICIPC.
12. P. B. (2006). *Principios de química los caminos del descubrimiento*. Buenos Aires, Argentina: Universidad de Alicante.
13. Socconini, L. (2019). *Lean manufacturing paso a paso*. Barcelona: ICG Marge, SL.
14. Soler, V. G. (2015). *3ciencias*. Recuperado de <https://www.3ciencias.com/>
15. Viviescas, I. V. (2013). *Efectos de variables de proceso de extrusión soplado*. Bogotá, Colombia: Universidad de los andes.

# APÉNDICES

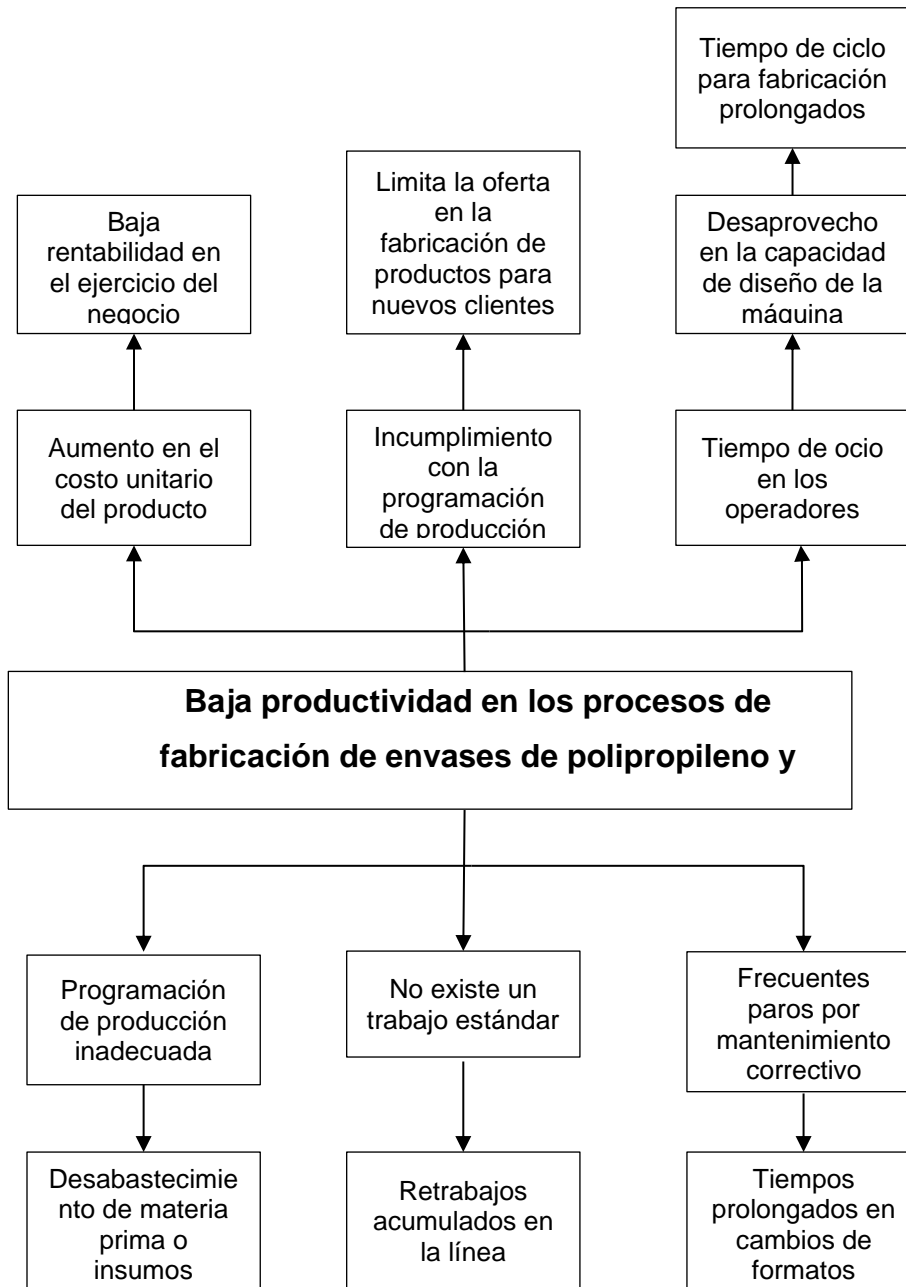
## Apéndice 1. Matriz de coherencia

TEMA	TITULO	PROBLEMA	PREGUNTA CENTRAL	PREGUNTAS SECUNDARIAS	OBJETIVO GUÍA	OBJETIVOS ESPECÍFICOS
Optimización de operaciones y procesos	Diseño para el aumento de productividad aplicado en los procesos de manufactura por medio de manufactura esbelta para una fábrica de envases PET y PE en la ciudad de Guatemala	Baja productividad en los procesos de fabricación de envases de polipropileno y PET	¿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 polietileno?	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ¿Cuál es el nivel de productividad de las líneas de producción al inicio de la investigación?</li> <li>2. ¿Cuáles son los factores que genera baja productividad en las líneas de producción de envases PET y polietileno?</li> <li>3. Al aplicar la manufactura esbelta ¿se aumentará la productividad y con ello la capacidad instalada de las líneas?</li> <li>4. ¿Qué indicadores productivos y financieros pueden ser aplicados para medir el desempeño en la operación?</li> </ol>	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.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Realizar un diagnóstico del nivel de productividad en las líneas de producción.</li> <li>2. Determinar los factores que perjudican y reducen la productividad en las líneas de producción de envases PET y polietileno.</li> <li>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.</li> <li>4. Desarrollar indicadores productivos y financieros para medir el desempeño por líneas productivas.</li> </ol>

Fuente: elaboración propia, realizado con Word.



Apéndice 2. **Diagrama de árbol de problema**



Fuente: elaboración propia, realizado con Word.