

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO  
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA



TESIS

“GESTIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO POR MEDIO DE LEAN SIX  
SIGMA EN UNA MICRO PYME”

Que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de

MAESTRO EN INGENIERÍA

presenta:

LUIS FERNANDO CESEÑA VENEGAS

Director de tesis

DR. DIEGO ALFREDO TLAPA MENDOZA

Ensenada Baja California, México. Julio, 2024.

# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO

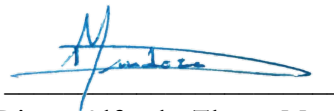
“GESTIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO POR MEDIO DE LEAN SIX SIGMA EN  
UNA MIPYME”

## TESIS

Que para obtener el grado de MAESTRO EN INGENIERÍA presenta:

LUIS FERNANDO CESEÑA VENEGAS

Aprobada por el siguiente comité:



Dr. Diego Alfredo Tlapa Mendoza  
Director de tesis



Dra. Yolanda Angélica Báez López  
Codirectora de tesis



Dr. Jorge Limón Romero  
Miembro del comité



Dr. Armando Pérez Sánchez  
Miembro del comité



M.C. José Luis Javier Sánchez González  
Miembro del comité

Ensenada Baja California, México. Julio, 2024.

## RESUMEN

### “TESIS”

El tema de la presente investigación se centra en integrar conceptos de Gestión de la cadena de suministro con Lean Six Sigma (LSS) en una empresa pequeña del estado de Baja California. La hipótesis a demostrar es que con la implementación de herramientas de gestión de la cadena de suministro y Lean Six Sigma en una empresa de tamaño pequeña permitirá a la organización eliminar desperdicios, reducir la variabilidad y tener un mejor control en todos sus procesos. Para sustentar esta hipótesis se utilizó la metodología de cuatro fases propuesta por Ferizzola y Luna para la implementación de LSS en Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (MIPYMES). La primera fase establece los factores clave que la empresa debe prepararse, la segunda fase plantea la identificación de las oportunidades de mejora, en tercer lugar, la ejecución de los proyectos de mejora mediante el DMAIC y, por último, la evaluación de los resultados obtenidos. Se desarrollo una propuesta de integración de la metodología Lean Six Sigma con conceptos de gestión de la cadena de suministro en una microempresa, en donde la propuesta prone una reducción del tiempo de configuración alrededor del 40%, la estandarización de procesos y una mejor planeación de la cadena de suministro mediante pronósticos de la demanda, la planeación de la producción y la planeación de los requerimientos de materiales.

Palabras Clave: Gestión de la cadena de suministro, Lean Six Sigma, PyME, DMAIC.

aprobado por:



---

Dr. Diego Alfredo Tlapa Mendoza  
Director de Tesis

## ABSTRACT

### “THESIS”

This research focuses on integrating supply chain management concepts with Lean Six Sigma (LSS) in a small company in the state of Baja California. The hypothesis to be demonstrated is that the implementation of supply chain management tools and Lean Six Sigma in a small-sized company will allow the organization to eliminate waste, reduce variability, and have better control in all its processes. To support this hypothesis, the four-phase methodology proposed by Ferizzola and Luna for the implementation of LSS in Micro, Small, and Medium Enterprises (MSMEs) was used. The first phase establishes the key factors that the company must prepare for; the second phase involves the identification of improvement opportunities; the third, the execution of improvement projects through the DMAIC; and finally, the evaluation of the results obtained. A proposal was developed to integrate the Lean Six Sigma methodology with supply chain management concepts in a microenterprise, where the proposal provides a reduction in the setup of around 40%, the standardization of processes, and better planning of the supply chain through demand forecasting, production planning, and material requirements planning.

Keywords: Supply chain management, Lean Six Sigma, Micro SME, DMAIC.

Approved by:



---

Dr. Diego Alfredo Tlapa Mendoza  
Director de Tesis

## DEDICATORIA

A mis padres por su comprensión y apoyo incondicional. A mi madre que siempre me dio su voz de aliento para seguir adelante. A mi padre que siempre me enseñó a dar lo mejor y cumplir mis objetivos. A mis hermanos, por su confianza. A mis demás familiares y amigos por su interés y aliento constante.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Dr. Diego Alfredo Tlapa Mendoza, el asesor de este proyecto, por su gran dedicación y apoyo para la realización y revisión del proyecto.

A la Universidad Autónoma de Baja California y al CONAHCYT por la oportunidad de poder desarrollar este proyecto y por la valiosa contribución a mi desarrollo personal y profesional.

# TABLA DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1	Antecedentes	1
1.2	Contexto de la Investigación	2
1.3	Planteamiento del Problema	3
1.4	Preguntas de Investigación	3
1.5	Hipótesis	4
1.6	Objetivos	4
1.7	Justificación	5
1.8	Delimitación y Limitación	5
<b>2</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>6</b>
2.1	Marco conceptual	6
2.2	Estado del arte	16
<b>3</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>19</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>22</b>
4.1	Preparación	22
4.2	Identificación	25
4.3	Ejecución	27
4.4	Propuestas de mejora	76
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>77</b>
5.1	Conclusiones	77
5.2	Recomendaciones	78
<b>6</b>	<b>REFERENCIAS</b>	<b>79</b>
<b>7</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>84</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Metodología para Gestión de la cadena de suministro por medio de LSS ....	22
Figura 2. Diagrama SIPOC del proceso de Vaso Térmico.....	26
Figura 3. Instrucción de trabajo del proceso de Vaso Térmico.....	26
Figura 4. Bitácora de máquina de vaso térmico.....	27
Figura 5. Guía de puntaje de matriz de priorización.....	28
Figura 6. Matriz de priorización de proyectos.....	29
Figura 7. Análisis ABC – Productos.....	31
Figura 8. Análisis ABC – Contribución de ingreso.....	31
Figura 9. Carta de proyecto. ....	33
Figura 10. Muestras de producto para MSA. ....	34
Figura 11. Registro de análisis de concordancia para MSA.....	35
Figura 12. Evaluación de concordancia por operador.....	35
Figura 13. Evaluación de concordancia operador-estándar.....	36
Figura 14. Evaluación de concordancia operador-operador.....	36
Figura 15. Evaluación de concordancia.....	37
Figura 16. Registro de bitácora de máquina de vaso térmico.....	38
Figura 17. Capacidad binomial del proceso.....	39
Figura 18. Estadística descriptiva de prueba de hipótesis para medias.....	41
Figura 19. Cálculo de prueba de hipótesis de medias.....	41
Figura 20. Estadística descriptiva de prueba de hipótesis de varianza.....	42
Figura 21. Cálculo de prueba de hipótesis de varianza.....	42
Figura 22. Diagrama de flujo del proceso de vaso térmico.....	45
Figura 23. Diagrama de Causa y Efecto de setup. ....	50

Figura 24. Diagrama de Pareto de setup.....	51
Figura 25. Reducción de tiempo de configuración SMED.....	65
Figura 26. Comparación de tiempo de configuración.....	65
Figura 27. Suavizamiento exponencial simple.....	66
Figura 28. Suavizamiento exponencial doble.....	67
Figura 29. Suavizamiento exponencial doble.....	67
Figura 30. MPS – Modelo Level.....	68
Figura 31. MPS – Modelo One Time Run.....	69
Figura 32. MPS – Modelo Lot For Lot.....	69
Figura 33. MPS – Modelo MILP.....	70
Figura 34. MRP – Fabricante del producto final.....	71
Figura 35. MRP – Lámina de papel de bambú.....	71
Figura 36. MRP – Rollo de fondo de vaso.....	72
Figura 37. MRP – Rollo de bolsa de plástico.....	72
Figura 38. MRP – Caja multipack. ....	73
Figura 39. Dashboard de control. ....	74
Figura 40. Plantilla registro de ventas. ....	75
Figura 41. Plantilla de pronósticos.....	76
Figura 42. Plantilla de gestor de inventarios.....	77
Figura 43. Plantilla para MPS. ....	78
Figura 44. Plantilla para MRP. ....	79
Figura 45. Estandarización del proceso de cambio de configuración.....	90

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Artículos para implementar LSS y SCM en una MIPYMES.....	18
Tabla 2. Catálogo de productos.....	30
Tabla 3. Productos tipo “A”.....	32
Tabla 4. Demanda histórica de vaso térmico.....	40
Tabla 5. Demanda de referencia.....	43
Tabla 6. Resumen de tiempos de setup.....	44
Tabla 7. Resumen de análisis de tiempos.....	46
Tabla 8. Tabla de conversión Sigma PPM.....	46
Tabla 9. Tabla de conversión Sigma FPY.....	47
Tabla 10. Clasificación OEE.....	49
Tabla 11. Lista de materiales de vaso térmico.....	52
Tabla 12. Lista de proveedores de vaso térmico.....	53
Tabla 13. Demanda de Vaso térmico.....	54
Tabla 14. Demanda de Vaso térmico en términos de lámina de bambú.....	55
Tabla 15. Tabla resumen de punto de reorden.....	56
Tabla 16. Impacto económico.....	58
Tabla 17. Actividades del set-up.....	59
Tabla 18. Clasificación actividades interna /externa.....	60
Tabla 19. Resumen actividades externas.....	61
Tabla 20. Balanceo del tiempo de set-up.....	63

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Antecedentes

Hoy en día, en muchas organizaciones existe una búsqueda cada vez mayor de mejorar el rendimiento de los procesos y la calidad de los productos, en un intento por lograr los objetivos finales de rentabilidad, sostenibilidad, participación de mercado y competitividad de la organización. El dúo de alta productividad y buena calidad es imperativo para la supervivencia de cualquier organización en esta era de globalización y creciente competitividad en el mercado [1].

Cada vez son más las organizaciones que han adaptado sus estrategias para adquirir capacidad competitiva mediante procesos ágiles, esbeltos y con una calidad sobresaliente no solo en productos sino en procesos. Hoy pues tanto empresas grandes como las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (MIPYMES) compiten en los mismos sectores con el mismo público objetivo [2]. Sin embargo, dificultades de consolidación de las MIPYMES, la capacidad de recursos, la deficiencia en las capacidades empresariales, la escasa especialización de las personas y el rezago en la innovación abonan a la problemática relacionada con las MIPYMES para implementar proyectos de mejora.

Resultados de la encuesta Nacional sobre Productividad y Competitividad de las Micro, Pequeñas y Medianas empresas (ENAPROCE), presentada por INEGI [3], muestra que el 49.6% del personal ocupado en las MIPYMES tienen escolaridad básica; además, se presenta una alta proporción de MIPYMES (84.7%) que no capacitan a su personal, el 40.4% de las personas en las MIPYMES no realizan acciones de solución cuando se presentan dificultades en el proceso de producción y que un 66.5% de las microempresas no monitorea ningún indicador clave de desempeño.

En este contexto, si bien las MIPYMES son un sector muy importante para la economía del país, ya que aportan un 42% del Producto Interno Bruto (PIB) y generan el 78% del empleo nacional [4], se puede observar que a la vez es un sector vulnerable ya que no cuenta con la misma capacidad de recursos que las empresas denominadas grandes para desarrollar proyectos de mejora.

Hoy en día para que una empresa pueda ser competitiva y pueda permanecer en un mercado cambiante es de suma importancia implementar metodologías y herramientas con la finalidad de mejorar sus procesos, reducir sus costos y mejorar la calidad en los productos/servicios ofrecidos [5]. Sin embargo, factores como recursos financieros limitados, escala limitada, poco conocimiento de metodologías de mejora, personal capacitado y otras prioridades en el manejo del negocio reducen significativamente el incentivo de las MIPYMES a la implementación de metodologías de mejora.

## 1.2 Contexto de la Investigación

El presente trabajo propone el vínculo academia-empresa para poder abordar las problemáticas a las que se enfrentan las empresas MIPYMES del sector manufacturero local y con ello poder apoyar a este sector económico tan importante en la sociedad, pero a la vez tan vulnerable por la escasa capacidad de recursos con los que cuentan este tipo de empresas para abordar proyectos de mejora por sí mismas.

Por lo general estas empresas dan una mayor prioridad a las actividades diarias que sirven para generar los ingresos que mantiene a la empresa en operación. Esto debido que las MIPYMES cuentan con pocos recursos prefieren utilizar todo el recurso disponible para generar la mayor cantidad de ingresos posibles sin importar en cierta medida las formas. En otras palabras, no existe el tiempo ni el recurso para poder analizar las oportunidades de mejora que pudiera tener la empresa.

Por lo tanto, el proyecto plantea como área de estudio la proveeduría de una MIPYME del estado de Baja California, México, con la finalidad de proponer la integración de la metodología Lean Six Sigma (LSS) junto con temas relacionados con la gestión de la cadena de suministro para permitir a la organización eliminar desperdicios, reducir la variabilidad y tener un mejor control en todos sus procesos.

### 1.3 Planteamiento del Problema

El presente proyecto plantea como área de estudio la proveeduría de una MIPYME del estado de Baja California, México. Actualmente, la empresa por falta de recursos no cuenta con un sistema de gestión de la cadena de suministro. Esto ha generado ineficiencias y pérdidas económicas en la organización, ya que al no contar con una planeación adecuada la empresa ha presentado paros por falta de material e incumplimiento en fechas de entrega. Asimismo, la empresa ha presentado problemas con el funcionamiento de las máquinas, ya que aún no conoce en su totalidad todas las características de las mismas por ser un proceso nuevo, lo que se ha convertido en tiempo muerto, producto defectuoso y altos tiempos de configuración. En los últimos meses la empresa ha presentado alrededor de 100 horas de tiempo inactivo, también ha presentado alrededor de 13,000 piezas defectuosas y cuenta con un tiempo de configuración elevado, por lo que se plantea analizar estos parámetros para conocer el estado actual del proceso y proponer las medias correctivas pertinentes. Por otro lado, la empresa se encuentra en una fase de crecimiento por lo que implementar un sistema de gestión de la cadena de suministro y proyectos de mejora es de suma importancia para evitar los mismos problemas a una escala mayor y con ello aumentar la eficiencia, satisfacer la demanda del cliente e incrementar las ganancias económicas.

### 1.4 Preguntas de Investigación

Las preguntas que se plantean a continuación buscan orientar la investigación.

1. ¿Qué pasos previos son necesarios para implementar LSS y SCM en una MIPYME?
2. ¿Es posible aplicar la metodología LSS y SCM en una MIPYME de Baja California?
3. ¿Cómo integrar conceptos de cadena de suministro a la metodología LSS en una PYME?
4. ¿Qué herramientas LSS y SCM serán las adecuadas para implementar en un enfoque MIPYMES?
5. ¿Cuál es el comportamiento de la demanda de la empresa MIPYME?
6. ¿Cuál es el porcentaje de eficiencia del proceso de vaso térmico?
7. ¿Cuál es el porcentaje de OEE, FPY, PPM que presenta el proceso de vasos?
8. ¿Cómo mejorar el proceso de cambio de configuración?
9. ¿Qué modelo de pronóstico por serie de tiempo presentará un menor porcentaje de error?
10. ¿Qué modelo de MPS será el que presente un menor costo de producción?

## 1.5 Hipótesis

La implementación de herramientas de gestión de la cadena de suministro y Lean Six Sigma en una empresa PYME permitirá a la organización eliminar desperdicios, reducir la variabilidad y tener un mejor control en todos sus procesos.

## 1.6 Objetivos

Objetivo general.

Desarrollar una propuesta de integración de la metodología de Lean Six Sigma con los conceptos de la gestión de la cadena de suministro en una MIPYME del estado de Baja California, con la finalidad de brindar a la organización y partes interesadas soluciones a problemas a los que se enfrenta el sector manufacturero local.

Objetivos específicos.

1. Identificar las problemáticas más significativas que la empresa desea abordar.
2. Definir la mejor metodología para implementar LSS en una MIPYME.
3. Analizar a detalle el proceso de vaso térmico
4. Integrar los conceptos de Lean Six Sigma y gestión de la cadena de suministro.
5. Identificar las herramientas ideales de Lean Manufacturing de acuerdo a los datos disponibles en la empresa.
6. Identificar las herramientas ideales de Six sigma de acuerdo a los datos disponibles en la empresa.
7. Utilizar herramientas de gestión de la cadena de suministro para mejorar la satisfacción del cliente y el funcionamiento de las operaciones.
8. Emplear la metodología DMAIC para desarrollar el proyecto de investigación.
9. Reducir el tiempo de configuración, tiempo muerto y cantidad de defectos.
10. Desarrollar propuestas de mejora utilizando la Gestión de la cadena de suministro por medio de lean six sigma.

## 1.7 Justificación

La aplicación de gestión de la cadena de suministro mediante LSS en MIPYMES del estado de Baja California es un tema del que actualmente se dispone de escasa información. Asimismo, las MIPYMES suelen no disponer de los recursos humanos y financieros necesarios para implementar este tipo de tecnologías, por lo que la implementación de Lean Six Sigma con gestión de la cadena de suministro en este tipo de empresas es un campo de oportunidad en la región de Baja California para abordar las problemáticas a las que se enfrentan las cadenas de suministro actuales, y con ello, mejorar el funcionamiento de las organizaciones e incrementar la competitividad del sector manufacturero local.

## 1.8 Delimitación y Limitación

Alcance:

- Las estrategias de Lean Six Sigma y gestión de la cadena de suministro desarrolladas en este trabajo, serán propuestas a una empresa MIPYME del estado de Baja California.
- Este trabajo se enfocará directamente al segmento empresarial de MIPYMES.
- Esta investigación cumplirá con los lineamientos de un modelo de Lean Six Sigma con la consideración extra de agregar la gestión de la cadena de suministro.

Limitaciones:

- El presente trabajo analizará únicamente el proceso de vaso térmico de la MIPYME del estado de Baja California.
- Las estrategias planteadas en este documento no aplicarán a otras empresas sin la debida adecuación de las herramientas utilizadas en base a las características de cada organización.
- La ejecución de las estrategias planteadas en este estudio se llevará a cabo solamente si la empresa lo considera pertinente.

## 2 MARCO TEÓRICO

### 2.1 Marco conceptual

#### 2.1.1 Gestión de la cadena de suministro

Una cadena de suministro se compone de todas las partes involucradas, directa o indirectamente, para satisfacer la petición de un cliente. El objetivo de la gestión de la cadena de suministro es planificar los recursos y la capacidad que necesitarán para satisfacer las necesidades de los clientes y, al mismo tiempo, optimizar su actividad para alcanzar sus objetivos de costos, servicios, inventario, resiliencia o sostenibilidad, entre otros. Los procesos clave de la cadena de suministro son:

- Abastecimiento y aprovisionamiento
- Planificación de la cadena de suministro, que incluye planificar la producción, prever la demanda, modelar la red y optimizar el suministro y la demanda
- Transporte (entrante y saliente), que abarca importación y exportación.
- Almacenamiento y distribución, que incluyen recepción, almacenaje, selección, embalaje y expedición de inventario.
- Fabricación del producto.
- Servicios, como atención posventa, devoluciones, reparaciones y mejoras de productos físicos y digitales [6].

#### 2.1.2 Lean Manufacturing

El concepto Lean Manufacturing fue introducido principalmente por la producción japonesa, especialmente Toyota. Eiji Toyoda y Taiichi Ohno acuñaron el "Sistema de Producción Toyota", que ahora se conoce como "Lean Manufacturing". Lean Manufacturing es un modelo de organización y gestión del sistema de fabricación, personas, materiales, máquinas y métodos, que persigue mejorar la calidad, el servicio y la eficiencia mediante la eliminación constante del desperdicio. Cualquier acción sin importancia que genere resultados innecesarios es denominada como desperdicio y la manufactura esbelta funciona como metodología para eliminar estos residuos ya que reducen la salida de producción y afecta el desempeño industrial [7].

#### 2.1.3 Six sigma

La metodología Six-Sigma es una iniciativa de toda la organización para lograr cero defectos y disminuir las variaciones en las industrias de fabricación/procesos. Esto ayuda a las organizaciones a revisar sus procesos, eliminar cuellos de botella y ofrecer una calidad constante. Six Sigma se refiere a un desempeño estadístico para lograr un difícil objetivo de 3,4 piezas defectuosas por cada millón de oportunidades.

Esta metodología emplea un enfoque de cinco pasos conocido como DMAIC para lograr esto (define oportunidades, mide el desempeño, analiza oportunidades, mejora el desempeño y controla el desempeño). La metodología DMAIC de la iniciativa Six-Sigma es la hoja de ruta para la mejora continua [8].

#### 2.1.4 Diagrama SIPOC

SIPOC significa Supplier-Inputs-Process-Outputs-Customers; es la representación gráfica de un proceso de gestión que permite entender e identificar los elementos importantes en un proceso. La metodología se usa para mejora de procesos y se basa en la representación esquemática de elementos claves de un proceso. La herramienta sirve para analizar el proceso de una manera amplia, reconociendo los respectivos proveedores, todas las entradas y salidas del proceso y la vinculación de los clientes con cada paso del proceso, de este modo se pueden entender, clasificar y adaptar los requerimientos de los clientes, aspecto que facilita el entendimiento entre ambas partes [9].

#### 2.1.5 Estandarización de procesos

La estandarización consiste en establecer una metodología de trabajo estricta, en la cual se definen los pasos a seguir para llevar a cabo una tarea. Es la forma en que una organización garantiza un entorno de trabajo claro, visualizado y seguro. Con una adecuada implementación de las normas se evitan defectos en producción y al mismo tiempo constituyen procedimientos para prevenir la ocurrencia de otros errores que podrían tener un impacto en producción. La estandarización es un elemento clave de Lean Six Sigma ya que se considera la base para el proceso de mejora continua (Kaizen) [10].

#### 2.1.6 Matriz de priorización de proyectos

La matriz de priorización es una herramienta que permite la selección de opciones sobre la base de la ponderación y aplicación de criterios. Hace posible, determinar alternativas y los criterios a considerar para adoptar una decisión, priorizar y clarificar problemas, oportunidades de mejora y proyectos y, en general, establecer prioridades entre un conjunto de elementos para facilitar la toma de decisiones. La aplicación de la matriz de priorización conlleva un paso previo de determinación de las opciones sobre las que decidir, así como de identificación de criterios y de valoración del peso o ponderación que cada uno de ellos tendrá en la toma de decisiones [11].

### 2.1.7 Análisis ABC

El análisis ABC es un método de segmentación de productos aplicable mediante una serie de criterios establecidos para controlar el inventario. Se utiliza para conocer los productos pedidos con mayor volumen y frecuencia. El análisis ABC clasifica en tres grupos los artículos de la empresa en función de su importancia en el proceso. Estas tres categorías son las siguientes:

- A: artículos especialmente importantes
- B: artículos de importancia media
- C: artículos mínimamente importantes [12].

### 2.1.8 Carta de proyecto

La carta de proyecto es una presentación de alto nivel de los objetivos, el alcance y las responsabilidades del proyecto para obtener la aprobación de las partes interesadas clave al inicio del proyecto. Se argumenta la justificación del proyecto, las partes interesadas, los objetivos y las metas que se quieren cumplir durante el proceso [13].

### 2.1.9 Measurement System Analysis

El análisis del sistema de medición (MSA) es un procedimiento estructurado que se aplica ampliamente para evaluar la calidad de los sistemas de medición e inspección. Un sistema de medición se define como “una combinación de personas, equipos, materiales, métodos y entorno involucrados en la obtención de mediciones”. En MSA, las personas examinadas se denominan comúnmente tasadores, evaluadores, inspectores u operadores. Los dos métodos principales de MSA son:

- (a) Repetibilidad y Reproducibilidad (Gage R&R)
- (b) Análisis de Concordancia de Atributos (AAA).

Ambos enfoques tienen como objetivo evaluar la coherencia (acuerdo entre los tasadores), la precisión (acuerdo del tasador con la verdad), la reproducibilidad (acuerdo entre tasadores) y la precisión general (acuerdo de todos los tasadores con la verdad). El calibre R&R se utiliza cuando la medición es un valor numérico en una escala continua, como tiempo, peso, dimensiones, presiones o temperaturas. Por el contrario, el análisis de concordancia de atributos se aplica cuando la escala es discreta y tiene dos o más categorías, por ejemplo, en el caso de decisiones de aprobar/reprobar [14].

#### 2.1.10 Índice de capacidad del proceso

Los índices de capacidad de proceso se utilizan para medir el desempeño de los procesos. Un proceso se considera capaz si el producto cumple con las expectativas del cliente. Para analizar la capacidad del proceso existen diferentes herramientas, pero la correcta selección del método dependerá de las características de los datos disponibles [15].

#### 2.1.11 Capacidad binomial:

Este análisis se utiliza cuando un producto o servicio se caracteriza por ser defectuoso o no defectuoso. La capacidad binomial evalúa la probabilidad ( $p$ ) de que un elemento seleccionado de un proceso sea defectuoso. Los datos recolectados son el número de elementos defectuosos en los subgrupos individuales, y se supone que siguen una distribución binomial [16].

#### 2.1.12 Prueba de hipótesis

La idea principal de una prueba de hipótesis estadística es decidir si una muestra de datos es típica o atípica en comparación con una población asumiendo que la prueba de hipótesis que formulamos sobre la población es cierta. Aquí una muestra de datos se refiere a una pequeña porción de entidades tomadas de una población. La hipótesis es una declaración cuantitativa que formulamos sobre el valor poblacional del estadístico de prueba. Esta hipótesis se denomina hipótesis nula  $H_0$  [17].

#### 2.1.13 Diagrama de flujo

Un diagrama de flujo se puede definir como “un diagrama que muestra las conexiones entre las diferentes etapas de un proceso o partes de un sistema”. Es una representación gráfica de un proceso. Cada paso del proceso se representa por un símbolo diferente que contiene una breve descripción de la etapa de proceso. Expresa igualmente el flujo de la información y de los materiales; así como las derivaciones del proceso, el número de pasos del proceso y las operaciones de interdepartamentales [18].

#### 2.1.14 Estudio de tiempos

El estudio de tiempos aplica técnicas para determinar el tiempo en que se lleva a cabo una operación, según una norma o método establecido con el objetivo de establecer un tiempo estándar. Considera la fatiga, las demoras personales y los retrasos inevitables [19].

### 2.1.15 Partes por millón (PPM)

En el contexto de Lean Six Sigma, PPM representaría el número de piezas defectuosas por cada millón de piezas producidas. Para calcular el valor de PPM, primero debe identificar la cantidad de oportunidades para un defecto y luego dividirla por la cantidad de unidades producidas. Cuanto menor sea el valor de PPM, más eficiente y efectivo será el proceso. La fórmula del PPM se muestra a continuación:

$$PPM = \frac{(Unidades\ defectuosas)(1,000,000)}{Total\ de\ unidades\ de\ producción} \quad \text{Ec. 1}$$

Las herramientas estadísticas identifican las partes por millón (PPM) de productos no conformes como la principal cualidad para lograr Seis Sigma. Alcanzar un nivel Seis Sigma significa tener un proceso que genere una salida con 3,4 PPM defectuosos [20].

### 2.1.16 First Pass Yield

El First Pass Yield (FPY) es un indicador clave de rendimiento (KPI) que mide la fabricación exitosa de un producto determinado. Se define como el número de unidades que salen de un proceso dividido por el número de unidades que entran en ese proceso durante un período de tiempo específico. Solo las unidades buenas sin retrabajo se cuentan como entrantes de un proceso individual. Es un excelente KPI para comprender el éxito de un proceso de fabricación determinado en la creación de productos funcionales [21].

$$FPY = \frac{Total\ de\ unidades\ producidas - Desperdicio - Retrabajo}{Total\ de\ unidades\ producidas} \quad \text{Ec. 2}$$

### 2.1.17 Overall Equipment Effectiveness (OEE)

Overall Equipment Effectiveness (OEE) es un indicador clave de desempeño que refleja el rendimiento de una máquina de producción en forma integral. En el contexto de la Lean Six Sigma el OEE integra seis grandes pérdidas de máquinas de fabricación en un indicador como multiplicación de tres componentes diferentes: La disponibilidad, el desempeño y la calidad [22].

- Disponibilidad: La disponibilidad es la comparación de la cantidad de tiempo que la máquina realmente funciona y el tiempo para el cual está programada la máquina para trabajar. La fórmula se da a continuación:

$$Disponibilidad\ (\%) = \frac{Tiempo\ que\ la\ máquina\ realmente\ funciona}{Tiempo\ programado\ para\ operar\ la\ máquina} * 100 \quad \text{Ec. 3}$$

- Desempeño: Como segundo elemento del cálculo de OEE, el rendimiento es la multiplicación de la velocidad de funcionamiento y tasa operativa neta. La fórmula se da como:

$$\text{Desempeño (\%)} = \frac{\text{Producto terminado} \cdot \text{Tiempo de ciclo}}{\text{Tiempo total disponible} - \text{Tiempo de falla}} * 100 \quad \text{Ec. 4}$$

- Calidad: Este factor es el último respecto al cálculo del OEE como índice de calidad. Destaca la proporción de producción defectuosa al volumen total de producción. Estos defectos suelen ocurrir en la línea de producción como los defectos que se producen en el arranque y los que se producen cuando la máquina está en producción estable.

$$\text{Calidad (\%)} = \frac{\text{Cantidad total producida} - \text{Piezas defectuosas totales}}{\text{Cantidad total producida}} * 100 \quad \text{Ec. 5}$$

Por ultimo La eficacia general del equipo (OEE) es producto de los tres factores, y se calcula en porcentaje [23]. La fórmula se proporciona a continuación como:

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidad} * \text{Desempeño} * \text{Calidad} \quad \text{Ec. 6}$$

#### 2.1.18 Lista de materiales (BOM)

Es un listado completo de las materias primas, las piezas y las herramientas necesarias para fabricar un determinado producto. La lista de materiales también debe incluir los componentes y subcomponentes que conforman un producto, así como las cantidades requeridas de cada una de ellos. El BOM (Lista de materiales) es uno de los más importantes portadores de información en el proceso de fabricación del producto, las empresas necesitan listas de materiales cuando diseñan, programan y fabrican el producto. Por tanto, una de las claves para el éxito empresarial es cómo expresar las estructuras de BOM eficazmente [24].

#### 2.1.19 Políticas de inventarios

Las políticas de inventarios son estrategias empresariales diseñadas para administrar de manera eficiente los recursos materiales de una organización con el objetivo de minimizar los costos de mantenimiento y, al mismo tiempo, garantizar la calidad en el servicio al cliente. Todas las políticas de control de inventarios deben gestionar el difícil equilibrio entre minimizar los costos de mantener el inventario y satisfacer la demanda de los clientes [25].

#### 2.1.20 Revisión Continua

La Política de Revisión Continua indica que el estado de revisión del inventario debe ser continuo y ordenar de acuerdo con el tamaño del lote (Q) cuando el inventario llega al punto de reorden (ROP). Las ventajas de esta política es que puede manejar la situación cuando la demanda es alta pero la pérdida de cantidad del pedido es variable.

El proveedor tiene una gran posibilidad de realizar una serie de variaciones en los pedidos. Bajo el sistema de revisión continua (s, Q), cada vez que la posición de inventario es menor o igual al punto de reorden (s) se debe hacer un pedido de cantidad (Q). Los pedidos son constantes, es decir, siempre se piden las mismas cantidades [26].

#### 2.1.21 Metodología SMED

El Single-Minute Exchange of Die (SMED) es uno de los muchos métodos de Lean Six Sigma para reducir el desperdicio en un proceso de fabricación. La metodología SMED garantiza un cambio rápido y eficiente del producto actualmente en funcionamiento al próximo. El tiempo de cambio es la cantidad de tiempo transcurrido entre la última pieza buena de un producto hasta la primera buena pieza del próximo producto. Esta cantidad de tiempo se dedica a limpiar, cambiar las piezas y la configuración de la máquina para el próximo producto. Normalmente el tiempo de cambio se considera un desperdicio, ya que este cambio es una actividad sin valor agregado que adquiere costos ocultos. Los pasos de la metodología se muestran a continuación:

- 1.- Medir el tiempo de configuración total
- 2.- Determinar los pasos internos y externos
- 3.- Mover los pasos externos a fuera del set-up
- 4.- Reducir los pasos internos
- 5.- Mejorar los pasos externos
- 6.- Estandarizar el nuevo procedimiento de set-up [27-29].

#### 2.1.22 Pronósticos de la demanda

El pronóstico de la demanda es la estimación de un acontecimiento futuro que se obtiene proyectando datos del pasado, que se combinan sistemáticamente y que requieren técnicas estadísticas y de la ciencia administrativa. Existen diferentes tipos de modelos de pronósticos a utilizar, sin embargo, los métodos de series de tiempo son muy utilizados en el sector productivo por su relativa facilidad. Los pronósticos de la demanda para el reabastecimiento de materiales es una cuestión importante, ya que ayuda a optimizar de inventario, minimizar costos, reducir el problema de desabastecimiento y satisfacer la demanda del cliente.

El análisis de series de tiempo es un método objetivo que se basan en la idea de que podemos usar la historia de los hechos ocurridos para prever el futuro. Implica analizar datos históricos para identificar patrones y tendencias que pueden usarse para predecir la demanda futura.

Los principales componentes de los métodos de series de tiempo son:

Nivel: Valor donde la demanda se mantiene constante.

Tendencia: Movimiento regular de la serie, a largo plazo. La tendencia de una serie de tiempo caracteriza el patrón gradual y consistente de las variaciones de la propia serie, que se consideran consecuencias de fuerzas persistentes que afectan el crecimiento o la reducción de la misma

Variación estacional: Esta variación corresponde a los movimientos de la serie que ocurren año tras año en los mismos meses (o en los mismos trimestres) del año poco más o menos con la misma intensidad.

Variación aleatoria: Son fluctuaciones producidas por factores eventuales, esporádicos e imprevisibles, que no muestran una periodicidad reconocible [30].

En seguida se muestra algunos de los modelos de pronósticos de series de tiempo:

- Suavizamiento Exponencial Simple

Este modelo de pronóstico precisa tan sólo de tres tipos de datos: el pronóstico del último período, la demanda del último período y el coeficiente de suavización. El pronóstico de suavización exponencial simple es óptimo para patrones de demanda aleatorios o nivelados donde se pretende eliminar el impacto de los elementos irregulares históricos mediante un enfoque en períodos de demanda reciente. Este método es adecuado para pronosticar datos sin tendencia o patrón de estacionalidad.

- Suavizamiento Exponencial Doble (Nivel y tendencia)

Este modelo se emplea cuando el modelo de series de tiempo posee un componente de tendencia y nivel, ya que está basado en la actualización de dos variables en cada período: un nivel promedio y una tendencia. El nivel es una estimación suavizada del valor de los datos al final de cada período. La tendencia es una estimación suavizada del crecimiento promedio al final de cada período.

- Suavizamiento Exponencial Doble Aminorado

Este modelo es una modificación del método exponencial doble y se utiliza en problemas donde la tendencia presenta cambios, es decir la tendencia no permanece constante de manera indefinida, sino más bien empieza a decrecer o crecer más rápido. Por lo tanto, es utilizado para evitar sobre pronosticar cuando se tienen tendencias lineales constantes, ya que atenúa la tendencia [31].

### 2.1.23 Medición de errores

El concepto de “error” asociado al tema de los pronósticos hace referencia a la diferencia entre el valor del dato real (observado) y el dato pronosticado. Los términos más importantes para describir el grado de error son:

Desviación Absoluta Media DAM (Mean Absolute Deviation=MAD). Es el error promedio en los pronósticos mediante valores absolutos. Mide la dispersión de un valor observado en relación con un valor esperado.

Error Porcentual Absoluto Medio EPAM (Mean Absolute Percent Error=MAPE). Esta medida determina el error respecto del promedio de demanda en términos absolutos. Esa es una medida útil porque es una estimación de cuanto error se espera con un pronóstico [31].

### 2.1.24 Gestión de inventarios

La gestión de inventario es un aspecto crítico de la gestión de la cadena de suministro que implica planificar, ejecutar y controlar el avance, flujo inverso y almacenamiento de bienes, servicios e información relacionada entre el punto de origen y el de consumo para satisfacer la demanda de los clientes. La administración del inventario incluye decidir cuántas existencias mantener y dónde. El objetivo de la gestión de inventarios es comprobar y mantener un nivel de inventario para que la red de la cadena de suministro mantenga su equilibrio en el suministro oportuno de la lista de materiales y productos y minimiza costos del sistema. Esta decisión se basa en muchos factores como la inconstancia de la demanda, tiempo de entrega y costos de almacenamiento. La coordinación efectiva de estas actividades es fundamental para el éxito de la cadena de suministro [32].

### 2.1.25 Master Production Schedule

La programación maestra de producción (MPS) es el proceso de desarrollar planes para identificar qué cantidades de productos deben ser fabricados durante determinados períodos. Por lo tanto, MPS impulsa las operaciones en términos de lo que se ensambla, fabrica y compra. El MPS además proporciona información para ventas sobre lo que se puede prometer a los clientes y cuándo se pueden realizar las entregas, lo que hace que el método sea un vínculo vital entre la gestión de pedidos del cliente y la producción. Estas características significan que MPS es la base para cumplir las promesas de entrega sin inducir altos niveles de inventario, así como para resolver compensaciones entre ventas y fabricación [33].

La programación maestra de producción cuenta con diferentes modelos para calcular el menor costo de producir la demanda pronosticada, tales como:

- Level strategy: Esta estrategia de producción mantiene un mismo nivel de producción constante al producir el promedio de la demanda anual cada periodo.
- One Time Run: La estrategia de producción One Time Run busca producir toda la demanda del año en el primer periodo y de ahí abastecer la demanda con el inventario en mano.
- Lot For Lot: La estrategia de producción Lote por Lote tiene por objetivo igualar el nivel de producción con la demanda de cada periodo.
- Fixed order quantity: La estrategia de producción Fixed Order Quantity encuentra una cantidad fija de pedido la cual se deberá pedir cada vez que el inventario sea menor a la demanda del siguiente periodo.
- Periodic order quantity: La estrategia de producción Periodic Order Quantity encuentra la ventana de tiempo en la que se debe planear la producción. Una vez identificado el valor del tiempo se suma la demanda dentro del periodo de tiempo identificado y se programa la producción para cubrir el requerimiento.
- MILP: La estrategia de producción MILP es un método que minimiza los costos de producción al establecer las cantidades y fechas que se deberá ejecutar el plan de producción [34].

#### 2.1.26 Material Requirement Planning

La Planificación de Requisitos de Materiales (MRP) es ampliamente utilizado por los fabricantes para determinar el tamaño de los lotes a ordenar de cada componente. Estos tamaños de lote generalmente se calculan en función de la demanda del artículo final y se basa en las listas de materiales (BOM), que indican, la estructura del producto y el número de componentes necesarios para producir cada artículo final o componente posterior.

El MRP está diseñado para dar respuesta a la pregunta de cómo los componentes correctos se pueden recibir en la cantidad correcta y en el momento adecuado para una demanda y/o pedido previamente especificado que debe cumplirse.

Con el fin de calcular estas cantidades requeridas y fechas de vencimiento, el MRP se basa en los dos supuestos siguientes:

- Se supone que los tipos de productos se basan a partir de listas de materiales estáticas.
- Los tiempos de entrega se suponen fijos durante todo el horizonte de planificación [35].

## 2.2 Estado del arte

Para el desarrollo del proyecto de investigación se realizó una revisión de literatura acerca de la Cadena de Suministros y Lean Six Sigma con relación a la aplicación e integración de estas metodologías en MIPYMES. Esto con el propósito de conocer el estado actual de este tema, identificar las metodologías que han sido utilizadas, ampliar el conocimiento de la aplicación de estas metodologías a MIPYMES. A continuación, se muestra una tabla de resumen de los artículos analizados:

**Tabla 1.** Artículos para implementar LSS y SCM en una MIPYMES.

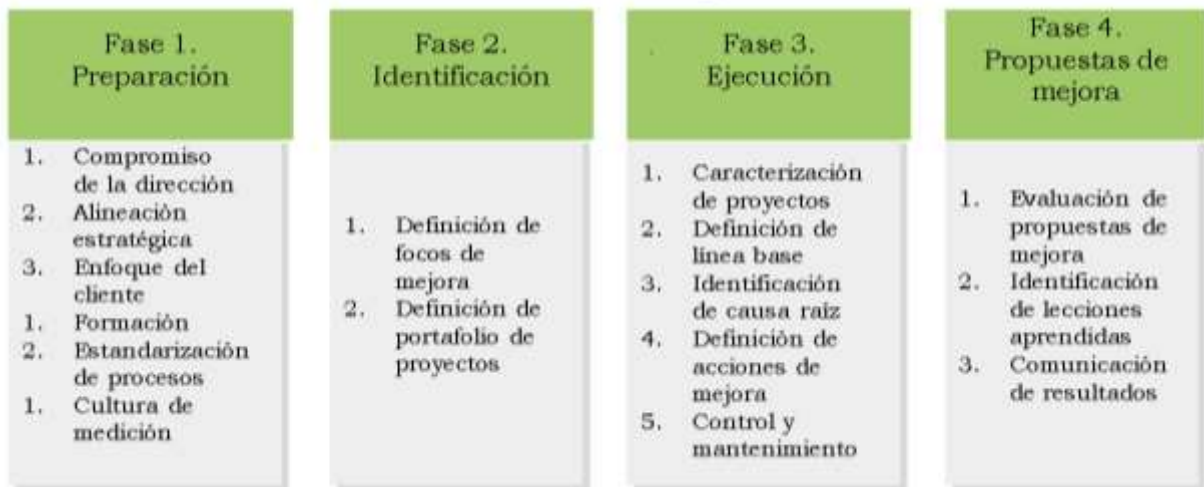
Autor	Enfoque
Andersson, Roy & Baez, Yinef [36].	El propósito de este estudio fue investigar si una filosofía combinada de Lean Six Sigma puede respaldar la concienciación y la gestión del riesgo de la cadena de suministro. La metodología que se usó en este estudio fue basada en una revisión de literatura y múltiples casos de estudios. Se ha indicado que los valores, métodos y herramientas dentro de Lean Six Sigma pueden ser muy efectivas para controlar los riesgos de la cadena de suministro y mejorar la habilidad de la compañía para manejar variabilidad y la gestión del riesgo.
Felizzola, Heriberto & Luna, Carmenza [37].	Este artículo propone una metodología para la implementación de un enfoque integrado de Lean Six Sigma, el que se adapta a las de necesidades y características de las PYMES. La metodología está compuesta de cuatro fases: donde la primera fase establece los factores claves en los cuales las PYMES deben prepararse para implementar LSS; en segundo lugar, se plantea la identificación de focos de mejora y definición de proyectos de mejora; en tercer lugar, la ejecución de los proyectos priorizados; y por último, la evaluación de los resultado obtenidos.
Pius achanga, Esam Shehab, et al [38].	El propósito de esta investigación fue presentar los factores críticos que constituyen una implementación exitosa de Lean Manufacturing en PYMES. Varios factores críticos que determinan el éxito de implementar el concepto de Lean Manufacturing dentro de PYMES fueron identificados. Liderazgo, gestión, finanzas, cultura organizacional, experiencia y habilidades, entre otros factores, son clasificados como los más importantes para la exitosa adopción de Lean Manufacturing dentro de PYMES.

Saja Albliwi, Jiju Antony, et al [39].	El objetivo de esta investigación es explorar los factores críticos de fallo para LSS en diferentes sectores como manufactura, servicios y universidades. La investigación se basó en una revisión sistemática de la literatura, en la cual se encontraron 34 factores de error de LSS. Existen algunos factores comunes como falta de compromiso e intervención de alta gerencia, falta de comunicación, falta de entrenamiento y educación, recursos limitados, entre otros.
Thomas, Barton & Chuke-Okafor [40].	Desarrollan un modelo para implementar de forma integrada Six Sigma y Manufactura Esbelta. La metodología fue validada en un PyME, en la que se obtuvieron resultados positivos en calidad, costos y tiempo de entrega.
Chakravorty [41].	Proponen un modelo que está compuesto por 6 fases que son: análisis estratégico, identificación y formación de equipos de mejora, identificación de las herramientas de mejora, mapeo de la organización e identificación de oportunidades de mejora, desarrollo de un plan detallado y por último implementación, documentación y revisión del plan.
Kumar, Antony & Tiwari [42].	Desarrollan un marco lógico para la implementación de Six Sigma en PYMES, el que está compuesto de 12 pasos divididos a su vez en 5 fases. Este marco brinda una guía paso a paso para que las organizaciones puedan implementar Six Sigma, y va desde la preparación de la organización hasta el sostenimiento a largo plazo.
M. Kumar, J. Antony, R. K. Singh, M. K. Tiwari & D. Perry [43].	Este artículo propone un marco Lean Six Sigma para reducir el defecto que ocurre en el producto final de una PYME que fabrica accesorios de automóviles. La metodología propuesta integra herramientas Lean como mapa de estado actual, sistema 5S y mantenimiento productivo total (TPM) dentro de Six Sigma se utilizó la metodología DMAIC para mejorar los resultados finales y ganar la lealtad del cliente. La implementación del marco propuesto muestra una mejora drástica en las métricas clave defecto por unidad (DPU), índice de capacidad del proceso, rendimiento y efectividad general del equipo (OEE), lo que generó un ahorro financiero sustancial a la organización.
Jiju Antony, Maneesh Kumar,	El propósito de esta investigación fue proveer un análisis de la implementación de Six Sigma en PYMES manufactureras de UK. Los resultados del estudio muestran que muchas de la PYMES

<p>Christian N. Madu [44].</p>	<p>no conocen Six Sigma muchas no tienen los recursos para implementar proyectos de Six Sigma. También se encontró que LSS no era popular entre las PYMES. La gestión del involucramiento, enfocar Six Sigma a los clientes y a la estrategia de la compañía son los mayores factores críticos para el desarrollo exitoso de Six Sigma en PYME.</p>
<p>Mantilla, Olga &amp; Sánchez José [45].</p>	<p>Proponen un modelo para el desarrollo de proyectos logísticos usando Lean Six Sigma con el propósito de orientar a las empresas en el mejoramiento de su desempeño logístico. Para esto, se utilizaron conceptos de cadena de suministros, logística, manufactura esbelta, Seis Sigma y Lean Six Sigma. La metodología propuesta para el desarrollo del modelo es la DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), soportada en diversas herramientas seleccionadas para cada fase de la misma, y que conducen a la eliminación del desperdicio en flujos y operaciones, reducción del tiempo de entrega, reducción de la variación en los procesos y el aumento de valor</p>
<p>Barbosa et al [46].</p>	<p>Este artículo nos muestra la aplicación de Lean y Seis Sigma en 4 PYMES en México. Radica su importancia en que la metodología que ellos plantean aterriza en las necesidades de las PYMES las cuales tienen una serie de limitaciones financieras, personal capacitado y conocimiento de las herramientas y/o software de soporte; para ello plantea un trabajo conjunto entre la empresa y la Universidad para formar el equipo de trabajo en la que ambas se vean beneficiadas de este vínculo.</p>

### 3 METODOLOGÍA

Se plantea la gestión de la cadena de suministro por medio de Lean Six Sigma en una MIPYME siguiendo como base los pasos establecidos en la metodología desarrollada por Ferizzola y Luna [37]. El enfoque metodológico propuesto está conformado por cuatro fases: Preparación, Identificación, Ejecución y Propuestas de mejora. Estas cuatro fases deben ser soportadas por una forma de mejora continua, enfocados a las metas y objetivos estratégicos de la organización. A continuación, se muestra la metodología propuesta:



**Figura 1.** Metodología para Gestión de la cadena de suministro por medio de LSS.

#### **Fase 1. Preparación.**

En esta fase se construyen los cimientos que permitirán el establecimiento de la metodología. La preparación consiste en cumplir con las siguientes condiciones:

- Asegurar el compromiso de la dirección.
- Conocer la planeación estratégica.
- Enfoque al cliente.
- Capacitación en LSS y conceptos de gestión de la cadena de suministro.
- Contar con procesos estandarizados.
- Contar con la cultura de medición.

#### **Fase 2. Identificación.**

En esta fase se determina el enfoque de los proyectos LSS, la cual se realiza en dos etapas:

Etapa 1. Consiste en identificar las áreas prioritarias, procesos, productos/servicios críticos para mejorar. Esta ha de realizarse conjuntamente con los directivos de la organización.

Etapa 2. Consiste en priorizar los proyectos de mejora según una evaluación para fortalecer las áreas de la organización identificadas como claves. Se deben considerar solo los proyectos para mejora que generen un alto impacto en los resultados financieros, que contribuyan significativamente con la satisfacción del cliente y por tanto, generan compromiso con la dirección. Una vez elaborada la lista de proyectos prioritarios estos deben:

- a) Identificar los posibles proyectos.
- b) Evaluar según su duración, inversión, nivel de conocimiento de las causas, complejidad, impacto en el cliente, entre otros.
- c) Ordenar los proyectos según la puntuación obtenida en la evaluación.

### **Fase 3. Ejecución.**

En esta fase se utiliza la metodología DMAIC de Six Sigma y las herramientas de gestión de la cadena de suministro. Consta de cinco etapas:

#### Fase 3.1. Definir.

El objetivo principal de esta etapa es identificar el problema que necesita una solución y clasificar los objetivos del proyecto. También verifica si las acciones que se deben tomar para resolver los problemas son conectadas con las prioridades de la organización y que exista apoyo de la dirección y disponibilidad de recursos necesarios.

#### Fase 3.2. Medir

La etapa de medición consiste en recopilar información sobre los procesos que se van a mejorar. Se enfoca en información necesaria para comprender mejor todos los procesos de la organización, las expectativas de los clientes, especificaciones de los proveedores e identificación de los posibles lugares donde puede ocurrir un problema.

#### Fase 3.3. Analizar

En la etapa de análisis se utilizan diferentes herramientas y métodos para encontrar las causas fundamentales, evaluar el riesgo y analizar los datos. Para confirmar el análisis se deben realizar algunas muestras y se debe demostrar que los problemas

potenciales son problemas reales. En esta fase es necesario definir la capacidad del proceso, aclarar los objetivos basados en datos reales obtenidos en la fase de medición e iniciar el análisis de la causa raíz que tiene un impacto en la variabilidad del proceso.

#### Fase 3.4. Mejora

El objetivo de esta etapa es tomar la información necesaria para crear y desarrollar un plan de acción con el fin de mejorar el funcionamiento de la organización, aspectos financieros y cuestiones de relación con el cliente. Las posibles soluciones para el plan de acción se deben presentar y ejecutar.

#### Fase 3.5. Control

La etapa de control consiste en confirmar si los cambios implementados en la etapa de mejora son suficientes y continuos. Verificando la calidad del proceso mejorado. También controla el estado futuro del proceso para minimizar desviación de los objetivos y garantizar que la corrección se implemente antes de que tenga una mala influencia en el resultado en el proceso.

### **Fase 4. Propuesta de mejora.**

Comprende la evaluación de las propuestas de mejora planteadas, la identificación de lecciones aprendidas, y comunicación de resultados.

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La aplicación de la metodología se llevó a cabo en una MIPYME dedicada a la fabricación de productos desechables elaborados 100% con material biodegradable, ubicada en Ensenada, Baja California. El proyecto se basará en el análisis de su producto insignia Vaso térmico de papel de bambú. A continuación, se muestran las cuatro fases propuestas en la metodología utilizadas como base para la integración de gestión de la cadena de suministro mediante la metodología Lean Six Sigma.

### 4.1 Preparación

Durante la fase de preparación se realizaron las siguientes actividades buscando establecer las condiciones adecuadas para la realización del proyecto:

4.1.1 Compromiso de la dirección: En primera instancia se realizó un acercamiento con la gerencia de la empresa para plantear el proyecto de vinculación Academia-Empresa con la finalidad de integrar la metodología Lean Six Sigma con la gestión de la cadena de suministro. Posteriormente, se llevaron a cabo reuniones para indicar los objetivos y beneficios que implica desarrollar un proyecto de mejora. Finalmente, la dirección manifestó la aprobación para desarrollar el proyecto de mejora.

4.1.2 Planeación estratégica: Es una empresa comprometida con el medio ambiente, la cual busca ayudar y ofrecer servicios que ayuden a sus clientes a llevar una vida más verde y en armonía con el planeta.

- Misión: Ser una empresa que impacte positivamente en el cuidado de nuestro medio ambiente y erradicar el alto consumo de plásticos en el planeta.
- Visión: Ser una empresa mexicana que logre cambiar el alto consumo de plásticos e impactar positivamente con nuestros productos a nivel nacional e internacional.

4.1.3 Enfoque al cliente: Para la identificación de las necesidades y expectativas del cliente se utilizó la herramienta SIPOC y se complementó con la identificación de los puntos criterios para la calidad (CTQ). El diagrama SIPOC se muestra a continuación:

Suppliers	Inputs	Processes	Output	Customers	CTQ's
Proveedor de Lámina de papel de bambú	* Lámina de papel de bambú * Agua * Rodador * Contenedor * Trapo * Operador	1. Preparar hojas de papel de bambú	Lámina de papel húmeda	Operación 3	* Láminas de papel de bambú suficientemente húmedas
Proveedor de Rollo de bolsa	* Rollo de bolsa plástica * Tijeras * Selladora * Operador	2. Armar bolsa de plástico para empaque de vasos	Bolsa de empaque	Operación 5	* Dimensión de la bolsa adecuada y bien sellada de la parte inferior
Proveedor de Rollo de fondo	* Lámina de papel húmeda * Máquina de vasos * Aceite * Rollo de tapa de vaso * Operador	3. Fabricar vaso térmico en máquina	Vaso térmico	Operación 4	* Correcto Set-up * Suficiente aceite * Ritmo de vaso no arriba de 60 RPM * Mantenimiento de máquina * Limpieza de máquina
Proveedor interno	* Vaso térmico * Operador	4. Inspeccionar producto y separa las cantidad de vasos necesaria por empaque	Lote de vasos térmico	Operación 5	* No producto quemado, doblado o mal formado * Contar la cantidad adecuada para el empaque
Proveedor interno	* Bolsa de empaque * Lote de vaso térmico * Selladora * Tijeras * Operador	5. Empacar los vasos térmicos en bolsa de plástico y sellar bolsa	Empaque de vasos	Operación 8	* Empaque correctamente sellado
Proveedor de Etiqueta	* Empaque de vasos * Etiqueta * Operador	6. Poner etiqueta en empaque de vasos y colocar empaque en caja multipack	Empaque de vaso terminado	Operación 7	* Etiqueta correctamente colocada
Proveedor de Caja multipack	* Caja multipack * Talpa * Punzon * Operador	7. Armar y cerrar caja multipack	Caja de vaso térmico terminada	<b>Cliente de producto final</b>	* Caja multipack correctamente armada * Cantidad de empaque de vasos adecuada * Descripción del producto

**Figura 2.** Diagrama SIPOC del proceso de Vaso Térmico.

4.1.4 Capacitación: Tanto el dueño como el gerente general de la empresa ya contaban con un entendimiento claro de la metodología Lean Six Sigma y gestión de la cadena de suministro, se llevaron a cabo reuniones con los empleados para indicar los conceptos básico, objetivos y beneficios que implica el proyecto de mejora.

4.1.5 Estandarización de trabajo: Se estudió el proceso y se realizó una instrucción de trabajo para crear una estandarización del proceso actual. En la figura 3 se puede apreciar la instrucción de trabajo elaborada.



**Figura 3.** Instrucción de trabajo del proceso de Vaso Térmico.

4.1.6 Cultura de medición: En vista de la necesidad de implementar procesos de medición del proceso productivo, se diseñó un instrumento de recolección de datos para calidad y eficiencia del proceso. Basado en esta información se construyeron indicadores de calidad, sobre los cuales se hizo monitoreo y control. En la Figura 4 se muestra la bitácora de recolección de datos implementada.

Bitácora de Máquina de Vaso Térmico						
No.	Fecha	Hora de inicio	Hora Final	Tiempo de Falla (min)	Cajas terminadas	Comedor de máquina
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						

**Figura 4.** Bitácora de máquina de vaso térmico.

## 4.2 Identificación

Esta fase se desarrolla en dos etapas; la primera se refiere a la selección de las áreas de oportunidad y la segunda se refiere a la priorización del conjunto de proyectos posibles a realizar. Para identificar los proyectos se utilizó la herramienta Matriz de priorización de proyectos como se muestra en seguida:

Primeramente, se utilizaron las entrevistas con el gerente general y el gerente de operaciones de la empresa para determinar las problemáticas más importantes a los que se enfrenta la empresa y con ello transformar las problemáticas de la empresa en los siguientes proyectos de mejora.

A: Reducción de tiempo muerto de máquina y producto defectuoso

B: Implementación de programa para la gestión de la cadena de suministro

C: Reducción de tiempo de configuración de máquina

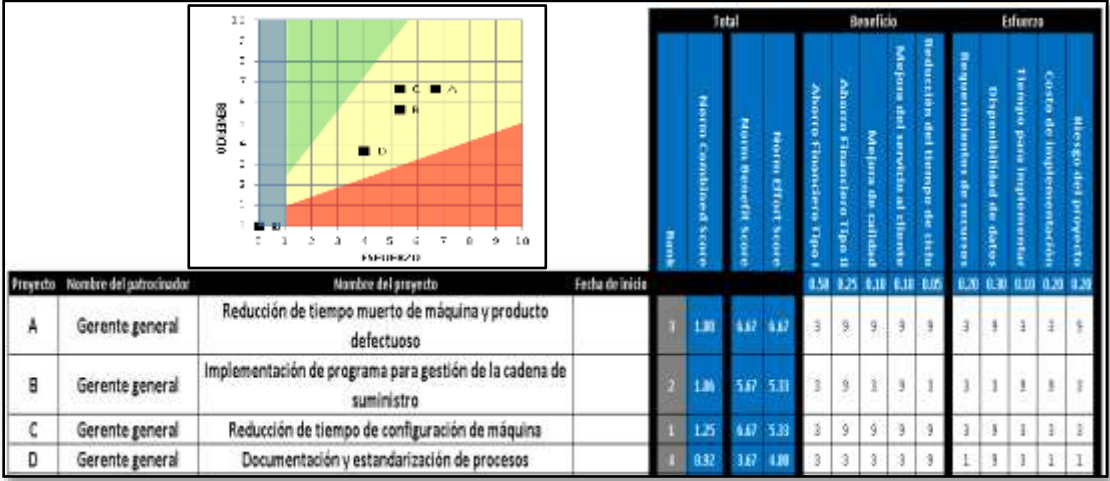
D: Documentación y estandarización de procesos

Después se elaboró la guía de puntaje de matriz de priorización la cual se puede observar en la Figura 5. Esta guía de puntaje será la base para ponderar la importancia de los cuatro proyectos planteados anteriormente. La guía de puntaje califica el grado de beneficio y esfuerzo que implica el desarrollo de cada proyecto.

Guía de puntuación		Peso	Puntaje			
Medida	Descripción		1	2	3	
Oportunidad	Flujo Financiero Tipo I	El ahorro financiero tipo I se refiere al dinero ahorrado que no se programará en el futuro. Los ahorros de costos se definen como reducciones de costos que permiten a un gerente realizar acciones programadas o preprogramadas y aplicarlas a otros usos. Los ahorros de costos pueden incluir: proyectos que generen ingresos, ahorros que la generación de ingresos, como los ahorros en los costos programados.	0.2	>1000	1000-1500	<1000
	Flujo Financiero Tipo II	El ahorro financiero tipo II se define como todos los reducciones de costos que no son ahorros, es decir, ahorros en la atención, la productividad, la duración del ciclo, la puntualidad y la utilización de recursos.	0.20	>100	100-150	<100
	Impacto de calidad	El porcentaje de reducción en la variación inaceptable del proceso en el alcance del proyecto.	0.1	>10%	10-10%	<10%
	Impacto del servicio al cliente	El proyecto aborda un problema de servicio al cliente definido por una métrica específica.	0.1	Ningún impacto medible en el servicio al cliente.	Impacto limitado o inmensurable en el servicio al cliente.	Impacto significativo y medible en el servicio al cliente.
	Reducción del tiempo de ciclo	Distribución normalizada definida en el tiempo del ciclo del proceso ya sea a través de la reducción del retraso (reducción de defectos) y aumento de la productividad, reducción del trabajo en proceso o reducción de procesos.	0.05	>10%	10-10%	<10%
Esfuerzo	Requisitos de recursos	Recursos (personal) necesarios para respaldar el nivel de esfuerzo requerido para respaldar el proyecto.	0.2	1-2 Personas	4-7 Personas	>7 Personas
	Disponibilidad de datos	Facilidad del equipo para acceder datos de fuentes organizacionales para apoyar la fase de recopilación de datos del proyecto.	0.3	Los datos están fácilmente disponibles en las fuentes existentes y se pueden extraer fácilmente para su uso.	Los datos están disponibles en fuentes existentes, pero requieren una manipulación adicional para adaptarse a los requisitos del proyecto.	No hay datos fácilmente disponibles; el equipo debe diseñar e implementar nuevos sistemas de captura de datos.
	Tiempo para implementar	Número de meses necesarios para completar el proyecto.	0.1	<3 Meses	3-6 Meses	>6 Meses
	Costo de implementación	El costo incremental de realizar el proyecto (E) y el costo de implementar el nuevo proceso. Los costos de implementación incluyen costos variables e incrementales directos de implementar mejoras en el proceso (por ejemplo, soporte adicional del contrato) y cualquier costo/material para implementar o mantener el proceso mejorado (por ejemplo, nueva tecnología necesaria de software o capacitación del personal). Facilidad de la implementación interna que afecta el proyecto (dentro y la facilidad, libertad o no restricciones presupuestarias).	0.2	<10% de los ahorros esperados, o un período de recuperación de >1 año.	10-50% de los ahorros esperados, o un período de recuperación de 1 a 3 años.	>50% de los ahorros esperados, o un período de amortización de >3 años.
	Riesgo del proyecto		0.2	Bajo	Medio	Alto

Figura 5. Guía de puntaje de matriz de priorización.

Por último, se calificó cada uno de los parámetros tanto de los aspectos de beneficio como los de esfuerzo para los cuatro proyectos planteados con la ayuda de la gerencia de la empresa. Los resultados de la matriz de priorización al evaluar los cuatro proyectos se aprecian en la Figura 6.



**Figura 6.** Matriz de priorización de proyectos.

De acuerdo a los resultados proporcionados por la matriz de priorización de proyectos se muestra que los proyectos más importantes de acuerdo a la relación Beneficio/Esfuerzo para empresa son los proyectos C y B. Por lo tanto, el principal objetivo del proyecto será reducir el tiempo de configuración e implementar un programa para la gestión de la cadena de suministro.

## 4.3 Ejecución

En la fase de ejecución se pretende utilizar la metodología DMAIC para estructurar el proyecto de manera adecuada. A continuación, se presenta el desarrollo de cada una de las fases de la metodología DMAIC para el proyecto: “Gestión de la cadena de suministro por medio de Lean Six Sigma en una MIPYME”.

### 4.3.1 Definir

La fase de definición tiene como objetivo plantear el problema del proyecto de acuerdo a las necesidades del negocio y el cliente. Se busca establecer todo lo relacionado a la planeación y proyección del proyecto alcance, tiempos, recursos, objetivos y metas. En esta fase se desarrollan las siguientes actividades:

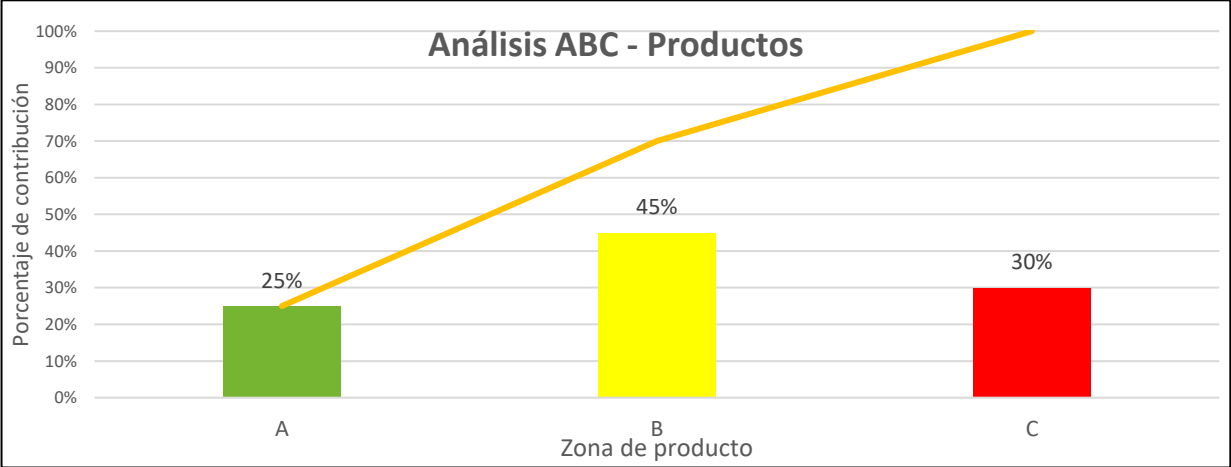
#### 4.3.1.1 Análisis ABC

Primeramente, se utilizó el análisis ABC para identificar los productos de la empresa más importantes en términos de volumen de demanda e ingreso económico. La empresa cuenta con los siguientes productos:

**Tabla 2.** Catálogo de productos

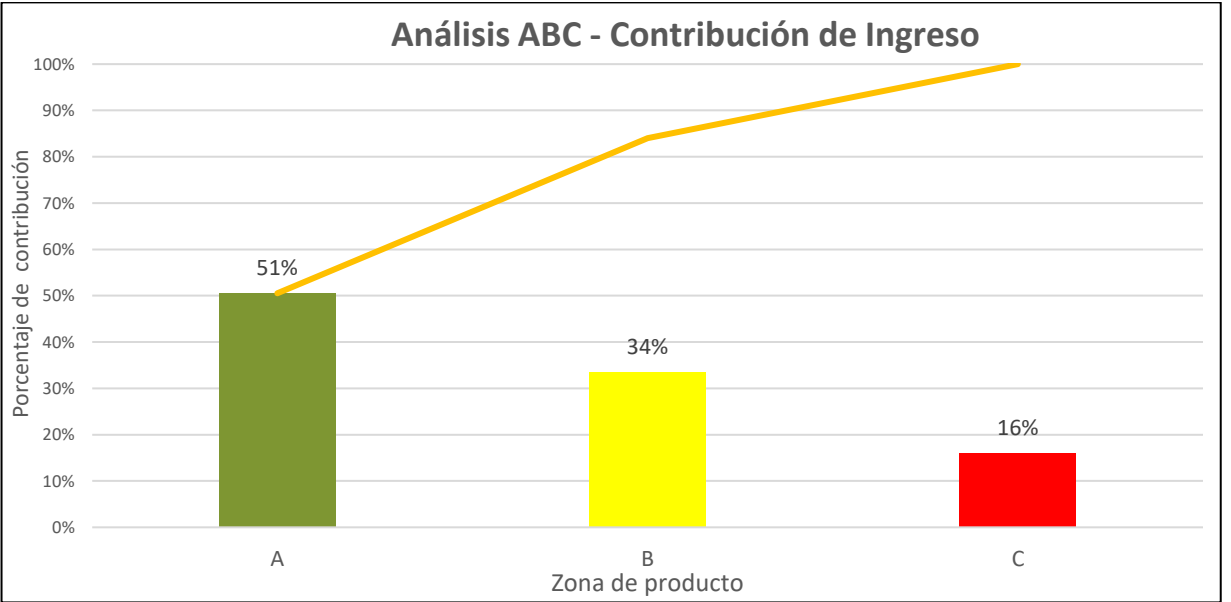
Producto
Vaso térmico de papel de bambú 12 oz
Caja kraft #3
Tenedor de concha marina negra
Cuchara de concha marina negra
Vaso térmico de papel de bambú 16 oz
Tapa térmica blanca PLA
Contenedor bagazo de caña 9x9
Vaso p/bebida fría PLA 16 oz
Vaso p/bebida fría PLA 12 oz
Contenedor fécula de maíz 9x9
Vaso térmico papel de bambú 8 oz
Contenedor fécula de maíz 6x6
Tapa térmica negra PLA
Tapa plana PLA 10-12 oz y 16-24oz
Plato bagazo de trigo
Contenedor bagazo de caña 8x8
Tapa térmica PLA 8 oz
Caja kraft #4
Manga térmica reciclada
Tapa de boquilla PLA 10-12 oz y 16-24oz

Se desarrollaron dos diagramas de Pareto para mostrar los resultados del análisis ABC. El primer diagrama muestra la cantidad de productos que se encuentran en cada zona de acuerdo al análisis ABC. De esta forma se puede apreciar que la clasificación de productos en la empresa se conforma con 5 productos tipo “A”, 9 productos tipo “B” y 6 productos tipo “C”.



**Figura 7.** Análisis ABC – Productos.

Por otro lado, el segundo diagrama de Pareto indica el porcentaje de contribución de ingresos según la zona del producto. Se puede apreciar los productos “A” significan el 51% de los ingresos de la empresa, los productos “B” el 34% y los productos “C” el 16%.



**Figura 8.** Análisis ABC – Contribución de ingreso

El análisis ABC nos permitió identificar que los productos más importantes para la empresa por su contribución al ingreso y demanda son los siguientes:

**Tabla 3.** Productos tipo “A”

Producto	Zona
Vaso térmico de papel de bambú 12 oz	A
Caja kraft #3	A
Vaso térmico de papel de bambú 16 oz	A
Cuchara de concha marina negra	A
Tenedor de concha marina negra	A

Se puede observar que 5 productos corresponden a la categoría “A” lo que convierte a estos productos los más importantes para la empresa en cuestión de cantidad de demanda e ingreso. De los 5 productos clasificados “A” la empresa solo produce el vaso térmico y la caja Kraft. Sin embargo, durante el transcurso del proyecto la empresa tomo una decisión gerencial de dejar de producir la caja Kraft y dedicarse de lleno a la fabricación del vaso térmico. Por lo tanto, se ha decidido únicamente abordar el proyecto para analizar el vaso térmico que es el producto insignia de la empresa y el producto que más ingreso genera.

#### 4.3.1.2 Diagnóstico

El proceso de vaso térmico ha presentado en tres meses alrededor de 100 horas de tiempo inactivo por fallas en la máquina de vasos ya que al ser un proceso nuevo para la empresa cuando surge un fallo que no se había presentado toma tiempo el analizar el problema y buscar como solucionarlo. En ocasiones por la necesidad de tener que cumplir con la demanda y los tiempos de entrega se ha utilizado la máquina sin estar en óptimas condiciones, esto aumenta la probabilidad de que se presenten productos defectuosos. Así pues, en los últimos tres meses se han presentado alrededor de 12,300 piezas defectuosas. Aunado esto la empresa afirma tener un tiempo de configuración superior a las dos horas, lo que significa tiempo muerto cada vez que se requiere un cambio de modelo. Por último, la empresa afirma haber sufrido múltiples paros de producción por falta de materia primas. Si esto continua se puede recaer en penalizaciones por incumplimiento en la cantidad y fechas de entregas de las ordenes de sus clientes y en el peor de los casos perder el contrato con su cliente más significativo.

### 4.3.1.3 Carta de proyecto

Se utilizó la carta de proyecto para definir la problemática del proyecto, las partes interesadas, los objetivos y las metas que se quieren cumplir durante la ejecución del proyecto. Los objetivos que plantea el proyecto será proponer un sistema de gestión de la cadena de suministro para reducir los cortos de material y tener una mejor planeación de las operaciones, reducir el tiempo de configuración 20%, reducir el tiempo inactivo de la máquina de vaso térmico un 10% y estandarizar el proceso del cambio de configuración.

A continuación, se muestra la carta de proyecto elaborada:

#### "Gestión de la Cadena de suministro por medio de Lean Six Sigma en una Micro PyME"

Planteamiento del problema		Caso de negocio y beneficios																					
La empresa ha presentado en tres meses alrededor de 100 horas de tiempo inactivo por fallas en la máquina de vasos, paros por falta de material y altos tiempos de configuración. Aunado esto la empresa ha presentado alrededor de 13,000 piezas defectuosas en el proceso de vaso termico. Si esto continua se puede recaer en penalizaciones por incumplimiento en la cantidad de pedido de los clientes y en el peor de los casos perder el contrato con su cliente más significativo.		Un sistema de gestión de suministro, reducir el tiempo de configuración de la máquina y el tiempo inactivo de la máquina ocasionará que la empresa cuente con un proceso más controlado, que a su vez aumentará la satisfacción del cliente y reducirá los costos para la empresa.																					
Declaración de objetivos		Cronograma																					
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Proponer un sistema para la gestión de la cadena de suministro</li> <li>* Proponer la reducción del tiempo de configuración de la máquina de vaso mediante alguna metodología.</li> <li>* Documentar y estandarizar el proceso de Vaso termico</li> <li>* Analizar el tiempo de inactivo de la máquina de vasos y proponer acciones de mejora pertinentes.</li> </ul>		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Fase</th> <th>Fecha de planeada</th> <th>Real</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Definir</td> <td>15-Mar-23</td> <td>10-Mar-23</td> </tr> <tr> <td>Medir</td> <td>30-Apr-23</td> <td>26-Apr-23</td> </tr> <tr> <td>Analizar</td> <td>31-May-23</td> <td>30-May-23</td> </tr> <tr> <td>Mejorar</td> <td>30-Oct-23</td> <td>30-Oct-23</td> </tr> <tr> <td>Controlar</td> <td>22-Dec-23</td> <td>8-Dec-23</td> </tr> </tbody> </table>				Fase	Fecha de planeada	Real	Definir	15-Mar-23	10-Mar-23	Medir	30-Apr-23	26-Apr-23	Analizar	31-May-23	30-May-23	Mejorar	30-Oct-23	30-Oct-23	Controlar	22-Dec-23	8-Dec-23
Fase	Fecha de planeada	Real																					
Definir	15-Mar-23	10-Mar-23																					
Medir	30-Apr-23	26-Apr-23																					
Analizar	31-May-23	30-May-23																					
Mejorar	30-Oct-23	30-Oct-23																					
Controlar	22-Dec-23	8-Dec-23																					
Alcance de entrada/salida		Miembros del equipo																					
<b>1er paso del proceso</b>	Orden del cliente	<b>Posición</b>	<b>Persona</b>	<b>Título</b>	<b>% de Tiempo</b>																		
<b>Último paso del proceso</b>	Entrega de pedido al cliente	Team Lead	Luis	Consultor externo	80%																		
<b>En alcance:</b>	Preparar material de entrada, manufacturar producto, inspeccionar producto y empaquetar producto	Sponsor	Alberto	Gerente general	5%																		
<b>Fuera de alcance:</b>	Fallos de entrega del proveedor	Team Member	Daniel	Gerente de operaciones	10%																		
		Team Member	Michelle	Encargada de producción	5%																		

Figura 9. Carta de proyecto.

#### 4.3.2 Medir

Esta fase tiene como objetivo establecer una línea base para la medición del rendimiento del proceso del vaso térmico para ello se recogen datos fiables del proceso y se analizaron mediante las siguientes actividades:

##### 4.3.2.1 Measurement System Analysis (MSA)

Para comenzar la etapa de medición se va a analizar el sistema de medición (MSA) con el que cuenta la empresa para definir si un producto es defectuoso o no. La empresa no cuenta con un sistema de medición cuantitativo. Sin embargo, como forma de medición de calidad cuenta con una operación en la que se decide de manera apreciativa si un producto es defectuoso o no. Por lo tanto, para realizar el análisis del sistema de medición se debe utilizar el método de “análisis de concordancia de atributos” ya que se cuenta con datos de tipo discreto.

Para llevar a cabo el análisis de concordancia de atributos se utilizó una muestra de 50 unidades, de las cual 25 unidades fue de material defectuoso y la otra mitad de material satisfactorio, en la figura 10 se puede apreciar las muestras utilizadas.



**Figura 10.** Muestras de producto para MSA.

El estudio fue efectuado a dos operadores distintos que realizan la operación de inspección para determinar si un producto tiene o no defecto. Lo mas recomendable es realizar el estudio de análisis de concordancia con al menos tres evaluadores distintos, pero si el proceso solo cuenta con dos operadores disponible no existe ningún inconveniente para llevar a cabo el estudio, tal como se define en las consideraciones de los datos para el análisis de concordancia de atributos de MiniTab [47].

El estudio se basó en dos mediciones, en donde los evaluadores clasificaron cada muestra en dos ocasiones distintas. Después, para el registro de datos, se utilizó una plantilla de Excel para registrar las 50 respuestas de los dos operadores estudiados tal como lo muestra la figura 11. El análisis consistió en dos repeticiones, las cuales se ejecutaron en diferentes días.



Appraiser	Sample	Trial	Response	Standard
Operador 1	1	1	Bueno	Bueno
Operador 1	1	2	Bueno	Bueno
Operador 1	2	1	Bueno	Bueno
Operador 1	2	2	Bueno	Bueno
Operador 1	3	1	Bueno	Bueno
Operador 1	3	2	Bueno	Bueno
Operador 1	4	1	Malo	Malo
Operador 1	4	2	Malo	Malo
Operador 1	5	1	Malo	Malo
Operador 1	5	2	Malo	Malo
Operador 1	6	1	Bueno	Bueno
Operador 1	6	2	Bueno	Bueno
Operador 1	7	1	Malo	Malo
Operador 1	7	2	Malo	Malo
Operador 1	8	1	Malo	Malo
Operador 1	8	2	Malo	Malo
Operador 1	9	1	Bueno	Bueno
Operador 1	9	2	Bueno	Bueno
Operador 1	10	1	Bueno	Bueno
Operador 1	10	2	Bueno	Bueno

**Figura 11.** Registro de análisis de concordancia para MSA.

Por último, se utilizó el software estadístico Minitab 2020 para analizar el sistema de medición de la empresa. A continuación, se muestran los resultados del análisis de concordancia:

- Evaluación de concordancia de los operadores

Los operadores presentan una buena tasa de concordancia en sus respuestas en ambos intentos, el operador 1 coincidió en sus respuestas en 49 ocasiones mientras el operador 2 coincidió en 48 ocasiones de 50 posibles. Con un porcentaje de concordancia de 98% y 96% para respectivamente nos dice que los operadores muestran tener el mismo criterio de manera constante.

Within Appraisers				
Assessment Agreement				
Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
Operador 1	50	49	98.00	(89.35, 99.95)
Operador 2	50	48	96.00	(86.29, 99.51)

# Matched: Appraiser agrees with him/herself across trials.

**Figura 12.** Evaluación de concordancia por operador

- Evaluación de concordancia de los operadores contra el estándar

Este análisis muestra los aciertos que tuvo cada operador con respecto al estándar, donde ambos evaluadores coincidieron respondiendo bien en 45 ocasiones de 50 posibles, lo que significa que obtuvieron 90% de aceptación en sus respuestas en contra del estándar.

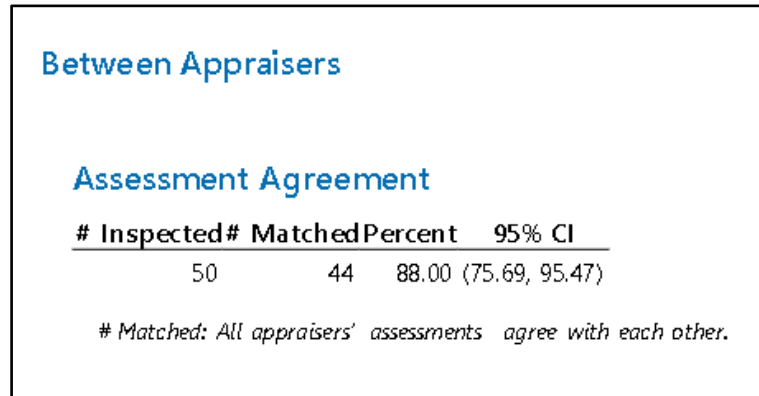
Each Appraiser vs Standard				
Assessment Agreement				
Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
Operador 1	50	45	90.00	(78.19, 96.67)
Operador 2	50	45	90.00	(78.19, 96.67)

# Matched: Appraiser's assessment across trials agrees with the known standard.

**Figura 13.** Evaluación de concordancia operador-estándar

- Evaluación de concordancia operador contra operador

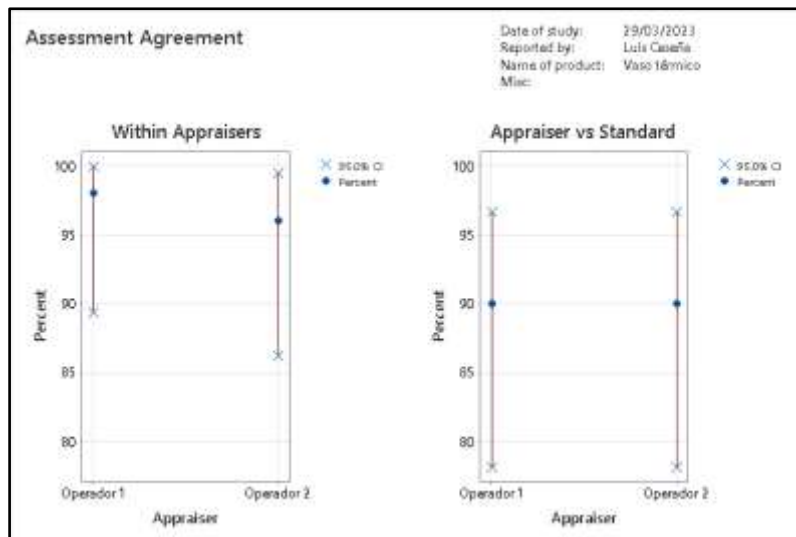
Este análisis muestra los aciertos en los que coincidieron ambos operadores, donde ambos operadores respondieron de igual forma en 44 ocasiones de 50 posibles, lo que significa un 88% de concordancia entre las respuestas de los operadores.



**Figura 14.** Evaluación de concordancia operador-operador

En general el sistema de medición de la empresa presenta áreas de mejora, pero con un promedio de 90% de efectividad se puede concluir que la evaluación de concordancia del proceso de vaso térmico es aceptable.

En conclusión, de este análisis de concordancia muestran que los operadores cuentan con un 95% de asertividad entre sus respuestas y un 90% de asertividad contra el estándar, tal como se puede apreciar en la Figura 15. Por lo tanto, se considera que la consistencia en el proceso y los criterios de inspección de la empresa son aceptables.



**Figura 15.** Evaluación de concordancia.

El análisis de concordancia de atributos elaborado anteriormente ayudó a identificar que existe una confiabilidad aceptable en los criterios de calidad de la empresa. Esto nos dice que es posible confiar en los datos recabados ya que la experiencia de los trabajadores permite aceptar el sistema de medición de la empresa.

#### 4.3.2.2 Índice de capacidad del proceso

Como el sistema de medición es confiable es posible efectuar un estudio de índice de capacidad de proceso. Al igual que para el análisis de concordancia para efectuar el estudio de índice de capacidad se cuenta con datos de tipo discreto, esto nos dice que la herramienta más adecuada para este estudio es el análisis de capacidad binomial.

Para llevar a cabo el análisis de capacidad binomial se necesitan dos datos: la cantidad total de piezas producidas y la cantidad de defectos en la muestra. Para recabar esta información se empleó la bitácora de fallas de la máquina de vasos térmico implementada en la fase de preparación que se puede apreciar en la figura 16, dicha bitácora es utilizada por el encargado de producción diariamente para registrar los datos necesarios.

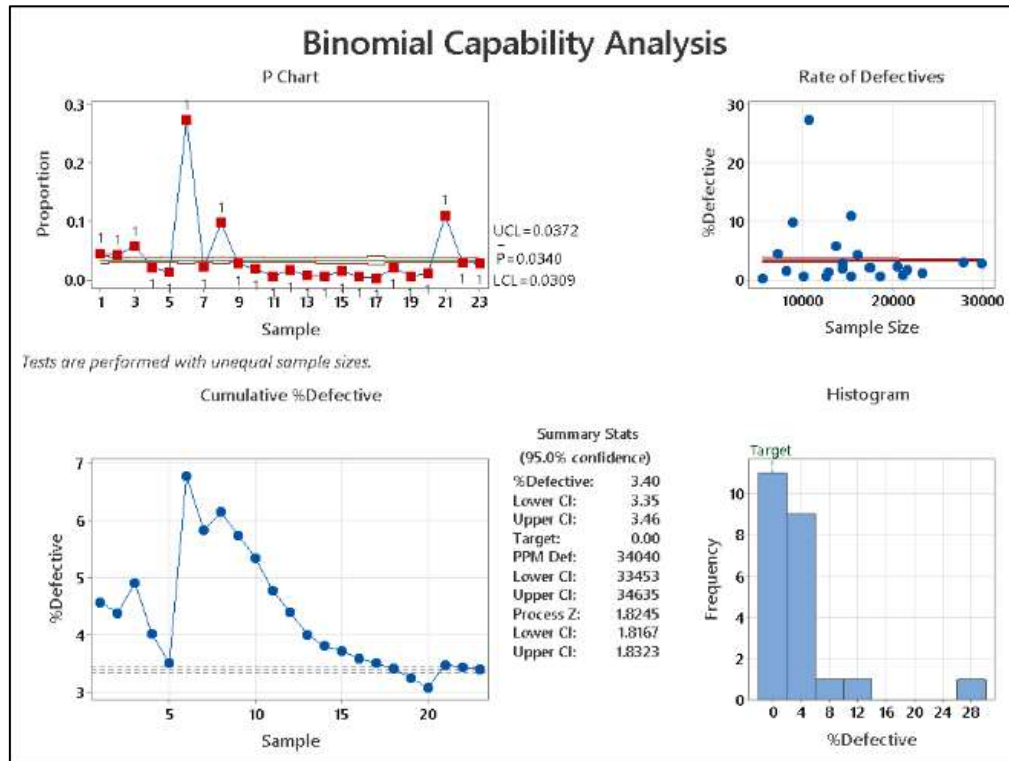
No.	Fecha	Hora de Inicio	Hora Final	Tiempo de Falla (min)	Cajas terminadas	Piezas de caja terminada	Contador de máquina	Producto Defectuoso
1	31/01/2023	10:38	16:45	41	69	6900	7231	331
2	01/02/2023	08:24	16:45	71	154	15400	16034	694
3	02/02/2023	09:00	16:45	165	12875	12675	13699	794
4	07/02/2023	09:15	16:45	73	17	17000	17369	368
5	08/02/2023	08:58	16:48	240	127	12700	12874	174
6	09/02/2023	08:37	16:45	198	78	7800	10726	2926
7	10/02/2023	08:26	13:57	20	20	20000	20451	451
8	13/02/2023	09:20	12:50	59	8	8000	9966	966
9	14/02/2023	08:45	16:55	75	14	14000	14396	396
10	16/02/2023	08:35	16:30	45	141	14100	14377	277
11	20/02/2023	12:41	18:47	10	185	18500	18629	129
12	21/02/2023	08:54	16:46	29	2125	21250	21514	264
13	22/02/2023	09:36	16:43	68	2097	20970	21132	162
14	23/02/2023	08:34	16:13	55	1255	12550	12638	88
15	24/02/2023	09:28	12:50	43	8	8000	8123	123
16	28/02/2023	08:53	11:44	5	10	10000	10062	62
17	02/03/2023	10:46	12:15	10	55	5500	5517	17
18	06/03/2023	09:00	16:47	113	171	17100	17468	368
19	07/03/2023	08:49	16:45	42	15225	15225	15327	102
20	08/03/2023	08:45	16:40	33	23	23000	23298	298
21	15/03/2023	08:32	16:10	56	137	13700	13933	1693
22	23/03/2023	08:30	16:47	167	27	27000	27836	836
24	24/03/2023	08:54	18:48	54	29	29000	29812	812

**Figura 16.** Registro de bitácora de máquina de vaso térmico.

Una vez obtenidos los datos se utilizó nuevamente el software MiniTab 2020 para realizar el análisis de capacidad binomial y con ello conocer el estado del proceso actual.

Los resultados del análisis de capacidad binomial confirman con un 95% de confianza que el porcentaje de defectos de la muestra es de 3.40%, el PPM nos dice que por cada millón de producto habrá 34,040 piezas defectuosas (ver figura 17). De acuerdo a la cantidad de defectos presentados en la muestra se puede afirmar que la empresa cuenta con un proceso aceptable.

Esto nos dice que las 12,354 piezas defectuosas no se pueden considerar como un problema ya que al comparar las piezas defectuosas de la muestra con el total de vasos producidos (362, 000 vasos) se afirma estadísticamente que las 12,354 piezas defectuosas son un número aceptable de defectos en el proceso.



**Figura 17.** Capacidad binomial del proceso.

Los resultados del análisis de capacidad binomial indica que se cuenta con una cantidad de defectos aceptable. Por otro lado, el proceso presenta varios puntos fuera de control, sin embargo, de acuerdo a la empresa los registros que muestran estos datos fuera de control fueron registrados cuando la máquina presento una avería, pero por la necesidad de cumplir con la demanda del cliente se utilizó la máquina en un estado no óptimo generando una mayor cantidad de defectos. Por lo tanto, omitiendo los datos fuera de control por esta situación extraordinaria se puede observar que el resto de los datos muestran un comportamiento consistente por lo que se puede considerar como un proceso estable para una MIPYME en crecimiento.

#### 4.3.2.3 Prueba de hipótesis

La empresa se encuentra en crecimiento, en donde a partir de 2023 ha adquirido nuevos clientes que han significado un incremento en la demanda de sus productos. En vista de que las cantidades de los periodos ha incrementado notoriamente se plantea demostrar estadísticamente si la llegada de estos nuevos clientes han impacto de manera significativa la demanda de los productos, ya que de ser así no sería conveniente utilizar la demanda histórica de 2022 para cálculos de pronósticos de la demanda ya que estos datos no arrojarían un pronóstico cercano a la realidad. La demanda histórica de vaso térmico para los años 2022 y 2023 se presenta a continuación:

**Tabla 4.** Demanda histórica de vaso térmico.

Mes	Demanda 2022	Demanda 2023
Mayo	12.40	49.90
Junio	12.70	355.35
Julio	12.10	205.50
Agosto	10.40	58.20
Septiembre	16.30	55
Octubre	12.90	64
Noviembre	32.50	205
Diciembre	40	197

- Prueba de hipótesis de medias

Definiendo la prueba de hipótesis:

$$H_0: \mu_{2022} = \mu_{2023}$$

$$H_1: \mu_{2022} \neq \mu_{2023}$$

Nivel de significancia:

$$\alpha = 0.05$$

Estadística descriptiva:

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
Demanda 2022	8	18.7	11.2	3.9
Demanda 2023	8	149	110	39

**Figura 18.** Estadística descriptiva de prueba de hipótesis para medias.

Cálculo de prueba de hipótesis:

		95% Upper Bound
Difference		for Difference
-130,1		-55,7
T-Value	DF	P-Value
-3,32	7	0,006

**Figura 19.** Cálculo de prueba de hipótesis de medias.

Conclusión:

Se rechaza la hipótesis nula si:  $P\text{ Value} < 0.05$

Debido a que el P- Value igual a 0.006 es menor al valor de significancia de 0.05, no se acepta la hipótesis nula. Por lo que se acepta la hipótesis alternativa, que nos dice que la media de la demanda 2023 es mayor a la demanda de 2022. Lo anterior permite afirmar estadísticamente que hubo un cambio significativo en la demanda tras la llegada de los nuevos clientes.

- Prueba de hipótesis de varianza

Definiendo la prueba de hipótesis:

$$H_0: \sigma_{2022} = \sigma_{2023}$$

$$H_1: \sigma_{2022} \neq \sigma_{2023}$$

Nivel de significancia:

$$\alpha = 0.05$$

Estadística descriptiva:

Variable	N	StDev	Variance	95% CI for $\sigma$
Demanda 2022	8	11.159	124.523	(3.916, 42.119)
Demanda 2023	8	110.294	12164.839	(59.573, 270.462)

**Figura 20.** Estadística descriptiva de prueba de hipótesis de varianza.

Cálculo de prueba de hipótesis:

Method	Test			
	Statistic	DF1	DF2	P-Value
Bonett	13.97	1		0.000
Levene	19.25	1	14	0.001

**Figura 21.** Cálculo de prueba de hipótesis de varianza

Conclusión:

Se rechaza la hipótesis nula si:  $P\text{ Value} < 0.05$

Debido a que el P-Value igual a 0.001 es menor al valor de significancia de 0.05, no se acepta la hipótesis nula. Por lo que se acepta la hipótesis alternativa, que nos dice que la desviación estándar de la demanda de 2023 es diferente a la demanda de 2022. Lo anterior permite afirmar estadísticamente que la varianza de la demanda del 2022 y 2023 son diferentes.

Las pruebas de hipótesis de la demanda nos muestran que no es factible realizar un pronóstico de la demanda utilizando el periodo 2022 y 2023 ya que quedó demostrado estadísticamente que la demanda es muy diferente en los periodos. Al utilizar esta información para pronósticos de la demanda generará datos erróneos ya que no se podrá plasmar la demanda real futura.

#### 4.3.2.4 Demanda

Como se comentó la empresa se encuentra en crecimiento, tanto que a finales de 2023 la empresa logró adquirir un cliente nuevo que garantizará una demanda mensual de 750 cajas de vaso térmica al mes. En vista que solo se cuenta con datos de la demanda histórica de un periodo se optó por sumar la demanda del periodo 2023 más la nueva demanda asegurada de 750 cajas al mes para obtener una demanda de referencia de 2024 con la cual se realizar cálculos con valores lo más cercano a la realidad posible.

**Tabla 5.** Demanda de referencia

Mes	Demanda 2023	Demanda de referencia 2024
Enero	56	806
Febrero	88	838
Marzo	83	833
Abril	31	781
Mayo	50	800
Junio	355	1,105
Julio	205	955
Agosto	58	808
Septiembre	55	805
Octubre	64	814
Noviembre	205	955
Diciembre	197	947

#### 4.3.2.5 Cambio de configuración de vaso térmico

Por último, para concluir la etapa de medir se tomó tiempos de cada actividad del proceso de cambio de configuración de la máquina de vasos térmicos para conocer con exactitud el tiempo requerido para efectuar el cambio de configuración. Los tiempos del cambio de configuración se muestran en tabla 6.

**Tabla 6.** Resumen de tiempos de setup.

Nº Paso	Descripción	Tiempo Total (min)
1	Quitar moldes giratorios	10.77
2	Cambiar base de resistencia	20.42
3	Cambiar la base de enroscado superior	8.65
4	Poner moldes giratorios	23.25
5	Cambiar molde central de sellado	9.47
6	Cambiar alas metálicas del molde central de sellado	21.50
7	Ajustar cabezal ultrasónico de sellado y alas metálicas de sellado	24.75
8	Ajuste final de máquina	25.40

El proceso de configuración de la máquina de vaso térmico se agrupó en 8 pasos generales, dando un total de 150.7 minutos o 2.51 horas. La empresa cuenta con un proceso de configuración de casi tres horas, lo cual es un valor muy elevado lo cual significa tiempo muerto y pérdida para la empresa cada vez que se efectúa este proceso.

#### 4.3.3 Analizar

Esta fase busca identificar los factores críticos del proceso y analizar las causas raíz que afectan a las variables de entrada y salida vinculadas a los objetivos del proceso. Las actividades a realizar en esta fase son:

##### 4.3.3.1 Diagrama de flujo

Como primer paso en esta fase se va a analizar el proceso del vaso térmico con la finalidad de conocer el flujo de las actividades del proceso para poder analizar y entender mejor el desempeño de éste.



**Figura 22.** Diagrama de flujo del proceso de vaso térmico

El diagrama de flujo nos permite observar que el proceso de vaso térmico cuenta con 7 actividades. De estas actividades se destaca que las hojas de papel de bambú deben ser rociadas de agua y dejar reposar alrededor de 20 minutos antes de poder introducir el material a la máquina de vasos, esto con la finalidad de que el producto sea maleable y no presente defectos. La otra actividad a destacar es el proceso de inspección, el cual consta que por medio de la apreciación del operador se defina si un producto es defectuoso o no.

4.3.3.2 Análisis de tiempo

Se realizó un análisis de tiempos basado de las técnicas del estudio del trabajo para conocer el porcentaje de eficiencia del proceso. El vaso térmico cuenta con tres tipos de empaque 10 pz, 25 pz y 50 pz, a continuación, se muestra una tabla resumen del análisis de tiempos:

**Tabla 7.** Resumen de análisis de tiempos.

Producto	Piezas por hora (Cajas)	Tiempo de ciclo (seg)	No. Operadores	Porcentaje de balanceo (%)
Vaso térmico 10 pz	2.29	1.33	3	89.44
Vaso térmico 25 pz	3.18	0.96	3	76.92
Vaso térmico 50 pz	3.18	0.96	3	76.92

#### 4.3.3.3 Partes por millón (PPM)

Se analizó el estado actual del proceso de vasos térmicos mediante el indicador crítico de calidad partes por millón (PPM). Para calcular estos parámetros se empleó una la bitácora de fallas de la máquina de vasos nuevamente. El cálculo de este parámetro se muestra a continuación:

$$PPM = \frac{(12,354 \text{ vasos defectuosos})(1,000,000)}{362,924 \text{ vasos totales}} = 34,040.18 \quad \text{Ec. 1}$$

De acuerdo al valor PPM 34,040.18 la empresa cuenta con un promedio de 3.40% de producto defectuoso. Al comparar el valor de defectos con la tabla 8 podemos clasificar a la empresa con un nivel de 3.3 Sigmas, lo cual significa que la empresa al ser de tamaño pequeña y en crecimiento se considera un promedio de defectos aceptable.

**Tabla 8.** Tabla de conversión Sigma-PPM.

Sigma	PPM
6.0	3.4
5.0	230
4.0	6,210
3.4	28,700
3.3	35,900
3.2	44,600
3.1	54,800
3.0	66,800
2.0	308,000
1.0	690,000

#### 4.3.3.4 First Pass Yield (FPY)

También se utilizó el parámetro de calidad FPY para permitir a la empresa conocer el porcentaje de unidades buenas producidas sin necesidad de retrabajo. De igual manera se utilizó los datos recabados en la bitácora de fallos para obtener los datos. A continuación, se presenta el cálculo del FPY para la empresa:

$$FPY = \frac{350,570 \text{ vasos totales} - 12,354 \text{ vasos defectuosos} - 0 \text{ retrabajo}}{350,570 \text{ vasos totales}} * 100 = 96.47\% \quad \text{Ec. 2}$$

Según los datos registrados la máquina de vaso térmico cuenta con un FPY promedio del 96.47%. Al comparar el valor FPY con la tabla 9 podemos clasificar a la empresa con un nivel de 3.3 Sigmas, lo cual significa que la empresa cuenta con un rendimiento aceptable.

**Tabla 9.** Tabla de conversión Sigma FPY

Porcentaje Yield	Sigma
99.99966	6.0
99.977	5.0
99.379	4.0
97.13	3.4
96.41	3.3
95.54	3.2
94.52	3.1
93.32	3.0
69.2	2.0
31	1.0

#### 4.3.3.5 Overall Equipment Effectiveness (OEE)

Como tercer parámetro de calidad se utilizó la Eficacia General del Equipo (OEE), dicho parámetro engloba en una sola métrica porcentual tres parámetros fundamentales para producción: Disponibilidad, rendimiento y calidad. A continuación, se muestra el cálculo correspondiente:

#### **Disponibilidad:**

La disponibilidad es la comparación de la cantidad de tiempo que la máquina realmente funciona y el tiempo para el cual está programada la máquina para trabajar. El cálculo de la disponibilidad de la máquina de vasos térmicos se da a continuación:

$$\text{Disponibilidad (\%)} = \frac{8,380 \text{ min} - 1,703 \text{ min}}{8,380 \text{ min}} * 100 = 79.67\% \quad \text{Ec. 3}$$

### **Desempeño:**

Como segundo elemento del cálculo de OEE, el rendimiento es la multiplicación de la velocidad de funcionamiento y tasa operativa neta. El cálculo se muestra a continuación:

$$\text{Desempeño (\%)} = \frac{351 \text{ cajas} * 960 \text{ seg}}{(8,380 \text{ min} - 1,703 \text{ min}) * 60 \text{ seg}} * 100 = 84\% \quad \text{Ec. 4}$$

### **Calidad:**

Este factor es el último respecto al cálculo del OEE, el índice de calidad destaca la proporción de producción defectuosa al volumen total de producción. El cálculo del parámetro de calidad se muestra a continuación:

$$\text{Calidad (\%)} = \frac{350,570 \text{ vasos térmico}}{362,924 \text{ vasos térmico}} * 100 = 96.59\% \quad \text{Ec. 5}$$

### **Parámetro OEE:**

La eficacia general del equipo (OEE) es producto de los tres factores calculados anteriormente, y se calcula en porcentaje. El cálculo final de OEE a continuación:

$$\text{OEE} = 0.7967 * 0.84 * 0.9659 = 65\% \quad \text{Ec. 6}$$

De acuerdo a los datos recabados la máquina de vaso térmico cuenta con un OEE promedio del 65%. El valor obtenido del parámetro OEE tiene una valoración cualitativa, muchos expertos coinciden en la siguiente relación:

**Tabla 10.** Clasificación OEE

OEE	Valoración	Descripción
0% – 64%	Deficiente (Inaceptable).	Se producen importantes pérdidas económicas. Existe muy baja competitividad.
65% – 74%	Regular.	Es aceptable solo si se está en proceso de mejora. Se producen pérdidas económicas. Existe baja competitividad.
75% – 84%	Aceptable.	Debe continuar la mejora para alcanzar una buena valoración. Ligeras pérdidas económicas. Competitividad ligeramente baja.
85% – 94%	Buena.	Entra en valores de Clase Mundial. Buena competitividad.
95% – 100%	Excelente.	Valores de Clase Mundial. Alta competitividad.

Según la tabla de clasificación del valor de OEE se puede observar que con un 65% la empresa se encuentra en un estado regular. Lo que indica que existen oportunidades de mejora para el funcionamiento de la máquina, especialmente en la disponibilidad de la máquina ya que pese al tiempo muerto y altos tiempos de configuración la disponibilidad de la maquina se convierte en el parámetro que más afecta al funcionamiento de la máquina.

#### 4.3.3.6 Análisis cambio de configuración

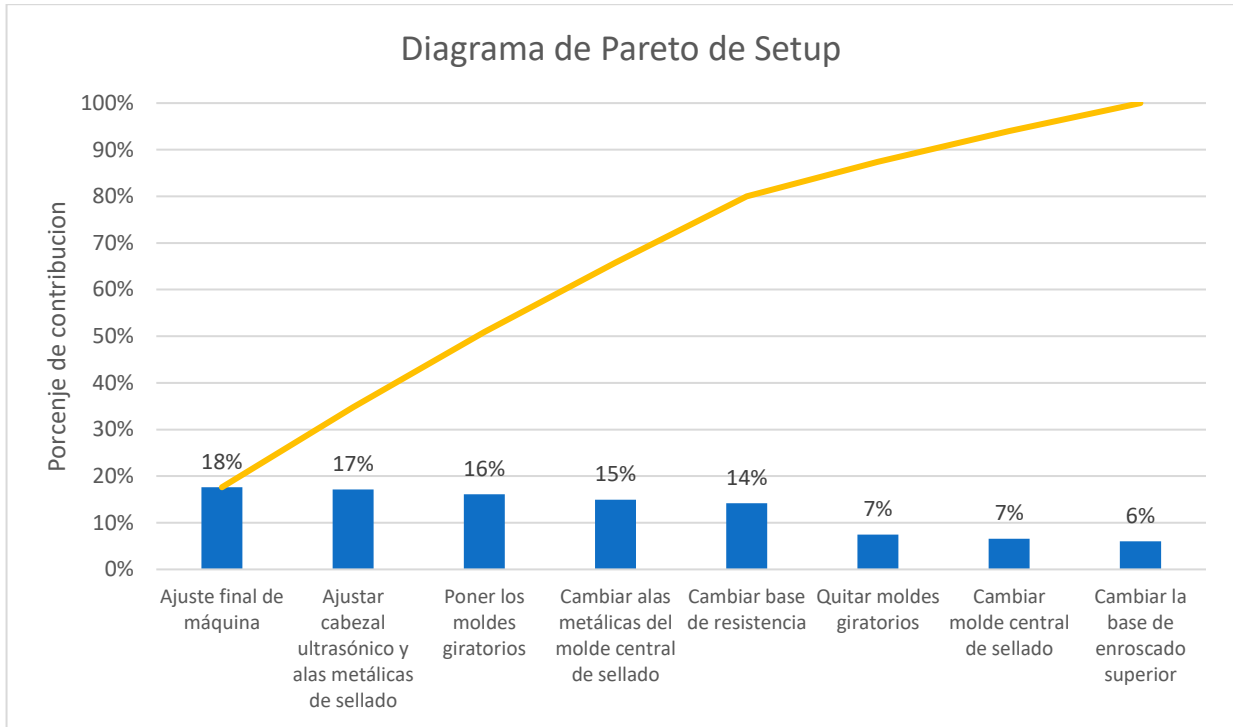
Por otro lado, para analizar más a detalle el tiempo muerto de la empresa se utilizó un diagrama de causa y efecto y un diagrama de Pareto para poder comprender mejor las causas que generan un tiempo de configuración tan alto en la empresa. Se utilizó el diagrama de causa y efecto para conocer las posibles causas que generan los tiempos de configuración elevados. Tal como se muestra a continuación:



**Figura 23.** Diagrama de Causa y Efecto de setup.

El diagrama de causa y efecto anterior muestra las principales causas que generan un tiempo alto de configuración de la máquina de vaso térmico, dentro de ellas se destacan el solo contar con un operador para efectuar el cambio, el operador presenta constantes interrupciones, la máquina cuenta con espacio estrechos para trabajar, el proceso cuenta con operaciones repetitivas, requiere apagar o encender la máquina en ciertas operaciones, el operador tiene que desplazarse por herramientas, el ajuste de la máquina es complicado y se realiza a prueba y error.

Asimismo, se realizó un diagrama de Pareto para analizar más detalle los tiempos de las actividades del proceso de setup. A continuación, se muestra el diagrama de Pareto:



**Figura 24.** Diagrama de Pareto de setup.

Se puede observar en el diagrama anterior que las actividades con mayor contribución del tiempo de configuración son los ajustes finales de la máquina debido a que los pasos son complicados y se efectúan a prueba y error hasta que la máquina quede ajustada en óptimas condiciones.

#### 4.3.3.7 Lista de materiales (BOM)

Por otro lado, para comprender mejor la cadena de suministro del proceso de vaso térmico se comenzó con desarrollar la lista de materiales (BOM) del vaso térmico para poder indicar cuales son los materiales y la cantidad exacta de material que se requiere para una caja de vaso térmico. A continuación, se muestra la lista de materiales (BOM):

**Tabla 11.** Lista de materiales de vaso térmico

Componente	Unidad	Equivalencia de caja de vasos terminada por unidad de componente	Cantidad consumida de componente en caja de vaso terminada
Lámina de papel de bambú	Caja	2	0.50
Rollo de fondo	Rollo	24	0.042
Rollo para bolsa	Rollo	45	0.022
Etiqueta 10 pz	Paquete	5	0.20
Etiqueta 25 pz	Paquete	12.5	0.08
Etiqueta 50 pz	Paquete	25	0.04
Caja multipack	Individual	1	1

El uso de BOM es de suma importancia ya que permitirá a la empresa saber con certeza la cantidad de material que se necesita para fabricar cada caja de vasos térmicos y con eso hacer una mejor planeación de su inventario.

#### 4.3.3.8 Lista de proveedores

Después se analizaron todos los proveedores y se desarrolló una lista para conocer la cantidad mínima de pedido (MOQ) y el tiempo de entrega de los productos. Esto con la finalidad de obtener información valiosa para una mejor toma de decisiones. La empresa cuenta con los siguientes proveedores:

**Tabla 12.** Lista de proveedores de vaso térmico

Nombre	País	Componente	Cantidad mínima de pedido	Tiempo de entrega
Proveedor 1	China	Lámina de bambú	3 ton / 181 cajas	2 meses
Proveedor 1	China	Rollo de fondo	3 ton / 88 cajas	2 meses
Proveedor 2	China	Lámina de bambú	5 ton / 303 cajas	2 meses
Proveedor 2	China	Rollo de fondo	5 ton / 147 cajas	2 meses
Proveedor 3	México (Tijuana)	Rollo de bolsa	Lote por lote	1 semana
Proveedor 4	México (Ensenada)	Etiqueta	Lote por lote	3 semanas
Proveedor 5	México (Ensenada)	Etiqueta	500 pz	2 semanas
Proveedor 6	México (Tijuana)	Caja multipack	500 pz	1 semana

Debido a que la empresa ha reportado paros de producción por falta de materia prima es importante analizar la lista de proveedores ya que esta información será útil para conocer los tiempos de entrega y cantidad mínima de pedido y con ello poder colocar una orden de compra en tiempo y forma para reabastecer el inventario y evitar paros en la máquina por falta de material.

#### 4.3.3.9 Política de inventario

Debido a que la empresa cuenta con una demanda variable y a que se utiliza un sistema de producción Make to Order (MTO), ya que no se cuenta con inventario de producto terminado, se plantea la utilización de la política de revisión continua como método de análisis para determinar el comportamiento de la materia prima.

Se utilizó la demanda de referencia de vaso térmico del periodo 2024 para efectuar los cálculos de política de revisión continua. La demanda histórica se muestra a continuación:

**Tabla 13.** Demanda de Vaso térmico

Mes	Demanda VT12
Enero	806
Febrero	838
Marzo	833
Abril	781
Mayo	800
Junio	1,105
Julio	955
Agosto	808
Septiembre	805
Octubre	814
Noviembre	955
Diciembre	947

Inicialmente se convirtió el valor de la demanda de vaso térmico en términos de la cantidad requerida de lámina de papel de bambú. Para convertir este valor se

multiplicó el valor de la demanda histórica del producto por la cantidad que se consume del componente identificado en el BOM, tal como se muestra a continuación:

**Tabla 14.** Demanda de vaso térmico en términos de lámina de bambú

Mes	Demanda VT12	Demanda Lamina de papel de bambú
Enero	806	403
Febrero	838	419
Marzo	833	416.5
Abril	781	390.5
Mayo	800	400
Junio	1,105	552.5
Julio	955	477.5
Agosto	808	404
Septiembre	805	402.5
Octubre	814	407
Noviembre	955	477.5
Diciembre	947	473.5

El cálculo de las políticas de revisión continua contempla los siguientes pasos:

**Paso 1: Recabar los datos de entrada**

$$\text{Demanda promedio} = 435.29 \text{ cajas/mes}$$

$$\text{Desviación estándar} = 47.02 \text{ cajas/mes}$$

$$\text{Tiempo de entrega} = 2 \text{ meses}$$

$$\text{Ventanas de pedidos} = 6$$

$$\text{Nivel de servicio del cliente} = 0.95$$

$$\text{MOQ} = 181 \text{ cajas}$$

**Paso 2: Calcular el Promedio sobre el tiempo de entrega**

$$\text{Promedio sobre el tiempo de entrega} = 435.29 \frac{\text{cajas}}{\text{mes}} * 2 \text{ meses} = 870.58 \quad \text{Ec. 7}$$

**Paso 3: Calcular la desviación estándar sobre el tiempo de entrega**

$$\text{Desviación estándar sobre el tiempo de entrega} = 47.02 \frac{\text{cajas}}{\text{mes}} * \sqrt{2 \text{ meses}} = 66.49 \quad \text{Ec. 8}$$

**Paso 4: Calcular el factor de seguridad**

Se utiliza la tabla de “Distribución Normal Estándar” para buscar dado el grado de nivel de servicio determinar el valor z correspondiente.

$$\text{Factor de seguridad} = K_{LOS} = Z_{score} = 1.645 \quad \text{Ec. 9}$$

**Paso 5: Calcular el punto de reorden**

$$\text{Punto de reorden} = 870.58 + (66.49 * 1.645) = 979.95 \quad \text{Ec. 10}$$

El valor del punto de reorden es de 980 cajas, esto quiere decir que cada vez que el inventario llegue a 980 cajas de láminas de papel de bambú se tiene que reordenar más producto considerando la cantidad mínima de pedido (MOQ) de este producto de 181 cajas de lámina de bambú.

De igual manera se analizó la política de revisión continua para los demás componentes del vaso térmico para identificar el punto de reorden. A continuación, se muestra una tabla resumen de las políticas de inventario para todos los componentes:

**Tabla 15.** Tabla resumen de punto de reorden

Componente	Unidad	Punto de reorden
Lámina de papel de bambú	Caja	980
Rollo de fondo	Rollo	83
Rollo para bolsa	Rollo	6
Etiqueta 10 pz	Paquete	6
Etiqueta 25 pz	Paquete	22
Etiqueta 50 pz	Paquete	10
Caja multipack	Individual	295

El punto de reorden en la política de revisión continua significa que cada vez que el nivel de cada componente llegue al punto de reorden se deberá levantar una orden de compra para reabastecer el inventario. De esta forma se asegura la disponibilidad del material en todo momento ya que el punto de reorden considera el lead time del material por lo que siguiendo la política de inventario cada vez que se ponga una orden habrá suficiente inventario para cubrir la demanda hasta que llegue el nuevo envío.

Por otro lado, este análisis sirvió para comprobar que con una buena gestión de la cadena de suministro la empresa puede adquirir la materia prima de manera adecuada y evitar paros de producción por cortos de material.

#### 4.3.3.10 Impacto económico

Finalmente se realizó una estimación del impacto económico que presenta la empresa por el tiempo inactivo de la máquina de vasos. Para este análisis se consideró el tiempo de horas inactivas de la máquina y el tiempo de setup, así como el precio de la mano de obra y de la máquina por hora. Para los primeros 3 meses del año se promedia un impacto económico de \$11,078 mensual. La siguiente tabla muestra los cálculos del impacto económico.

**Tabla 16.** Impacto económico

Mes	Enero	Febrero	Marzo
Horas inactivas	80.68	19.45	8.25
Horas de setup	4.8	4.8	4.8
Número de operadores	3	3	3
Costo de mano de obra (hr)	\$ 48.47	\$ 48.47	\$ 48.47
Costo de máquina	\$ 126.90	\$ 126.90	\$ 126.90
Costo de mano de obra inactivo	\$ 12,429.33	\$ 3,526.10	\$ 1,897.55
Costo de maquina inactiva	\$ 10,847.39	\$ 3,077.32	\$ 1,656.04
Costo total de horas inactivas	\$ 23,276.72	\$ 6,603.42	\$ 3,553.59

#### 4.3.4 Mejorar

La fase de mejora de la metodología DMAIC verifica el trabajo realizado en la fase de análisis a través de propuestas de acción que ayuden a mejorar el estado de la organización. En vista que la empresa se encuentra en una etapa de crecimiento y que tanto la eficiencia y la calidad del proceso son aceptables la empresa considera pertinente enfocar los esfuerzos en la reducción del tiempo de configuración, estandarización de procesos, desarrollar pronósticos de la demanda, planeación de la producción y la planeación de los requerimientos. Por lo tanto, se proponen las siguientes mejoras:

##### 4.3.4.1 Metodología SMED

Se utilizó la metodología SMED (Single Minute Exchange of Die) en el proceso de vaso térmico para reducir el tiempo de configuración. A continuación, se muestran los pasos necesarios para una correcta implementación de la metodología SMED:

##### 4.3.4.1.1 Medir el tiempo de configuración total

Primeramente, se analizó el tiempo de cada actividad y se dividió el proceso de manera más detallada en 13 pasos en donde el tiempo total de configuración es de 150.7 minutos o 2.51 horas. A continuación, se muestra una tabla con el tiempo de cada actividad dentro del de set-up de la máquina de vaso térmico:

**Tabla 17.** Actividades del set-up.

Nº Paso	Descripción	Tiempo Total (min)
1	Quitar moldes giratorios	11.83
2	Cambiar base de resistencia	9.65
3	Cambiar la base de enroscado superior	20.42
4	Poner los moldes giratorios	23.25
5	Quitar Molde central de sellado	2.80
6	Preparar molde central de sellado para set-up	5.17
7	Cambiar alas metálicas del molde central de sellado	21.50
8	Poner molde central de sellado que requiere el set-up	1.50
9	Ajustar cabezal ultrasónico de sellado y alas metálicas de sellado	24.75
10	Ajustar bandeja de entrada del material	2.05
11	Ajustar límite de hoja de papel en la parte de sellado	9.03
12	Corrida de vaso para ajustes en el sellado	8.20
13	Corrida de vaso para ajuste de dobles superior	10.55

#### 4.3.4.1.2 Determinar los pasos internos y externos

El segundo paso de la metodología SMED consta de identificar los pasos internos y externos del cambio de configuración. Para la clasificación de los pasos internos y externos se analizó cada uno de los pasos del proceso de setup. Después de analizar cada una de las actividades por separado se obtuvo que 63 actividades son consideradas internas y únicamente 10 de ellas externas. En seguida se muestran una tabla resumen de la identificación de todos los pasos internos y externos.

**Tabla 18.** Clasificación actividades interna /externa.

N° Paso	Descripción	Interna	Externa
1	Quitar moldes giratorios	6	1
2	Cambiar base de resistencia	7	1
3	Cambiar la base de enroscado superior	5	3
4	Poner los moldes giratorios	7	1
5	Quitar Molde central de sellado	4	1
6	Preparar molde central de sellado para set-up	2	1
7	Cambiar alas metálicas del molde central de sellado	12	1
8	Poner molde central de sellado que requiere el set-up	2	0
9	Ajustar cabezal ultrasónico de sellado y alas metálicas de sellado	3	0
10	Ajustar bandeja de entrada del material	4	0
11	Ajustar pluma y límite de hoja de papel en la parte de sellado	3	0
12	Corrida de vaso para ajustes en el sellado	4	0
13	Corrida de vaso para ajuste de dobles superior	4	1
	Total	63	10

#### 4.3.4.1.3 Mover los pasos externos a fuera del set-up

El tercer paso de la metodología SMED consta de identificar y sacar del proceso de configuración las actividades externas. De esta manera estas actividades se llevarán a cabo antes o después del proceso de configuración. En seguida se muestra un resumen de las actividades externas:

**Tabla 19.** Resumen actividades externas.

N° Paso	Descripción	N° Sub paso	Descripción sub-actividad	Tiempo (Min)
1	Quitar moldes giratorios	1	Buscar herramienta	1
2	Cambiar base de resistencia	1	Buscar herramienta	1
3		4	Trasladarse por cono metálico de set-up	1
		5	Limpiar cono metálico que requiera el set-up	1.50

	Cambiar la base de enroscado superior	8	Colocar tuercas al anillo superior que se quitó	0.75
4	Poner los moldes giratorios	1	Ir por los moldes que requiere el set-up	1.42
5	Quitar Molde central de sellado	2	Buscar herramientas	1.5
6	Preparar molde central de sellado para set-up	1	Limpiar molde central de sellado del set-up	3.17
7	Cambiar alas metálicas del molde central de sellado	6	Limpiar alas metálicas	1.92
13	Corrida de vaso para ajuste de dobles superior	3	Buscar herramienta	1.33
			TOTAL (min)	14.6

La tabla de resumen de actividades externas muestra que de las 10 actividades externas identificadas anteriormente suman una cantidad de 14.6 minutos. Por lo que al mover estas actividades fuera del proceso de configuración estaremos reduciendo el tiempo total de configuración.

#### 4.3.4.1.4 Reducir los pasos internos

El cuarto paso de la metodología SMED consta en optimizar las actividades internas del cambio de configuración. Para lograr este objetivo se plantean las siguientes propuestas de mejora:

#### **Propuesta 1: Compra de resortes para moldes giratorios**

El paso 4 "Poner los moldes giratorios" del proceso de configuración cuenta con una sub-actividad que se puede convertir en una actividad externa con la compra de un set de resortes extra. Debido a que únicamente se cuenta con un set de resortes, cada vez que se realiza un cambio de configuración se debe intercambiar el set de resortes de un modelo a otro. Por lo tanto, con la compra de un set de resortes extra se eliminaría 3.37 minutos lo que toma esta actividad del cambio de configuración. A continuación, se muestran los tiempos del paso 4 "Poner moldes giratorios" para identificar los minutos que la propuesta mejorará.

#### **Propuesta 2: Compra de tornillo extra**

El paso 6 "Preparar molde central de sellado para set-up" cuenta con dos subactividades que se puede convertir en actividades externas con la compra de un tornillo adicional. Debido a que únicamente se cuenta con un tornillo para conectar el molde central de sellado con la fixtura, cada vez que se realiza un cambio de modelo se debe intercambiar el tornillo para conectar el molde central de sellado con su respectiva fixtura. Por lo tanto, si se utilizará un tornillo por separado se pudiera convertir estas operaciones en actividades externas eliminando 2 minutos del tiempo de configuración.

### Propuesta 3: Balanceo de actividades

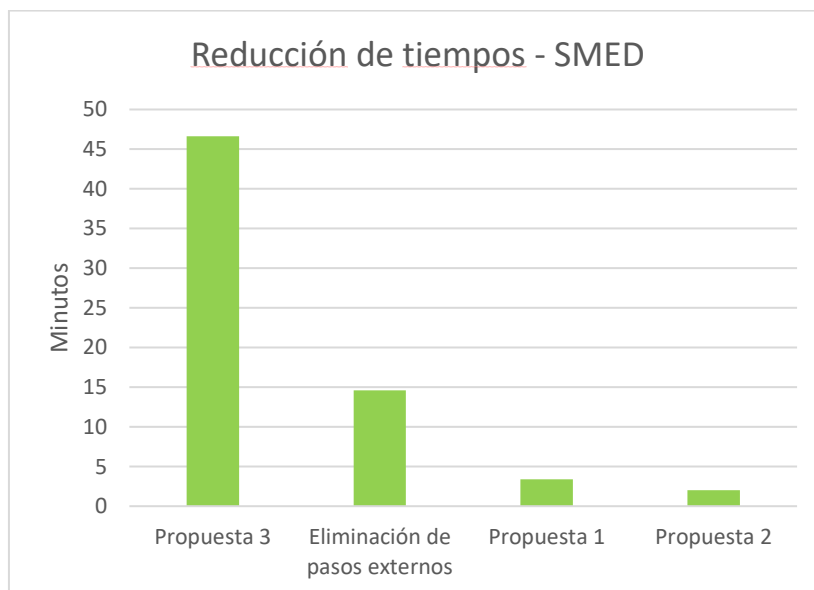
Se propone la utilización de un segundo operador para balancear las actividades del cambio de configuración y con ello reducir el tiempo de las actividades internas. Algunas de las actividades del cambio de configuración se deben de realizar con la máquina de vasos encendida y otros apagada. Una vez consideradas estas restricciones se propone el siguiente balanceo de actividades:

**Tabla 20.** Balanceo del tiempo de set-up

Operador 1		Operador 2	
Máquina encendida			
Actividad	Tiempo (min)	Actividad	Tiempo (min)
Paso 1.- Quitar moldes giratorios	11.83	Paso 5.- Quitar molde central de sellado	2.8
		Paso 7.- Cambiar alas metálicas	21.50
Paso 4.- Poner moldes giratorios	23.15	Paso 8.- Poner molde central de sellado	1.5
		Paso 11.- Ajustar pluma y límite de hoja de papel	9.03
Tiempo de actividad	34.98	Tiempo de actividad	34.88
Máquina apagada			
Paso 2.- Cambiar base de resistencia	9.65		20.42

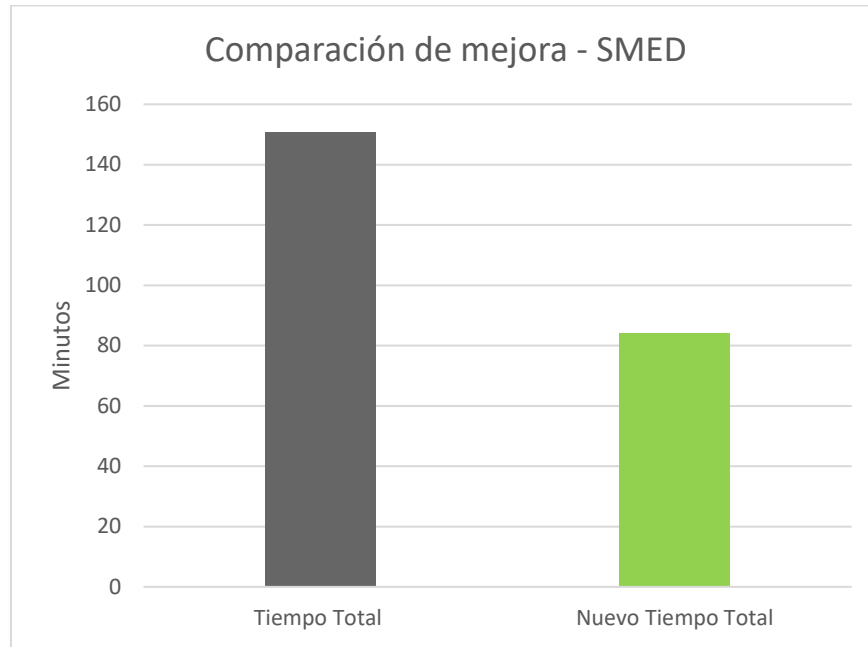
Paso 10.- Ajustar bandeja de entrada de material	2.05	Paso 3.- Cambiar la base de enroscado superior	
Tiempo de actividad	10.7	Tiempo de actividad	20.42
Máquina encendida			
Paso 9.- Ajustar cabezal y alas metálicas	24.75	-	-
Paso 12.- Corrida para ajuste de sellado	8.2	-	-
Paso 13.- Corrida para ajuste de dobles superior	10.55	-	-
Tiempo de actividad	43.5	Tiempo de actividad	-
Tiempo total (min)		98.9	

La propuesta de mejora de SMED presentó cuatro fuentes de reducción del tiempo de configuración de la máquina de vaso térmico. La propuesta 3 (balanceo del tiempo de configuración) significó una reducción de alrededor de 45 minutos, la eliminación de pasos externos redujo 15 minutos el proceso y por último la propuesta 1 y 2 significaron una reducción de 5 minutos.



**Figura 25.** Reducción de tiempo de configuración SMED.

De esta manera el resultado final de aplicar la metodología SMED al cambio de configuración de la máquina de vaso térmico permitió disminuir el tiempo del proceso de 150 minutos a 85 minutos.



**Figura 26.** Comparación de tiempo de configuración.

#### 4.3.4.2 Estandarizar el proceso del cambio de configuración

En este punto se trata de construir un método estándar que optimice el desempeño del cambio de configuración de la máquina de vasos, reduzca errores y mejore la calidad del trabajo. Se elaboró un procedimiento para el cambio de configuración de la máquina de vaso térmico en donde se explica de manera detallada cada uno de los pasos, se muestra las herramientas necesarias en cada paso y se agregaron notas para asegurar la correcta ejecución del procedimiento. Debido a que la empresa se encuentra en crecimiento dicho procedimiento también servirá como un material de apoyo para nuevos operadores que realicen el cambio de configuración. En la sección de anexos, se muestra la operación 1 "Quitar moldes giratorios" del procedimiento elaborado del cambio de configuración para la máquina de vasos.

#### 4.3.4.3 Pronósticos de la demanda

Se planteó el uso de modelos de series de tiempo para calcular un pronóstico de la demanda y con ello poder hacer planeaciones de la demanda a futuro. En vista que actualmente solo se cuenta con un periodo de demanda histórico se plantea el uso de los siguientes modelos de pronósticos:

#### 4.3.4.3.1 Suavizamiento Exponencial Simple (para demanda promedio estable).

Se desarrollo el modelo de suavizamiento exponencial simple en donde gracias a la automatización del método se logró identificar que el alfa 0.0177 es el parámetro que significa el menor porcentaje de error del modelo. Según los datos de la demanda el modelo suavizamiento exponencial simple presenta un porcentaje de error de 7.6 %.

FORECAST (PRONOSTICO)											Simple Exponential Smoothing (Suavizamiento Exponencial simple)		Alfa= 0.0177		Pronóstico inicial 80%		EJECUTAR PRONOSTICO	
Periodo	Actual Demand (Demanda Actual)	Forecast (Pronóstico)	Error [Error Estándar]	Absolute Error (Error Absoluto)	Squared Error e <sup>2</sup> (Error cuadrado e <sup>2</sup> )	Percent Error (Error Porcentual)	Absolute Percent Error (Error Porcentual Absoluto)	Mean Absolute Deviation MAD-DAM	Suma de errores	Señal de seguimiento	Mean Squared Error MSE-ECM	Root Mean Squared Error RMSE-ECM	Mean Absolute Deviation MAD-DAM	Mean Percent Error MPE-EPM	Mean Absolute Percent Error MAPE-EPAM			
1	896	806									1357	116	75	650	7.02			
2	896	806.0	30.0	30	1004	3.33595752	3.813	30	30.0	1.00								
3	893	806.6	26.4	26.4388742	698.7497088	3.17394234	3.173	29.2169371	58.4	2.00								
4	793	807.0	-26.0	26.0387788	677.759447	-3.30380138	3.338	28.1958844	32.4	1.15								
5	890	806.6	-6.0	6.57320408	43.30701196	-0.67485051	0.822	22.7002149	25.8	1.13								
6	1105	806.5	298.5	298.543085	89127.87379	27.01747378	27.017	77.3867885	324.4	4.18								
7	955	811.7	143.3	143.261431	20523.83249	15.00113630	15.001	88.3075522	467.6	5.27								
8	898	814.3	-6.3	6.2736925	39.35139832	-0.7003996	0.775	77.0569209	461.4	5.99								
9	895	814.2	-9.2	9.1620872	83.94369767	-1.0284773	1.138	68.5805865	452.2	6.65								
10	814	814.0	0.0	7.7789E-07	6.04343E-13	9.56091E-08	0.000	60.5000592	452.2	7.42								
11	955	814.0	141.0	141.000008	19881.00002	14.76439739	14.764	68.3238534	585.2	8.61								
12	947	815.5	130.5	130.509505	17031.61793	13.78096024	13.781	78.5260039	723.7	9.71								
1		815.8																
		SUMA	723.7	819.6	14918.5	71.5	88.6											
		PROMEDIO	65.8	74.5	1357.4	6.5	7.6											

Figura 27. Suavizamiento exponencial simple.

#### 4.3.4.3.2 Suavizamiento Exponencial Doble (para nivel y tendencia).

Se desarrollo el modelo de suavizamiento exponencial simple en donde gracias a la automatización del método se logró identificar que el alfa de 1 y beta de 0 son los parámetros idóneos para el comportamiento de la demanda. Según los datos de la demanda el modelo suavizamiento doble presenta un porcentaje de error de 6.94 %.

Double Exponential Smoothing Method (Suavizamiento Exponencial Doble)														Initial level (nivel inicial)		Initial Trend (Tendencia inicial)		EJECUTAR PRONÓSTICO			
FORECAST (PRONÓSTICO)														Alpha = 0.1		Beta = 0		Alpha = 0.06600		Initial Trend (Tendencia inicial) T0 = 0.00	
Periodo	Actual Demand (Demanda Actual) Dt	Average level (Nivel promedio) At	Trend (Tendencia) Tt	Forecast (Pronóstico) Ft	Error (Error Estándar) e	Absolute Error (Error Absoluto)  e	Squared Error (Error cuadrado) e <sup>2</sup>	Percent Error (Error Porcentual) %e	Absolute Percent Error (Error Porcentual Absoluto)	Mean Absolute Deviation MAD=DAM	Suma de errores	Señal de seguimiento	Mean Squared Error MSE=ECM	Root Mean Squared Error RMSE=ECM	Mean Absolute Deviation MAD= DAM	Mean Percent Error MPE= EPM	Mean Absolute Percent Error MAPE= EPAM				
1	806	806.00	0.01161	806.01161									34661.793	188.864	79.323	2.390	5.490				
2	826	826.00000	0.01163	826.01163	21.99	21.99	1092.36	2.73	2.73	31.99	21.99	1.00									
3	833	833.00000	0.01163	833.01163	-6.23	6.23	38.81	-0.80	0.80	26.80	26.80	1.46									
4	791	791.00000	0.01163	791.01163	-12.23	12.23	149.58	-1.55	1.55	29.87	29.87	2.89									
5	800	800.00000	0.01163	800.01163	18.99	18.99	360.42	2.37	2.37	37.00	37.00	4.13									
6	1106	1106.00000	0.01163	1106.01163	204.99	204.99	42027.52	18.53	18.53	320.17	320.17	1.03									
7	866	866.00000	0.01163	866.01163	-150.01	150.01	22502.46	-17.32	17.32	30.83	30.83	1.59									
8	806	806.00000	0.01163	806.01163	-247.91	247.91	61461.41	-30.76	30.76	101.43	101.43	8.03									
9	805	805.00000	0.01163	805.01163	-2.01	2.01	4.04	-0.25	0.25	92.13	-1.89	-0.01									
10	814	814.00000	0.01163	814.01163	6.99	6.99	48.86	0.86	0.86	80.22	7.83	8.16									
11	868	868.00000	0.01163	868.01163	140.99	140.99	19877.73	16.24	16.24	86.80	140.99	1.73									
12	847	847.00000	0.01163	847.01163	-6.23	6.23	38.81	-0.74	0.74	78.18	340.97	1.78									
1				347.01161																	
SUMA				240.670	871.013	281279.726	23.00	16.435													
PROMEDIO				12.033	79.103	14061.793	1.17	8.943													

Figura 28. Suavizamiento exponencial doble.

#### 4.3.4.3.3 Suavizamiento Exponencial con Tendencia Aminorada

Se desarrollo el modelo de suavizamiento exponencial con tendencia aminorada en donde gracias a la automatización del método se logró identificar que el alfa de 0.016 y beta de 0.2934 y phi de 0.1989 son los parámetros idóneos para el comportamiento de la demanda. Según los datos de la demanda el modelo suavizamiento con tendencia aminorado presenta un porcentaje de error de 7.60 %.

Exponential Smoothing with Damped Trend (Suavizamiento Exponencial con Tendencia Aminorada)														Initial level (nivel inicial)		Initial Trend (Tendencia Inicial) T0 = 0.00		EJECUTAR PRONÓSTICO					
FORECAST (PRONÓSTICO)														Alpha = 0.016477937		Beta = 0.29343		Phi = 0.198922		Initial level (nivel inicial) Alpha = 0.06600		Initial Trend (Tendencia Inicial) T0 = 0.00	
Periodo	Actual Demand (Demanda Actual) Dt	Average level (Nivel promedio) At	Trend (Tendencia) Tt	Forecast (Pronóstico) Ft	Error (Error Estándar) e	Absolute Error (Error Absoluto)  e	Squared Error (Error cuadrado) e <sup>2</sup>	Percent Error (Error Porcentual) %e	Absolute Percent Error (Error Porcentual Absoluto)	Mean Absolute Deviation MAD=DAM	Suma de errores	Señal de seguimiento	Mean Squared Error MSE=ECM	Root Mean Squared Error RMSE=ECM	Mean Absolute Deviation MAD= DAM	Mean Percent Error MPE= EPM	Mean Absolute Percent Error MAPE= EPAM						
1	806	806	0.012	806.0002									19550.601	116.447	74.530	6.500	7.603						
2	826	826.00	0.012	826.0002	33.00	33.00	1089.00	3.82	3.82	32.00	32.00	1.00											
3	823	823.00	0.012	823.0002	-26.44	26.44	699.03	-3.21	3.21	29.22	29.44	2.00											
4	791	806.60	-0.004	807.028	-26.03	26.03	677.46	-3.30	3.30	29.16	32.4	1.16											
5	800	806.47	-0.001	806.590	-6.59	6.59	43.33	-0.82	0.82	22.76	25.0	1.13											
6	1185	811.38	1.434	806.462	268.54	268.54	89124.94	22.82	22.82	77.92	324.4	4.10											
7	855	814.03	0.578	811.688	143.33	143.33	20544.50	16.81	16.81	88.82	467.7	5.27											
8	839	814.12	0.165	814.223	-6.22	6.22	38.72	-0.77	0.77	77.02	461.5	5.99											
9	805	814.00	-0.012	814.183	-9.18	9.18	84.27	-1.14	1.14	69.54	452.3	6.60											
10	814	814.00	-0.002	814.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	60.92	452.3	7.40											
11	855	816.32	0.481	814.000	141.00	141.00	19881.13	16.76	16.76	89.82	663.3	8.61											
12	847	816.61	0.767	816.458	130.54	130.54	17041.09	15.75	15.75	74.53	723.9	9.71											
1				816.762																			
SUMA				723.660	819.038	149157.608	71.90	63.630															
PROMEDIO				60.305	68.253	12429.801	5.99	7.603															

Figura 29. Suavizamiento exponencial doble.

El análisis de pronósticos por series de tiempo pueden identificar que el mejor modelo de series de tiempo para el comportamiento de la demanda de acuerdo a los métricos de errores Mean Absolute Percent Error (MAPE) y Mean Absolute Deviation (MAD) el mejor modelo es el suavizamiento exponencial doble con un porcentaje de error de 6.94% de error.

#### 4.3.4.4 Implementación MPS

Para mejorar las operaciones y cadena de suministro de la empresa se utilizó la Planeación Maestra de la Producción (MPS) para calcular cual es la mejor opción para cumplir con la demanda del vaso térmico. Para ello se contempló una demanda mensual del vaso térmico, el nivel de inventario y costo de almacenamiento. Para desarrollar el MPS se utilizaron diferentes modelos, cada uno de los modelos tienen características distintas, por lo que se proponen emplear cinco modelos y después en base a la satisfacción de la demanda y al costo de producción se elegirá el mejor modelo. Los modelos MPS utilizados son los siguientes:

- **Level:** Este modelo implica que producir de manera constante el promedio de la demanda anual en cada periodo por igual. En este modelo plantea que la empresa deberá producir 871 caja de vaso térmico para cumplir con la demanda. Sin embargo, llevar a cabo este modelo de producción ocasionaría un corto de material en el mes de julio por 21 cajas de vasos, ya que produciendo de manera constante 871 cajas por mes ocasionaría que al llegar al mes de julio la empresa no pueda cumplir con la demanda del cliente. Tal como se aprecia en la siguiente figura:

Level - Production Plan							
Producto:		Vaso termico 12 oz			Holding Charge per piece/ month		\$ 1.00
					Production Set Up Cost		\$ 200
Month	Forecast	Production	IOH	Holding Cost	Set-Up Costs	Total Cost	
1	806	871.00	65.00	\$ 65	\$ 200	\$ 265	
2	838	871.00	98.00	\$ 98	\$ 200	\$ 298	
3	833	871.00	136.00	\$ 136	\$ 200	\$ 336	
4	781	871.00	226.00	\$ 226	\$ 200	\$ 426	
5	800	871.00	297.00	\$ 297	\$ 200	\$ 497	
6	1105	871.00	63.00	\$ 63	\$ 200	\$ 263	
7	955	871.00	-21.00	\$ -	\$ 200	\$ 200	
8	808	871.00	42.00	\$ 42	\$ 200	\$ 242	
9	805	871.00	108.00	\$ 108	\$ 200	\$ 308	
10	814	871.00	165.00	\$ 165	\$ 200	\$ 365	
11	955	871.00	81.00	\$ 81	\$ 200	\$ 281	
12	947	871.00	5.00	\$ 5	\$ 200	\$ 205	
<b>Total</b>	<b>10447</b>	<b>10452</b>	<b>1265</b>	<b>\$ 1,265</b>	<b>\$ 2,400</b>	<b>\$ 3,665</b>	

**Figura 30.** MPS – Modelo Level

- **One Time Run:** Este modelo significa producir en el primero periodo el total de la demanda y después satisfacer el requerimiento con el inventario disponible. Tal como se aprecia en la siguiente figura:

### One Time Run - Production Plan

<b>Producto:</b>	Vaso termico 12 oz	<b>Holding Charge per piece/month</b>	\$ 1.00	<b>Production Set Up Cost</b>	\$ 200
------------------	--------------------	---------------------------------------	---------	-------------------------------	--------

Month	Forecast	Production	IOH	Holding Cost	Set-Up Costs	Total Cost	Average IOH	Inventory turns
1	806	10447	9641	\$ 9,641	\$ 200	\$ 9,841	4890.92	2.14
2	838	0	8803	\$ 8,803	\$ -	\$ 8,803		
3	833	0	7970	\$ 7,970	\$ -	\$ 7,970		
4	781	0	7189	\$ 7,189	\$ -	\$ 7,189		
5	800	0	6389	\$ 6,389	\$ -	\$ 6,389		
6	1105	0	5284	\$ 5,284	\$ -	\$ 5,284		
7	955	0	4329	\$ 4,329	\$ -	\$ 4,329		
8	808	0	3521	\$ 3,521	\$ -	\$ 3,521		
9	805	0	2716	\$ 2,716	\$ -	\$ 2,716		
10	814	0	1902	\$ 1,902	\$ -	\$ 1,902		
11	955	0	947	\$ 947	\$ -	\$ 947		
12	947	0	0	\$ -	\$ -	\$ -		
<b>Total</b>	<b>10447</b>	<b>10447</b>	<b>58691</b>	<b>\$ 58,691</b>	<b>\$ 200</b>	<b>\$ 58,891</b>		

**Figura 31.** MPS – Modelo One Time Run

- Lot for Lot: Este modelo representa producir en cada periodo únicamente el requerimiento de producción en cada periodo eliminando así costo de almacenamiento. Tal como se aprecia en la siguiente figura:

<b>Lot For Lot - Production Plan</b>							
<b>Producto:</b>	Vaso termico 12 oz	<b>Holding Charge per piece/month</b>	\$ 1.00	<b>Production Set Up Cost</b>	\$ 200		

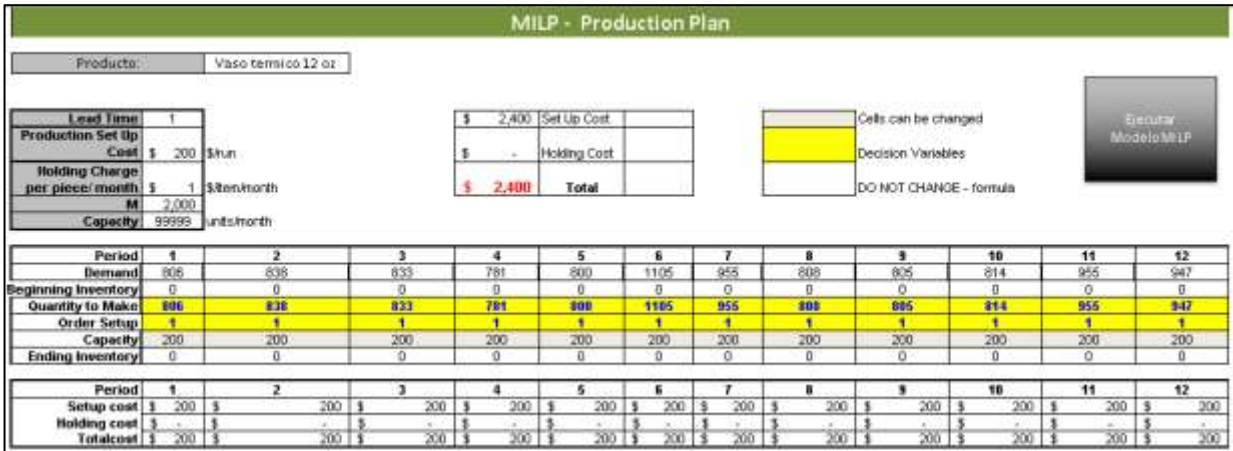
  

Month	Forecast	Production	IOH	Holding Cost	Set-Up Costs	Total Cost
1	806	806	0	\$ -	\$ 200	\$ 200
2	838	838	0	\$ -	\$ 200	\$ 200
3	833	833	0	\$ -	\$ 200	\$ 200
4	781	781	0	\$ -	\$ 200	\$ 200
5	800	800	0	\$ -	\$ 200	\$ 200
6	1105	1105	0	\$ -	\$ 200	\$ 200
7	955	955	0	\$ -	\$ 200	\$ 200
8	808	808	0	\$ -	\$ 200	\$ 200
9	805	805	0	\$ -	\$ 200	\$ 200
10	814	814	0	\$ -	\$ 200	\$ 200
11	955	955	0	\$ -	\$ 200	\$ 200
12	947	947	0	\$ -	\$ 200	\$ 200
<b>Total</b>	<b>10447</b>	<b>10447</b>	<b>0</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ 2,400</b>	<b>\$ 2,400</b>

**Figura 32.** MPS – Modelo Lot For Lot

- MILP: El modelo de Programación Lineal Entera Mixta (MILP) es un método de optimización de regresión lineal el cual sera utilizado para encontrar la mejor planeación de la producción que signifique el menor costo posible. En este caso el modelo muestra que la mejor opción es producir en cada periodo la demanda

requerida eliminando los costos de almacenamiento. Tal como se puede observar en la siguiente figura:



**Figura 33.** MPS – Modelo MILP

Al desarrollar los modelos de MPS se puede identificar que para cumplir con la demanda y reducir los costos de producción la opción que más conviene es producir en cada periodo exactamente el requerimiento de la demanda para eliminar los costos de almacenamiento. Se pudo observar que únicamente los modelos Lot for Lote y MILP son los modelos más acertados ya que garantizan poder cumplir con la demanda y presentan un menor costo de producción.

#### 4.3.4.5 Implementación MRP

El MRP tiene como objetivo identificar la cantidad y el tiempo de cuando poner una orden de compra de acuerdo al MPS para satisfacer el requerimiento de la demanda, reducir costos y evitar cortos de material. Se propone el estudio de los requerimientos de cada uno de los componentes que conforman el vaso térmico partiendo que en el MPS se definió que la empresa debe producir exactamente la cantidad exacta de la demanda en cada periodo, tal como se aprecia en la figura 39.

MASTER REQUIREMENT PLANNING (MRP)												
Total System Cost		\$ 279,100		End: \$ 14,400		Comp: \$ 820,407.12						
End Item Manufacturer												
Producto:	Vaso termico 12 oz - 25 pz			months	\$ 14,400		Set Up Cost					
Lead Time	1			\$/order	\$ -		Holding Cost					
Production Set Up Cost	\$ 1,200			\$/month	\$ 14,400		Total					
Holding Charge per piece/month	\$ 50.00											
Period	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Gross Req	004	038	033	781	800	1105	955	408	020	014	955	947
Bag Inv	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Due In	004	033	033	781	800	1105	955	408	020	014	955	947
End Inv	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Planned Order Release	004	038	033	781	800	1105	955	408	020	014	955	947

**Figura 34.** MRP – Fabricante del producto final.

Después se comienza por analizar cada uno de los componentes del vaso térmico para identificar cuando y en qué cantidad se deberá ordenar el material para cumplir con la demanda. Para la lámina de vaso se puede observar en figura 40 que se debe levantar una orden de compra de manera mensual durante el año para poder satisfacer la demanda. También es importante resaltar que las ordenes deben ser liberadas con dos meses de anticipación por el tiempo de entrega del material y en vista que el requerimiento supera la cantidad mínima de pedido (MOQ) se solicita la cantidad exacta que se necesita en cada periodo.

Tier 1 Component Manufacturer												
Componente:	Lamina de papel de bambu 12oz			months	\$ -		Set Up Cost					
Lead Time	2			units/end item	\$ 256,250		Holding Cost					
Quantity / Assembly	0.5			\$/order	\$ 256,250		Total					
Setup Cost	\$ 500			\$/month								
Holding Cost	\$ 50			units								
MOQ	182											
Order Capacity	1000											
Period	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Gross Req	403	419	417	391	400	553	478	404	403	407	478	375
Bag Inv	403	419	417	391	400	553	478	404	403	407	478	375
Order arrival	419	417	391	400	553	478	404	403	407	478	375	403
End Inv	419	417	391	400	553	478	404	403	407	478	375	403
Planned Order Release	391	400	553	478	404	403	407	478	375	403	419	417

**Figura 35.** MRP – Lámina de papel de bambú.

Para el análisis del rollo de fondo se debe resaltar que el MOQ de este material es más alto que el consumo mensual, por lo que un pedido bastará para cubrir varios periodos. Así pues, el análisis muestra que con 5 pedidos de rollo de fondo durante el año será suficiente material para cubrir los requerimientos de la demanda, al igual que la lámina de bambú se deben de colocar las ordenes con dos meses de anterioridad para que el material pueda llegar a tiempo. A continuación, se aprecia el análisis del requerimiento para este material.

Tier 2 Component Manufacturer												
Componente	Rollo de fondo de vaso											
Lead Time	2		months									
Quantity / Assembly	0.042		units/end item									
Setup Cost	\$	500	\$/order		\$ 2,500		Set Up Cost					
Holding Cost	\$	50	\$/month		\$ 27,481		Holding Cost					
MOQ	88				\$ 29,981		Total					
Order Capacity	1000		units									
Period	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Gross Req't	34	35	35	33	34	46	40	34	34	34	40	40
Beg Inv	88	54	19	72	39	6	48	8	62	28	82	42
Order arrival	0	0	88	0	0	88	0	88	0	88	0	88
End Inv	54	19	72	39	6	48	8	62	28	82	42	30
Planned Order Release	88	0	0	88	0	88	0	88	0	88	0	0

**Figura 36.** MRP – Rollo de fondo de vaso.

El rollo de bolsa de plástico tiene cantidad de pedido de lote por lote y cuenta con un lead time corto por lo que se propone seguir el plan del MPS y pedir el requerimiento exacto de cada periodo con un mes de anticipación por el tiempo de entrega

Tier 3 Component Manufacturer												
Componente	Rollo de bolsa de plastico											
Lead Time	1		months									
Quantity / Assembly	0.022		units/end item									
Setup Cost	\$	500	\$/order		\$ 6,000		Set Up Cost					
MOQ	Lote x Lote				\$ 11,360		Holding Cost					
Holding Cost	\$	50	\$/month		\$ 17,360		Total					
Order Capacity	1000		units									
Period	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Gross Req't	18	18	18	17	18	24	21	18	18	18	21	21
Beg Inv	18	18	18	17	17	24	20	17	18	18	21	21
Order arrival	18	18	17	18	24	21	18	18	18	21	21	18
End Inv	18	18	17	17	24	20	17	18	18	21	21	18
Planned Order Release	18	17	18	24	21	18	18	18	21	21	18	18

**Figura 37.** MRP – Rollo de bolsa de plástico.

Para este análisis únicamente se analizará el tipo de etiqueta de 25 pz. La etiqueta de 25 pz se vende en paquetes con 500 etiquetas y cuenta con un lead time de un mes, así para poder cubrir la demanda se deberá pedir una orden mensual igual a la cantidad necesaria por periodo con un mes de anticipación, tal como se muestra a continuación:

Tier 4 Component Manufacturer												
Componente	Etiquetas 25 PZ											
Lead Time	1		months									
Quantity / Assembly	0.08		units/end item									
Setup Cost	\$	500	\$/order		\$ 6,000		Set Up Cost					
Holding Cost	\$	50	\$/month		\$ 1,688		Holding Cost					
MOQ	1		1 Paquete = 500 PZ		\$ 7,688		Total					
Order Capacity	1000		units									
Period	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Gross Req't	32	34	33	31	32	44	38	32	32	33	38	38
Beg Inv	32	34	33	31	32	44	38	32	32	33	38	38
Order arrival	34	33	31	32	44	38	32	32	33	38	38	32
End Inv	34	33	31	32	44	38	32	32	33	38	38	32
Planned Order Release	33	31	32	44	38	32	32	33	38	38	32	34

**Figura 38.** MRP – Etiquetas 25 pz

Por último, la caja multipack cuenta con un MOQ de 500 piezas, pero el consumo mensual supera el MOQ, por lo que se planea colocar una orden mensual del

requerimiento de cada periodo con un mes de anticipación para poder cumplir con la demanda.

Tier 5 Component Manufacturer												
Componente	Caja multipack											
Lead Time	1											
Quantity / Assembly	1											
Setup Cost	\$ 500											
Holding Cost	\$ 50											
MOQ	500											
Order Capacity	1000											
		months										
		un/lead item										
		\$/order										
		\$/month										
		units										
		\$	6,000	Set Up Cost								
		\$	520,700	Holding Cost								
		\$	526,700	Total								
Period	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Gross Req	808	838	833	781	800	1105	955	808	805	814	955	947
Beg Inv	806	838	833	781	800	1105	922	808	805	814	955	947
Order arrival	838	833	781	800	1105	922	808	805	814	955	947	806
End Inv	838	833	781	800	1105	922	808	805	814	955	947	806
Planned Order Release	833	781	808	1165	822	888	805	814	955	947	806	838

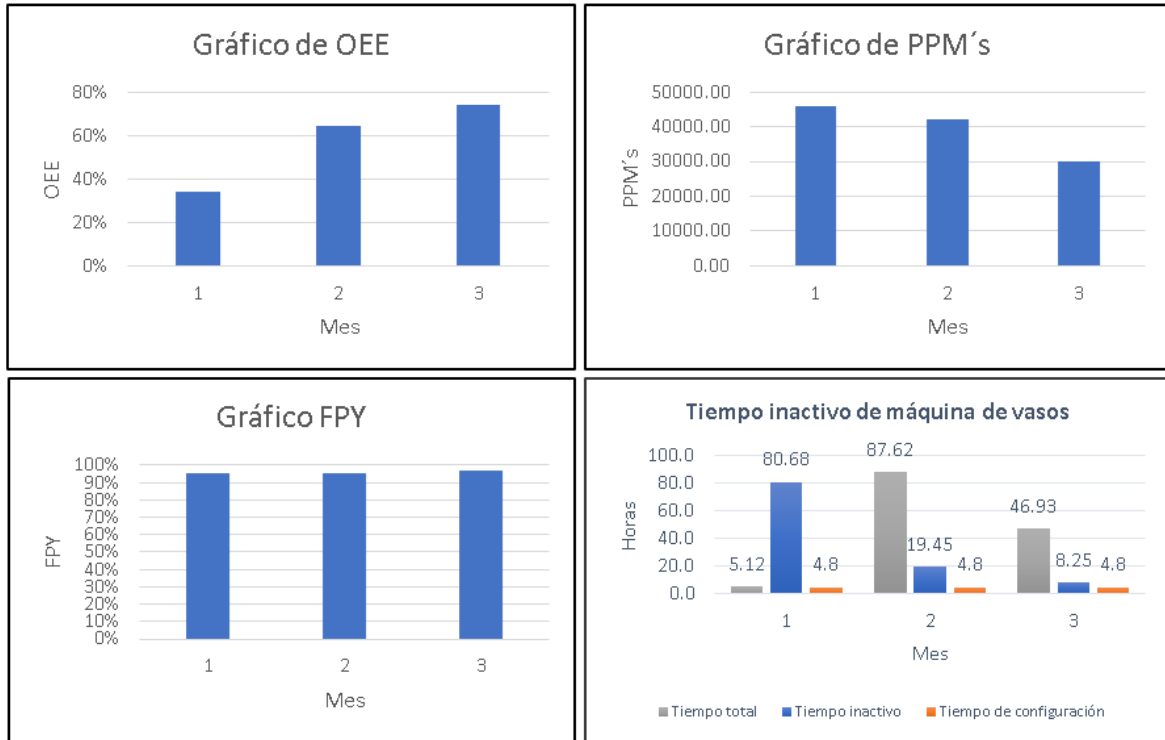
**Figura 39.** MRP – Caja multipack.

#### 4.3.5 Controlar

La fase de control tiene por finalidad diseñar y documentar los controles necesarios para asegurar que los beneficios de la mejora se mantengan una vez que se han implementado los cambios. Se proponen las siguientes medidas para la etapa de control.

##### 4.3.5.1 Gráficos de control

Se implementó un dashboard para poder dar seguimiento al proceso mediante los parámetros de PPM, FPY, OEE, defectos y tiempo inactivo. Los gráficos se elaboran mediante la información recabada de la bitácora de registro de fallas.



**Figura 40.** Dashboard de control.

#### 4.3.5.2 Gestión de la cadena de suministro

Debido a que la empresa no cuenta con un sistema de gestión de la cadena de suministro se propone elaborar los siguientes productos:

- Registro de ventas:

Como primera instancia para una mejor gestión de la cadena de suministro se elaboró una plantilla en Excel para poder capturar todas las ventas de la empresa y después poder analizar dicha información. La plantilla cuenta de las siguientes hojas:

Productos Grin Pack			
Descripción	Código	Familia	Cantidad/Caja
Caja Kraft #4	GP-0844	Caja Kraft	200
Caja Kraft #6	GP-0846	Caja Kraft	200
Vaso térmico papel de bambú 8 oz	GP-VT8B	Vaso térmico	1000
Vaso térmico papel de bambú 12 oz	GP-VT12B	Vaso térmico	1000
Vaso térmico papel de bambú 16 oz	GP-VT16B	Vaso térmico	1000
Tapa térmica PLA 8 oz	GP-TT8B	Tapa de vaso térmico	1000
Tapa térmica térmica PLA	GP-TT120H	Tapa de vaso térmico	1000
Tapa térmica térmica PLA	GP-TT120H	Tapa de vaso térmico	1000
Vaso p/bebida fría PLA 12 oz	GP-VF12	Vaso para bebida fría	1000
Vaso p/bebida fría PLA 16 oz	GP-VF16	Vaso para bebida fría	800
Tapa plana PLA 10-12 oz y 16-24oz	GP-TT12B	Tapa de vaso para bebida fría	1000
Tapa de longitud PLA 10-12 oz y 16-24oz	GP-TT12B	Tapa de vaso para bebida fría	1000
Cuchara de concha marina negra	GP-CMN	Cuchara de concha marina negra	1000
Tenedor de concha marina negra	GP-TMN	Tenedor de concha marina negra	1000
Vaso térmico impresión 8 oz 1000p	8-1000-I	Vaso térmico con impresión	1000
Vaso térmico impresión 12 oz 1000p	12-1000-I	Vaso térmico con impresión	1000
Vaso térmico impresión 16 oz 1000p	16-1000-I	Vaso térmico con impresión	1000
Mazo para impresión 8	MA-8	Mazo para impresión	1
Mazo para impresión 9	MA-9	Mazo para impresión	1
Vaso impresión Plus 10oz 1000p (1/2) Tapa	Plus 1000-I	Vaso para bebida fría con impresión	1000
Etiquetas de identificación	Etiquetas	Etiquetas	1
Servicio de almacenamiento	MAA-5	servicio almacenamiento	5
Impresión 1 Tera 1000p	IMP-1000-I	Impresión	1000
Impresión 1 Tera 2000p	IMP-2000-I	Impresión	1000
Impresión 1 Tera 3000p	IMP-3000-I	Impresión	1000
Contenedor Bagazo De Café 8oz	BC8B-3	Contenedor Bagazo de café	200
Contenedor Bagazo De Café 12oz	BC12B-3	Contenedor Bagazo de café	200
Contenedor Fecula De Maiz 6oz	BD-60F	Contenedor Fecula de maiz	100
Contenedor Fecula De Maiz 10oz	BD-10F	Contenedor Fecula de maiz	200
Plato Bagazo De Trigo 10cm o con 10cm	P-10	Plato	200

Registro de ventas 2021					
Mes	Código	Producto	Cantidad	Cantidad en	Ingresos
Octubre-21	GP-0844	Caja Kraft #4	1	200	1.00
Octubre-21	GP-0846	Caja Kraft #6	1	200	1.00
Octubre-21	GP-VT8B	Vaso térmico papel de bambú 8 oz	1	1000	1.00
Octubre-21	GP-VT12B	Vaso térmico papel de bambú 12 oz	1	1000	1.00
Octubre-21	GP-VT16B	Vaso térmico papel de bambú 16 oz	1	1000	1.00
Octubre-21	GP-TT8B	Tapa térmica PLA 8 oz	1	1000	1.00
Octubre-21	GP-TT120H	Tapa térmica térmica PLA	1	1000	1.00
Octubre-21	GP-TT120H	Tapa térmica térmica PLA	1	1000	1.00
Octubre-21	GP-VF12	Vaso p/bebida fría PLA 12 oz	1	1000	1.00
Octubre-21	GP-VF16	Vaso p/bebida fría PLA 16 oz	1	800	1.00
Octubre-21	GP-TT12B	Tapa plana PLA 10-12 oz y 16-24oz	1	1000	1.00
Octubre-21	GP-TT12B	Tapa plana PLA 10-12 oz y 16-24oz	1	1000	1.00
Octubre-21	GP-CMN	Cuchara de concha marina negra	1	1000	1.00
Octubre-21	GP-TMN	Tenedor de concha marina negra	1	1000	1.00
Octubre-21	8-1000-I	Vaso térmico impresión 8 oz 1000p	1	1000	1.00
Octubre-21	12-1000-I	Vaso térmico impresión 12 oz 1000p	1	1000	1.00
Octubre-21	16-1000-I	Vaso térmico impresión 16 oz 1000p	1	1000	1.00
Octubre-21	MA-8	Mazo para impresión 8	1	1	1.00
Octubre-21	MA-9	Mazo para impresión 9	1	1	1.00
Octubre-21	Plus 1000-I	Vaso impresión Plus 10oz 1000p (1/2) Tapa	1	1000	1.00
Octubre-21	Etiquetas	Etiquetas de identificación	1	1	1.00
Octubre-21	MAA-5	Servicio de almacenamiento	1	5	1.00
Octubre-21	IMP-1000-I	Impresión 1 Tera 1000p	1	1000	1.00
Octubre-21	IMP-2000-I	Impresión 1 Tera 2000p	1	1000	1.00
Octubre-21	IMP-3000-I	Impresión 1 Tera 3000p	1	1000	1.00
Octubre-21	BC8B-3	Contenedor Bagazo De Café 8oz	1	200	1.00
Octubre-21	BC12B-3	Contenedor Bagazo De Café 12oz	1	200	1.00
Octubre-21	BD-60F	Contenedor Fecula De Maiz 6oz	1	100	1.00
Octubre-21	BD-10F	Contenedor Fecula De Maiz 10oz	1	200	1.00
Octubre-21	P-10	Plato Bagazo De Trigo 10cm o con 10cm	1	200	1.00

Resumen de ventas 2021					
Mes	Producto	Código	Cantidad_Cajas	Cantidad_en	Total Ingresos(\$)
Octubre - 2021	Vaso térmico papel de bambú 12 oz	GP-VT12B	8.35	8350	11947.5
Octubre - 2021	Contenedor Bagazo De Café 8oz	BC8B-3	7	1400	5875.2
Octubre - 2021	Caja Kraft #4	GP-0844	3	480	3006.72
Octubre - 2021	Vaso térmico papel de bambú 8 oz	GP-VT8B	2.55	2550	3442.5
Octubre - 2021	Tapa térmica PLA 8 oz	GP-TT8B	1	1000	1330
Octubre - 2021	Vaso p/bebida fría PLA 12 oz	GP-VF12	1.15	3150	7268.4
Octubre - 2021	Cuchara de concha marina negra	GP-CMN	6	6000	3888
Octubre - 2021	Tenedor de concha marina negra	GP-TMN	9	9000	5740.6
Octubre - 2021	Contenedor Fecula De Maiz 6oz	BD-60F	1.25	250	680.4
Octubre - 2021	Tapa plana PLA 10-12 oz y 16-24oz	GP-TT12B	1	1000	1404
Noviembre - 2021	Contenedor Bagazo De Café 8oz	BC8B-3	6	1200	5184
Noviembre - 2021	Vaso p/bebida fría PLA 12 oz	GP-VF12	2.15	2150	5000.4
Noviembre - 2021	Contenedor Bagazo De Café 8oz	BC8B-3	17.5	3500	19170

Figura 41. Plantilla registro de ventas.

- Pronósticos de la demanda

Se desarrolló una plantilla con modelos de series de tiempo para poder calcular el pronóstico de la demanda. Esta plantilla toma como datos de entrada la información de la demanda capturada en el registro de ventas. Después se calculan los diferentes modelos de pronósticos y se selecciona el modelo que presente un menor porcentaje de error. La plantilla de pronósticos cuenta con las siguientes hojas:

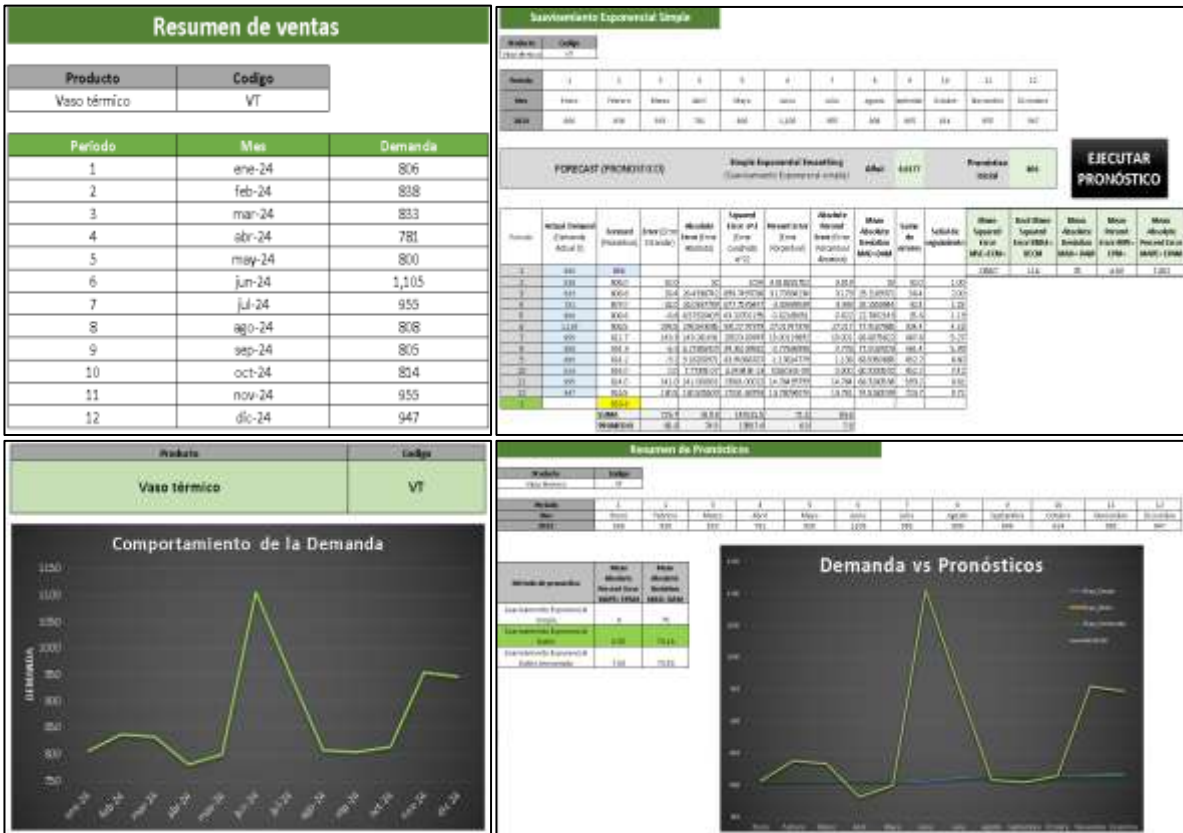


Figura 42. Plantilla de pronósticos

- Gestor de inventarios

Se propone la implementación de un gestor de inventarios para administrar de mejor manera los recursos de la compañía. Para ello se plantea el desarrollo de una plantilla para administrar el ingreso y salida de todos los productos de la empresa. Con el objetivo de un mejor control en los recursos se dividió la plantilla desarrollada para manejar la materia prima y los productos terminados por separado. La plantilla desarrollada se compone de las siguientes hojas:

LISTADO DE PRODUCTOS DE MATERIA PRIMA												
DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	PRODUCTO PADRE	UNIDAD	QTY	COSTO UNITARIO (M)	STOCK INICIAL	ENTRADAS	SALIDAS	STOCK MÍNIMO	STOCK ACTUAL	ESTADO	
Lamina de papel de bambu 12oz	GP-LP12	Vaso Térmico de 12 oz	CAJA	3	200	200	1	-1	180	200	Stock suficiente	
Rollo de fondo de vaso	GP-RF	Vaso Térmico de 12 oz	ROLLO	3	200	90	3	-1	120	92	Menor al mínimo	
Rollo de bolsa de plástico	GP-BP	Vaso Térmico de 12 oz	ROLLO	3	200	11	0	0	10	11	Stock suficiente	
Etiqueta 10 PZ	GP-ET10	Vaso Térmico de 12 oz	PAQUETE	3	200	3	0	0	5	3	Menor al mínimo	
Etiqueta 25 PZ	GP-ET25	Vaso Térmico de 12 oz	PAQUETE	3	200	10	1	-1	10	10	Stock suficiente	
Etiqueta 50 PZ	GP-ET50	Vaso Térmico de 12 oz	PAQUETE	3	200	12	0	0	58	12	Menor al mínimo	
Caja multipack	GP-CAJA	Vaso Térmico de 12 oz	INDIVIDUAL	3	5	300	0	-50	300	300	Stock suficiente	

ENTRADAS DE MATERIA PRIMA			
FECHA	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	ENTRADA
5-Jan-23	Lamina de papel de bambu 12oz	GP-LP12	1
5-Jun-23	Rollo de fondo de vaso	GP-RF	1
2-Sep-23	Rollo de fondo de vaso	GP-RF	1
3-Sep-23	Rollo de fondo de vaso	GP-RF	1
3-Dec-23	Etiqueta 25 PZ	GP-ET25	1

SALIDAS DE MATERIA PRIMA			
FECHA	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	Salidas
5-Jan-23	Lamina de papel de bambu 12oz	GP-LP12	-1
2-May-23	Rollo de fondo de vaso	GP-RF	-1
3-Sep-23	Etiqueta 25 PZ	GP-ET25	-1
10-Oct-23	Caja multipack	GP-CAJA	-50

INFORMACIÓN DEL PRODUCTO			
DESCRIPCIÓN	CÓDIGO		
Vaso Térmico de 12 oz - 25 PZ	GP-VT12B - 25		
STOCK ACTUAL	STOCK MÍNIMO	ESTADO	
200	100	Stock suficiente	✓

MATERIA PRIMA						
DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	UNIDAD	STOCK ACTUAL	STOCK MÍNIMO	ESTADO	
Lamina de papel de bambu 12oz	GP-LP12	CAJA	200	180	Stock suficiente	✓
Rollo de fondo de vaso	GP-RF	ROLLO	92	120	Menor al mínimo	⚠
Rollo de bolsa de plástico	GP-BP	ROLLO	11	10	Stock suficiente	✓
Etiqueta 10 PZ	GP-ET10	PAQUETE	3	5	Menor al mínimo	⚠
Etiqueta 25 PZ	GP-ET25	PAQUETE	10	10	Stock suficiente	✓
Etiqueta 50 PZ	GP-ET50	PAQUETE	12	58	Menor al mínimo	⚠
Caja multipack	GP-CAJA	INDIVIDUAL	300	300	Stock suficiente	✓

**Figura 43.** Plantilla de gestor de inventarios

- MPS

Se desarrollo una plantilla para abordar la planeación maestra de la producción. Se utilizarán diferentes modelos para la planeación maestra de la producción y se seleccionará el modelo que presente un menor costo de producción. La plantilla de Master Production Schedule cuenta con las siguientes hojas:



**Figura 44.** Plantilla para MPS.

- MRP

Se desarrolló una plantilla para abordar la planeación de requerimiento de materiales. El MRP tiene como objetivo identificar la cantidad y el tiempo de cuando poner una orden de compra de acuerdo al requerimiento del MPS para satisfacer el requerimiento de la demanda, reducir costos y evitar cortos de material. La plantilla de Material Requirement Planning cuenta con las siguientes hojas:

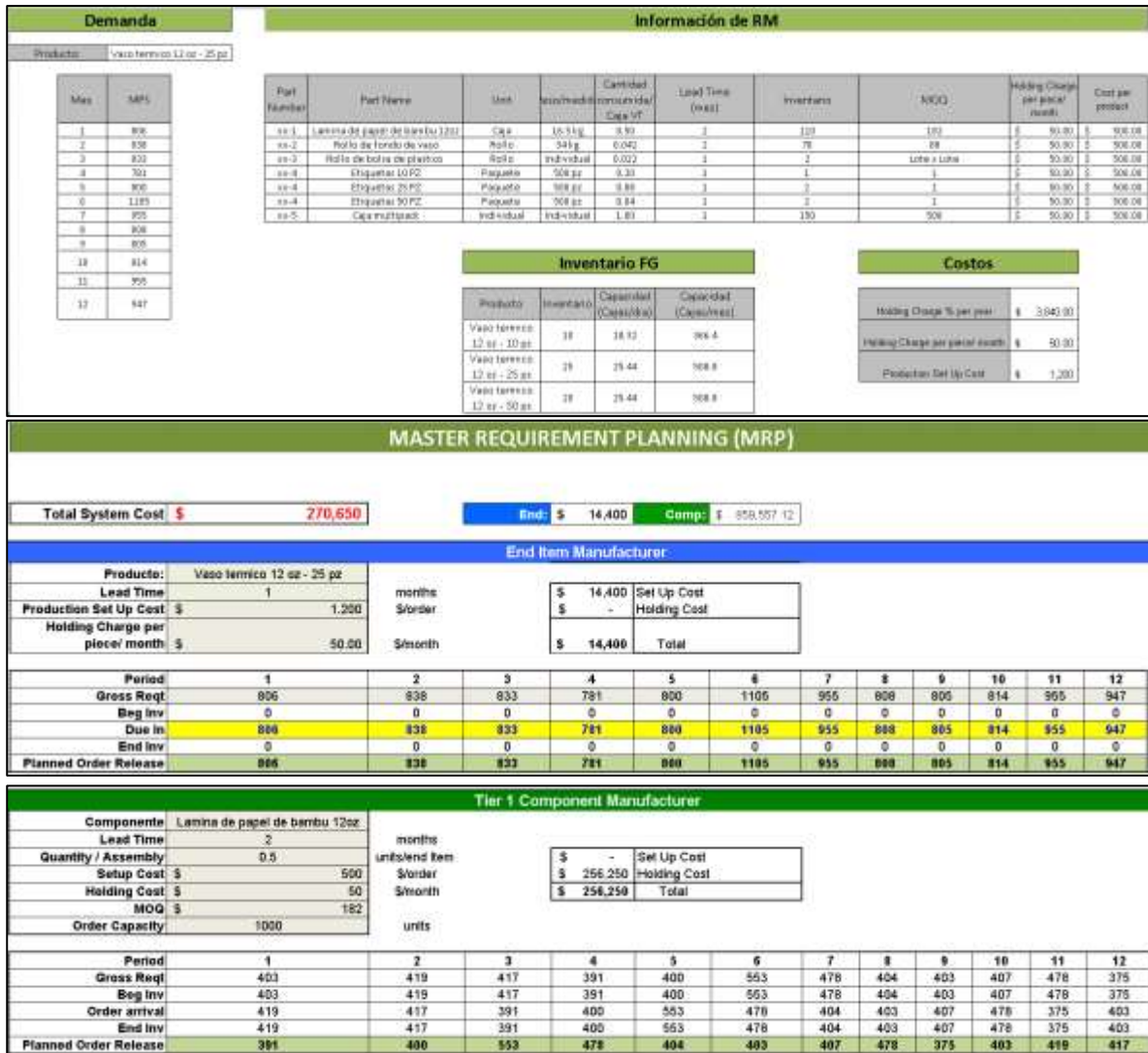


Figura 45. Plantilla para MRP.

## 4.4 Propuestas de mejora

Una vez analizado el proceso de vaso térmico se pudo observar que el proceso cuenta con un análisis del sistema de medición (MSA) adecuado y que al ser una MYPYME el proceso también cuenta con un promedio de defectos y desempeño del proceso aceptable. Sin embargo, de acuerdo al parámetro OEE, el funcionamiento de la máquina de vaso térmico muestra ser afectada directamente por la disponibilidad del equipo debido a tiempo muerto y altos tiempos de configuración. Por lo tanto, se ha decidido mejorar la disponibilidad del equipo por medio de las siguientes propuestas de mejora:

- Reducción del tiempo de configuración
- Estandarización de procesos
- Pronósticos de la demanda
- Planeación maestra de la producción (MPS)
- Planeación del requerimiento de los materiales (MRP)

Con las propuestas de mejoras del proyecto se plantea reducir el tiempo de configuración de 150.7 minutos a 85 minutos, lo que significa una reducción del 43% del tiempo de configuración. Se logró proponer un sistema de gestión de la cadena de suministro que permitirá a la empresa gestionar el pronósticos de la demanda, el inventario, la planeación de la producción y la planeación del requerimiento de los materiales, con la finalidad de eliminar los paros de producción debido a falta de material y eficientizar el nivel de inventario, ya que con el sistema de gestión de la cadena de suministro propuesto la empresa conocerá la fecha y cantidad exacta en que se deben de colocar las órdenes de compra de cada material para garantizar el cumplimiento de la demanda. Así mismo se estandarizo el proceso de vaso térmico y el proceso de configuración para garantizar la calidad del producto y reducir el tiempo muerto del proceso. En esta fase se evaluó el impacto en la organización de las propuestas de mejora planteadas:

- Mejoras en el nivel de calidad del proceso de vaso térmico y reducción del tiempo muerto al implementar la estandarización del proceso.
- Aumento en la capacidad del proceso al disminuir un 43% el tiempo de configuración de la máquina de vaso térmico.
- Aumento en la capacidad del proceso debido al decremento del tiempo inactivo de la máquina de vaso térmico.
- Mejora en el control y planeación de las actividades de la empresa mediante la gestión de la cadena de suministro.

## 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

Se concluye que es posible la integración de la metodología de Lean Six Sigma con conceptos de gestión de la cadena de suministro en una MIPYME del estado de Baja California. La metodología planteada permitió un correcto despliegue de LSS junto con la gestión de la cadena de suministro, brindando los elementos necesarios para diseñar y proponer acciones de mejora que permitan a la organización mejorar el desempeño de sus procesos. En primera instancia se aseguró que la empresa contará con las condiciones iniciales adecuadas para la implementación de LSS, esto mediante el compromiso de la dirección, capacitación del equipo, estandarización del proceso e implementación de una cultura de medición. Después se analizaron los focos de mejora y se definieron los proyectos a abordar. Posteriormente, se utilizó la metodología DMAIC para el desarrollo de las mejoras y por último se evaluó el impacto de las mejoras propuestas. En la etapa inicial la empresa presentaba en la muestra de datos alrededor de 100 horas de tiempo inactivo, alrededor de 12,300 vasos defectuosos en el proceso de vaso térmico y un tiempo de configuración elevado. Se estudio el proceso de vaso térmico mediante el análisis de capacidad binomial, en donde se puede concluir que la cantidad de defectos presentados en la muestra es aceptable para una MIPYME en crecimiento ya que cuenta con un valor PPM de 3.40%, así pues, con la estandarización de procesos, comprobación del sistema de inspección y los gráficos de control se pretende mejorar calidad en el producto y reducir los productos defectuosos. Por otro lado, al analizar el tiempo inactivo se percató que, de las 100 horas reportadas en la etapa inicial, 80.68 horas inactivas fueron registradas en el primer periodo. En donde la empresa reportó que en ese periodo se presentó una situación extraordinaria que ocasiono que la máquina de vasos no pudiera ser arreglada a la brevedad, en meses posteriores las horas inactivas disminuye de manera considerable a un promedio de 13.85 horas por mes, sin embargo para disminuir aún más el tiempo inactivo por falta de materiales y altos tiempo de configuración de la máquina de vaso térmico se propone la utilización de un sistema de gestión de cadena de suministro que implique el manejo de pronósticos de la demanda, gestión de inventarios, la planeación de la producción y la planeación de los requerimientos de los materiales. Así mismo, se propone la utilización de la metodología SMED para reducir el tiempo de configuración de 150.7 minutos a 85 minutos, reduciendo el proceso de configuración alrededor de un 40%. La propuesta de LSS junto con conceptos de cadena de suministro ha permitido introducir a la empresa una mejor metodología de trabajo, que, si bien una MIPYME cuenta con poco recurso para invertir en mejoras, es cierto que se puede empezar implementando herramientas para mejorar la eficiencia y calidad de las operaciones sin mucha inversión. Para lograr mejores resultados se debe generar un mayor compromiso de la dirección para abordar

proyectos de mayor envergadura que signifiquen una mayor inversión económica y de recursos que a su vez signifique un mayor impacto en el funcionamiento de la empresa. Aunado a lo anterior, es muy importante recalcar que las MYPYMES difícilmente cuenta con los recursos para establecer metodologías de mejora, lo que se sugiere en este sentido, es la aproximación de este tipo de empresas a instituciones educativas mediante los programas de vinculación para poder brindar a las organizaciones soluciones a problemas a los que se enfrenta el sector manufacturero local.

## 5.2 Recomendaciones

Con la finalidad de que este trabajo pueda ser replicado, se presentan las siguientes recomendaciones:

- Contar con el total apoyo y consentimiento del dueño de la organización.
- Utilizar la metodología de Ferizzola y Luna para implementar LSS en una MIPYME.
- Definir el diagnóstico de la empresa.
- Analizar los tipos de datos disponibles de acuerdo a las características de la empresa.
- Seleccionar las herramientas más aptas en cada fase de acuerdo a los datos disponibles.

## 6 REFERENCIAS

- [1] Daniyan, I., Adeodu, A., Mpofu, K., Maladzhi, R., & Katumba, M. G. K. K. (2022). Application of lean Six Sigma methodology using DMAIC approach for the improvement of bogie assembly process in the railcar industry. *Heliyon*, 8(3).
- [2] Pérez-Ortiz, H. (2016). El impacto de Lean Six Sigma en organizaciones latinoamericanas y sus factores críticos de éxito.
- [3] INEGI. (2019). INEGI presenta resultados de la encuesta nacional sobre productividad y competitividad de las micro, pequeñas y medianas empresas. Secretaría de economía Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2019/especiales/ENAPROCE2018.pdf>
- [4] Amalia, M., Orozco, M., Favela, H., Velázquez, J., & León, S. (2018). Aplicación de Lean y Six Sigma en una microempresa. *Revista de la Ingeniería Industrial*, 12(1).
- [5] Romero, R., Noriega, S., Escobar, C., & Ávila, V. (2009). Factores críticos de éxito: una estrategia de competitividad. *Culcyt*, 6(31), 5-14.
- [6] Chopra, S., Meindl, P. (2013). *Administración de la cadena de suministro*, Quinta edición, Pearson Education.
- [7] Kumar, N., Hasan, S. S., Srivastava, K., Akhtar, R., Yadav, R. K., & Choubey, V. K. (2022). Lean manufacturing techniques and its implementation: A review. *Materials Today: Proceedings*, 64, 1188-1192.
- [8] Mittal, A., Gupta, P., Kumar, V., Al Owad, A., Mahlawat, S., & Singh, S. (2023). The performance improvement analysis using Six Sigma DMAIC methodology: A case study on Indian manufacturing company. *Heliyon*, 9(3).
- [9] González, H. G., & Prado, C. A. E. (2021). Aplicación de la herramienta SIPOC a la cadena de suministro interna de una empresa distribuidora de medicamentos. *Revista Lumen Gentium*, 5(2), 119-134.
- [10] Míkva, M., Prajová, V., Yakimovich, B., Korshunov, A., & Tyurin, I. (2016). Standardization—one of the tools of continuous improvement. *Procedia Engineering*, 149, 329-332.
- [11] Bohigues Ortiz, A. (2015). Desarrollo e implementación de un Modelo Seis Sigma para la mejora de la Calidad y de la productividad en Pymes industriales.

- [12] Adeodu, A., Maladzhi, R., Katumba, M. G. K. K., & Daniyan, I. (2023). Development of an improvement framework for warehouse processes using lean six sigma (DMAIC) approach. A case of third party logistics (3PL) services. *Heliyon*, 9(4).
- [13] Peña González, P. E. (2022). Implementación de Lean Six Sigma y las Buenas Prácticas de Almacenamiento en una empresa puertorriqueña. *Manufacturing Competitiveness*.
- [14] Aust, J., & Pons, D. (2022). Assessment of aircraft engine blade inspection performance using attribute agreement analysis. *Safety*, 8(2), 23.
- [15] Amiri, A., & Nikzad, E. (2015, March). Statistical analysis of total process capability index in two-stage processes with measurement errors. In 2015 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM) (pp. 1-6). IEEE.
- [16] Pal, S., & Gauri, S. K. (2020). Measuring capability of a binomial process. *International Journal of Engineering, Science and Technology*, 12(1), 25-37.
- [17] Emmert-Streib, F., & Dehmer, M. (2019). Understanding statistical hypothesis testing: The logic of statistical inference. *Machine Learning and Knowledge Extraction*, 1(3), 945-962
- [18] Bekaroo, G., & Warren, P. (2016, August). Self-Tuning Flowcharts: A priority-based approach to optimize Diagnostic Flowcharts. In 2016 IEEE International Conference on Emerging Technologies and Innovative Business Practices for the Transformation of Societies (EmergiTech) (pp. 279-285). IEEE.
- [19] Choque, A. M. M. (2021). Estudio de tiempos y su relación con la productividad. *Revista Enfoques*, 5(17), 40-54.
- [20] Belu, N., Rizea, A. D., Nițu, E. L., & Gavriluță, A. C. (2018, August). An application of Six Sigma to PPM reduction in the relationship with the external customer. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 400, No. 6, p. 062006). IOP Publishing
- [21] Peña Méndez, L. (2013). First Pass Yield Improvement on Casting Cell Using DMAIC Methodology. *Manufacturing Engineering*.
- [22] Thiede, S. (2023). Advanced energy data analytics to predict machine overall equipment effectiveness (OEE): a synergetic approach to foster sustainable manufacturing. *Procedia CIRP*, 116, 438-443.


- [23] Bhade, S., & Hegde, S. (2020). Improvement of overall equipment efficiency of machine by SMED. *Materials Today: Proceedings*, 24, 463-472.
- [24] Wang, W., & Yuan, C. (2010, May). A New Approach to BOM Management Supporting Enterprise Information Collaboration. In *2010 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation* (Vol. 1, pp. 215-218). IEEE.
- [25] Jie, W., Li, L., & Jingwu, C. (2007, June). Exact Analysis and Simulation Test of Continuous (s, Q) Inventory Policy with Stochastic Lead Times. In *2007 International Conference on Service Systems and Service Management* (pp. 1-5). IEEE.
- [26] Jie, W., Li, L., & Jingwu, C. (2007, June). Exact Analysis and Simulation Test of Continuous (s, Q) Inventory Policy with Stochastic Lead Times. In *2007 International Conference on Service Systems and Service Management* (pp. 1-5). IEEE.
- [27] Ferradás, P. G., & Salonitis, K. (2013). Improving changeover time: a tailored SMED approach for welding cells. *Procedia CIRP*, 7, 598-603.
- [28] Bhade, S., & Hegde, S. (2020). Improvement of overall equipment efficiency of machine by SMED. *Materials Today: Proceedings*, 24, 463-472.
- [29] Vieira, A. M., Silva, F. J. G., Campilho, R. D. S. G., Ferreira, L. P., Sá, J. C., & Pereira, T. (2020). SMED methodology applied to the deep drawing process in the automotive industry. *Procedia Manufacturing*, 51, 1416-1422.
- [30] De la Fuente Fernandez, S. (2016). *Series Temporales: Modelo Arima*. Universidad Autónoma de Madrid, 1-14.
- [31] Tlapa, Diego (2023). *Pronósticos por series de tiempo*. Universidad Autónoma de Baja California.
- [32] Dadaneh, D. Z., Moradi, S., & Alizadeh, B. (2023). Simultaneous planning of purchase orders, production, and inventory management under demand uncertainty. *International Journal of Production Economics*, 265, 109012.
- [33] Jonsson, P., & Ivert, L. K. (2015). Improving performance with sophisticated master production scheduling. *International Journal of Production Economics*, 168, 118-130.
- [34] Tlapa, Diego (2023). *Master Production Schedule*. Universidad Autónoma de Baja California.

- [35] Ioannou, G., & Dimitriou, S. (2012). Lead time estimation in MRP/ERP for make-to-order manufacturing systems. *International Journal of Production Economics*, 139(2), 551-563.
- [36] Andersson, R. and Pardillo-Baez, Y. (2020), "The Six Sigma framework improves the awareness and management of supply-chain risk", *The TQM Journal*, Vol. 32 No. 5, pp. 1021-1037.
- [37] Felizzola Jiménez, H., & Luna Amaya, C. (2014). Lean Six Sigma en pequeñas y medianas empresas: un enfoque metodológico. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 22(2), 263-277.
- [38] Achanga, P., Shehab, E., Roy, R. and Nelder, G. (2006), "Critical success factors for lean implementation within SMEs", *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 17 No. 4, pp. 460-471.
- [39] Albliwi, S., Antony, J., Lim, S. A. H., & van der Wiele, T. (2014). Critical failure factors of Lean Six Sigma: a systematic literature review. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 31(9), 1012-1030.
- [40] A. Thomas, R. Barton and C. Chuke-Okafir. "Applying lean six sigma in a small engineering company – a model for change". *Journal of Manufacturing Technology Management*. Vol. 20, Issue 1, pp. 113-129. December, 2008.
- [41] S.S Chakravorty. "Six Sigma programs: An implementation model". *International Journal of Production Economics*. Vol. 119. Issue 1, pp. 1-16. May, 2009.
- [42] M. Kumar, J. Antony and M.K. Tiwari. "Six Sigma implementation framework for SMEs – a roadmap to manage and sustain the change". *International Journal of Production Research*. Vol. 49, Issue 18, pp.5449-5467, September, 2011.
- [43] Kumar, M., Antony, J., Singh, R. K., Tiwari, M. K., & Perry, D. (2006). Implementing the Lean Sigma framework in an Indian SME: a case study. *Production Planning and Control*, 17(4), 407-423.
- [44] Antony, J., Kumar, M. and Madu, C.N. (2005), "Six sigma in small- and medium-sized UK manufacturing enterprises: Some empirical observations", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 22 No. 8, pp. 860-874.
- [45] Celis, O. L. M., & García, J. M. S. (2012). Modelo tecnológico para el desarrollo de proyectos logísticos usando Lean Six Sigma. *Estudios gerenciales*, 28(124), 23-43.

[46] Barbosa s., E. (2012). Metodología para la integración de Seis Sigma y Lean en una empresa PyME: Un enfoque participativo entre la academia y las PyMEs Tamaulipecas. Doctorado. Universidad de León.

[47] Minitab (2024). Consideraciones acerca de los datos para Análisis de concordancia de atributos. Recuperado de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/measurement-system-analysis/how-to/attribute-agreement-analysis/attribute-agreement-analysis/before-you-start/data-considerations/>

## 7 ANEXOS

 <b>Procedimientos e Instrucciones</b>	<b>Instrucción No.: 1</b>
	<b>Revisión: 1</b>
	<b>Fecha de Efectividad: Abril-20-2023</b>
<b>Título: Cambio de modelo (12 oz -16 oz) de máquina de vaso térmico</b>	

**1.0 PROPÓSITO.**

Establecer una instrucción para determinar las actividades necesarias en el cambio de modelo para la máquina de vasos térmico.

**2.0 ALCANCE.**

Esta Instrucción aplica para el setup de vasos de 12 oz y 16 oz elaborados en la máquina de vasos térmica de Griin Pack.

**3.0 RESPONSABILIDADES.**

**Gerente de operaciones:** Es el encargado de tener disponible el material necesario para el setup, realizar el cambio de configuración, dar mantenimiento correctivo y predictivo a la máquina.

**Encargado de producción:** Es el encargado del correcto uso de la máquina, reportar fallos de la máquina y dar mantenimiento preventivo.

**4.0 DEFINICIONES.**

**Setup:** Es el conjunto de actividades relacionadas con el cambio de maquina en un entorno de fabricación, al pasar de un producto a otro. Esto normalmente lleva un tiempo asociado al cambio de matrices, moldes u otro tipo de dispositivos de la máquina.

**Mantenimiento correctivo:** Es la actividad técnica ejecutada después de producirse una avería y tiene como objetivo restaurar el activo a una condición en la que puede funcionar como deseado, ya sea debido a su reparación, ya sea debido a su sustitución.

**Mantenimiento preventivo:** Es el mantenimiento que tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las intervenciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno. Suele tener un carácter sistemático, es decir, se interviene, aunque el equipo no haya dado ningún síntoma de tener un problema.

**Mantenimiento predictivo:** Es el que persigue conocer e informar permanentemente del estado y operatividad de las instalaciones mediante el conocimiento de los valores de determinadas variables, representativas de tal estado y operatividad. Para aplicar este mantenimiento, es necesario identificar variables físicas (temperatura, vibración, consumo de energía, etc.) cuya variación sea indicativa de problemas que puedan estar apareciendo en el equipo.

## 5.0 PROCEDIMIENTO.

### Paso 1. Quitar moldes giratorios

#### Herramientas y materiales:

- Llave Circular 17-19 mm: Se utiliza la parte de 19 mm.



Imagen 1. Llave 17-19 mm

- Llave 10 mm: Se utiliza parte U 10 mm.



Imagen 2. Llave 10 mm

- 3 vasos para echar los materiales que se van a quitar. Uno para pernos, otro para rondanas de plástico y el ultimo para tuerca y rondana de metal central.



Imagen 3. Vasos para material



## Procedimientos e Instrucciones

Instrucción No.: 1

Revisión: 1

Fecha de Efectividad: Abril-20-2023

**Título:** Cambio de modelo (12 oz -16 oz) de máquina de vaso térmico

### Nota:

La máquina debe estar encendida para que los moldes puedan girar, pero debe tener los ventiladores y quemadores apagados.



Imagen 4. Configuración del tablero de máquina.

### Procedimiento:

1.1 Colocar trapo debajo del molde que se va a cambiar para que no haga corto al rosar con una resistencia.



Imagen 5. Colocación de trapo.



## Procedimientos e Instrucciones

Instrucción No.: 1

Revisión: 1

Fecha de Efectividad: Abril-20-2023

**Título:** Cambio de modelo (12 oz -16 oz) de máquina de vaso térmico

- 1.2 Quitar los dos pernos superiores del molde con la llave 10 mm y ponerlos en su vaso correspondiente.



Imagen 6. Proceso de quitar pernos

- 1.3 Bajar la parte inferior del molde para retirar 2 rondanas y ponerlas en vaso correspondiente.



Imagen 7. Proceso de quitar rondanas



## Procedimientos e Instrucciones

Instrucción No.: 1

Revisión: 1

Fecha de Efectividad: Abril-20-2023

**Título:** Cambio de modelo (12 oz -16 oz) de máquina de vaso térmico

- 1.4 Quitar tuerca y rondana central de la parte superior del molde con la llave de 19mm y ponerla en vaso correspondiente.



Imagen 8. Proceso de quitar rondanas

- 1.5 Retirar todo el molde completo de la máquina y colocarlo en el piso.



Imagen 9. Proceso de quitar molde completo



## Procedimientos e Instrucciones

Instrucción No.: 1

Revisión: 1

Fecha de Efectividad: Abril-20-2023

**Titulo:** Cambio de modelo (12 oz -16 oz) de máquina de vaso térmico

- 1.6 Remover el trapo de quemador y girar moldes para posicionarlo de forma correcta. Presionar el botón amarillo para hacer girar los moldes.



Imagen 10. Proceso de girar moldes

**Nota:** El procedimiento anterior es para un molde, repetir el procedimiento para los 8 moldes giratorios.

**Figura 51.** Estandarización del proceso de cambio de configuración.