

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Aumento de la productividad en una línea de producción de adhesivos
industriales

INGE-2916

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Industrial

Presentado por:

Francis Gustavo Salazar Baquerizo

Miloz Enrique Quiroz Carreño

Guayaquil - Ecuador

Año: 2025

Dedicatoria

Dedico este proyecto a mis padres y a Dios, por ser el pilar fundamental en mi vida, por su amor incondicional, sacrificio y enseñanzas que me guiaron en cada paso de este camino.

A mi querida mascota, que me acompañó silenciosa pero fielmente a lo largo de esta etapa, brindándome alegría y compañía inigualable. Su recuerdo vive conmigo y esta meta también es tuya.

Miloz Quiroz Carreño

Dedico este proyecto a mis padres Francis y Ana, quienes siempre han creído en mí, con su amor me han apoyado desde niño, con su experiencia me guiaron y me motivaron día a día a superar cada desafío que se presentaba en el camino hasta la culminación de esta gran etapa.

Este logro no solo es mío, sino también de ellos, por haber sido siempre mi mayor inspiración.

Francis Salazar Baquerizo

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la fortaleza, la salud y la sabiduría. A mis padres, quienes con esfuerzo, sacrificio y amor incondicional. A mis amigos, por acompañarme en los momentos más difíciles. Finalmente, a esa persona especial que, con su compañía, apoyo y comprensión, fue un motor fundamental para mantenerme motivado durante este proceso.

Miloz Quiroz Carreño

Agradezco a mis padres Francis y Ana por su apoyo incondicional en todo momento y por sus sabios consejos.

A mi novia, Lucciana, por acompañarme y brindarme su apoyo durante el desarrollo de este proyecto. A mis amigos, que hicieron más amena esta etapa, dejando buenos recuerdos. A mis abuelos y a toda mi familia, por estar siempre presentes durante mi vida universitaria.

Francis Salazar Baquerizo

Agradecimientos

Al Dr. Kléber Barcia, nuestro tutor de tesis, por su orientación, paciencia y valiosos aportes que guiaron el desarrollo de este trabajo.

Al Dr. Sergio Núñez, gerente de la empresa donde se llevó a cabo esta investigación, por su apertura, confianza y disposición que hicieron posible el desarrollo de la presente tesis.

Miloz Quiroz Carreño

Francis Salazar Baquerizo

Declaración Expresa

Nosotros Francis Gustavo Salazar Baquerizo y Miloz Enrique Quiroz Carreño acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al/los autores/es que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 29 de mayo del 2025.


Francis Gustavo Salazar Baquerizo


Miloz Enrique Quiroz Carreño

Evaluadores

Rodríguez Zurita María Denise, Ph.D.

Profesor de Materia

Barcia Villacreses Kléber Fernando, Ph.D.

Tutor de proyecto

Resumen

Este proyecto se desarrolló en una empresa de adhesivos industriales con el objetivo de superar la baja eficiencia de una de sus líneas de producción. A través de la metodología DMAIC se identificaron cuellos de botella críticos, como el enfriamiento natural del mezclador, la falta de planificación y la ineficiencia del área de empaque. Con base en el análisis de causas raíz se diseñaron e implementaron mejoras: instalación de un sistema de enfriamiento forzado, rediseño del layout en forma de “U”, implementación de un MPS y renovación del motor del mezclador. Estas soluciones permitieron aumentar la producción semanal de 2.124 kg a 5.600 kg, lo que representa un incremento del 167%. Además, se lograron impactos positivos en tres dimensiones: económico, con un aumento del 50% en los ingresos; ambiental, con una reducción del 40% de residuos; y social, con una mejora del 35% en la satisfacción de los operarios. En conclusión, el estudio demuestra que la aplicación de herramientas de mejora continua puede transformar una operación ineficiente en un proceso rentable, sostenible y competitivo.

Palabras clave: Mejora continua, DMAIC, Adhesivos industriales, Cuellos de botella, Eficiencia operativa

Abstract

This project was developed in an industrial adhesives company facing a critical problem of low efficiency in one of its production lines. Despite having an installed capacity of 8,610 kg per week, the line only produced 2,124 kg, operating at just 12% of its potential. One of the main limitations was the natural cooling of the 6-ton mixer, which required between five and seven days per batch, creating a significant bottleneck. Additional issues included the restricted use of a single sealer, lack of planning for large orders, and the mixer being used as a storage container, all of which increased inefficiency.

To address this, the DMAIC methodology was applied. In the define phase, objectives were established: increase productive capacity by at least 50% of the existing gap and ensure process sustainability. Measurement and analysis phases identified root causes and prioritized high-impact factors. Improvement initiatives included forced cooling, which reduced time from seven to 1.5 days, a “U” shaped layout redesign, implementation of a Master Production Schedule (MPS), and motor renewal. Finally, the control phase established monitoring mechanisms to sustain improvements.

As a result, weekly production increased to 5,600 kg (+167%), with positive financial, environmental, and social impacts, transforming the line into a sustainable and competitive operation.

Keywords: *Continuous improvement, DMAIC, Industrial adhesives, Bottlenecks, Operational efficiency*

Índice general

Resumen.....	I
Abstract.....	II
Índice general.....	III
Abreviaturas.....	VI
Índice de figuras.....	VIII
Índice de Tablas	X
1 Capítulo 1.....	1
1.1 Introducción	2
1.2 Descripción del problema	2
1.2.1 Justificación del problema	3
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos específicos	3
1.4 Alcance	3
1.5 Marco teórico.....	5
1.5.1 Enfoque DMAIC.....	5
1.5.2 SIPOC	6
1.5.3 Voz del Cliente (VOC)	7
1.5.4 Diagrama de Afinidad.....	7

1.5.5	Árbol CTQ	7
1.5.6	Diagrama de Flujo y Diagrama de Recorrido	7
1.5.7	Mapeo de Flujo de Valor (VSM)	8
1.5.8	Series de Tiempo.....	8
1.5.9	Pruebas de Normalidad y Confiabilidad	8
1.5.10	Análisis de Capacidad del Proceso	8
1.5.11	Cartas de Control	9
1.5.12	Diagrama de Ishikawa / Causa-Efecto	9
1.5.13	Diagrama de Pareto	9
1.5.14	Gemba	9
1.5.15	Técnica de los Cinco Por Qué.....	10
2	Capítulo 2.....	11
2.1	Metodología	12
2.1.1	Definir	12
2.1.2	Medir.....	17
2.1.3	Analizar.....	28
2.1.4	Mejorar.....	42
3	CAPÍTULO 3.....	56
3.1	Resultados	57
3.1.1	Diseño de Experimento	57
3.2	Análisis	61

3.2.1	Análisis Financiero	61
4	CAPÍTULO 4.....	64
4.1	Conclusiones	65
4.1.1	Incremento del rendimiento productivo.....	65
4.1.2	Identificación del problema central.	65
4.1.3	Análisis de causas raíz.	65
4.1.4	Implementación de mejoras y base para la mejora continua.	65
4.2	Recomendaciones	66
4.2.1	Institucionalización de la mejora continua.	66
4.2.2	Formalización de la definición de problemas.	66
4.2.3	Fortalecimiento del análisis de causas raíz.	66
4.2.4	Estandarización y expansión de mejoras.	66
	Referencias	

Abreviaturas

DMAIC	Definir, Medir, Analizar, Mejorar (Improve) y Controlar
Excel	Herramienta de hoja de cálculo de Microsoft
Kgs/sem	Kilogramos por semana
KPI	Key Performance Indicator (Indicador Clave de Desempeño)
Minitab	Software estadístico para análisis de datos
MPS	Master Production Schedule
SIPOC	Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers (Diagrama de proceso alto nivel)

Simbología

P	Proporción o probabilidad de ocurrencia
N	Tamaño de la muestra o número de observaciones
%	Porcentaje
M	Media poblacional
Σ	Desviación estándar
=	Igualdad o equivalencia
$\neq$	Desigualdad
Kg/semana	Kilogramos producidos por semana
$\geq / \leq$	Mayor o igual que / Menor o igual que

Índice de figuras

Figura 2.1 <i>Árbol CTQ</i>	13
Figura 2.2 <i>Serie de Tiempo de la Producción Semanal</i>	14
Figura 2.3 <i>Diagrama de Flujo de Material</i>	17
Figura 2.4 <i>Value Stream Mapping (VSM)</i>	18
Figura 2.5 <i>Prueba T para Variable Y</i>	21
Figura 2.6 <i>Proceso para Toma de Tiempos</i>	22
Figura 2.7 <i>Test de Normalidad para la Variable Y</i>	25
Figura 2.8 <i>Gráfico de Box Cox</i>	25
Figura 2.9 <i>Test de Normalidad Post-Box Cox</i>	26
Figura 2.10 <i>Reporte de Capacidad del Proceso</i>	26
Figura 2.11 <i>Diagrama de Ishikawa</i>	29
Figura 2.12 <i>Diagrama de Pareto</i>	30
Figura 2.13 <i>Diagrama de Impacto-Esfuerzo</i>	30
Figura 2.14 <i>Mezclador Industrial</i>	32
Figura 2.15 <i>Prueba T para Causa 2</i>	33
Figura 2.16 <i>Prueba T de Causa 13</i>	34
Figura 2.17 <i>Prueba T de Causa 6</i>	36
Figura 2.18 <i>Interior del Mezclador</i>	37
Figura 2.19 <i>Área de Producción</i>	37
Figura 2.20 <i>Prueba T de Causa 9</i>	38
Figura 2.21 <i>Selladora Industrial</i>	39
Figura 2.22 <i>Interior de la Selladora</i>	39
Figura 2.23 <i>Prueba T de la Causa 5</i>	40

Figura 2.24 Matriz Impacto-esfuerzo de las soluciones	42
Figura 2.25 <i>Matriz de Evaluación de las Soluciones</i>	43
Figura 2.26 <i>Propuesta Sistema de Enfriamiento</i>	45
Figura 2.27 <i>Diagrama Nodal</i>	48
Figura 2.28 <i>Diagrama de Bloques Opción 1</i>	48
Figura 2.29 <i>Diagrama de Bloques Opción 2</i>	48
Figura 2.30 <i>Propuesta de layout 1</i>	49
Figura 2.31 <i>Propuesta de layout 2</i>	49
Figura 3.1 <i>Simulación de la Situación Actual</i>	57
Figura 3.2 <i>Prueba T la Producción Simulada</i>	58
Figura 3.3 <i>Simulación de Mejora</i>	59
Figura 3.4 <i>Power Test</i>	60
Figura 3.5 <i>Prueba T para Proceso Simulado</i>	61

Índice de Tablas

Tabla 1.1 Diagrama SIPOC	4
Tabla 2.1 <i>Gap Ajustado</i>	14
Tabla 2.2 <i>Justificación Económica</i>	15
Tabla 2.3 <i>Plan de Recolección de Datos</i>	19
Tabla 2.4 <i>Throughput Semanal</i>	20
Tabla 2.5 <i>Datos de Tiempo de Calibración</i>	23
Tabla 2.6 <i>Datos de Número de Envase</i>	23
Tabla 2.7 <i>Datos de Desperdicios</i>	24
Tabla 2.8 <i>Datos de Tiempo de Enfriamiento</i>	24
Tabla 2.9 <i>Causas Encontradas</i>	28
Tabla 2.10 <i>Plan de Verificación de Causas</i>	31
Tabla 2.11 <i>Datos de Tiempo de Enfriamiento</i>	31
Tabla 2.12 <i>Proyección de Propuesta de Enfriamiento</i>	32
Tabla 2.13 <i>Datos de Tiempo de Calibración</i>	33
Tabla 2.14 <i>Proyección de Propuesta de Causa 13</i>	34
Tabla 2.15 <i>Horas Trabajadas en las Últimas 10 Semanas</i>	35
Tabla 2.16 <i>Proyección de Propuesta Causa 9</i>	37
Tabla 2.17 <i>Proyección de la Propuesta de Causa 5</i>	39
Tabla 2.18 <i>Herramienta 5 ¿Por qué?</i>	41
Tabla 2.19 <i>Causas Raíz</i>	41
Tabla 2.20 <i>Plan de implementación de Solución 1</i>	44
Tabla 2.21 <i>Plan de implementación de Solución 2</i>	46
Tabla 2.22 <i>Abreviaturas para Matriz de Relación</i>	47

Tabla 2.23 <i>Matriz de Relación</i>	47
Tabla 2.24 <i>Plan de implementación de Solución 3</i>	50
Tabla 2.25 <i>Propuesta de Sistema MPS Mensual</i>	52
Tabla 2.26 <i>Propuesta de Sistema MPS Diario</i>	52
Tabla 2.27 <i>Propuesta Sistema MPS Semanal</i>	53

CAPÍTULO 1

1.1 Introducción

En un entorno industrial altamente competitivo, la eficiencia operativa se ha convertido en un factor clave para la sostenibilidad y el crecimiento de las organizaciones manufactureras. Empresas que operan en sectores de alto consumo de materias primas, como la industria de adhesivos, enfrentan el reto constante de mejorar su productividad para satisfacer una demanda creciente sin comprometer la calidad ni los costos. Este es el caso de una empresa ecuatoriana dedicada a la producción de adhesivos industriales, la cual abastece sectores estratégicos como la industria cartonera, papelera, balsera y militar.

Desde junio de 2024, la línea de producción principal ha presentado un throughput promedio semanal de 2124,03 kg, lo que representa apenas un 12 % de su capacidad instalada. Esta baja productividad pone en riesgo el cumplimiento de los objetivos operativos de la empresa, especialmente frente a un escenario de crecimiento proyectado que requiere alcanzar un throughput cercano a los 8610,26 kg semanales. Esta brecha evidencia la necesidad urgente de identificar y abordar las causas que limitan el desempeño de la línea.

En este contexto, el presente proyecto propone el aumento del throughput de la línea de producción a través de un enfoque estructurado de mejora continua, utilizando la metodología DMAIC. El proyecto busca no solo mejorar la cantidad de adhesivo producido semanalmente, sino también optimizar los recursos físicos, humanos y técnicos involucrados, alineándose con los principios de eficiencia operativa, sostenibilidad y calidad.

1.2 Descripción del problema

Desde junio de 2024, la línea de producción de adhesivos industriales tiene un throughput por debajo del nivel semanal esperado con un throughput promedio de 2124,03 kg/semana en la línea de producción, donde se espera un aumento de 8610,26 kg/semana en

el throughput en los próximos meses para cumplir con los objetivos de la empresa y el pronóstico.

1.2.1 *Justificación del problema*

La empresa espera que su demanda aumente en un futuro muy cercano en un 50% con respecto a su venta más alta registrada hasta la actualidad, por lo que necesita de manera urgente mejorar la capacidad de respuesta ante este contexto, esto significa mejorar el throughput semanal.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo General*

Aumentar el throughput de la línea de producción de adhesivo en un 50% del GAP, con el fin de que aumente el throughput estándar a 5.367 kg/semana de adhesivo en cuatro meses utilizando herramientas DMAIC.

1.3.2 *Objetivos específicos*

- Definir el problema real y específico de la empresa de producción de adhesivo industrial.
- Localizar las causas raíz de la deficiencia en la producción de adhesivo industrial.
- Proponer mejoras que estandaricen la producción de adhesivo industrial.

1.4 Alcance

En la Tabla 1.1 se puede observar la herramienta SIPOC del proceso de producción del adhesivo para el entendimiento del estudio.

Tabla 1.1

Diagrama SIPOC

Proveedores	Entradas	Procesos	Salidas	Clientes
Personal de calidad	Autorización del supervisor	Apertura de las válvulas mezcladoras para iniciar la producción		
Proveedor de agua potable	Agua potable	Destilación de agua (filtración, carbón activado, descalcificación)	Agua destilada	Mezcladoras
Proveedores de materias primas (látex, alcohol PVA, conservantes, etc.)	Materias primas (látex, alcohol PVA, conservantes, fungicidas, bactericidas)	Recepción y almacenamiento de materias primas	Materias primas (látex, alcohol PVA, conservantes, fungicidas, bactericidas)	Almacén
Departamento de ventas	Pedido del cliente	Verificación de las existencias de materias primas	Órdenes de compra	Departamento de Logística
Interagua	Agua	Preparación del caldero	Vapor de agua	Mezcladoras
Calderas y contenedores de agua destilada	Agua destilada y vapor de agua	Preparación del reactor: entrada de agua, calentamiento a 80 °C	Agua destilada a 80 °C	Mezcladoras
Almacén	Alcohol PVA	Mezcla de alcohol PVA	Mezcla de agua y alcohol PVA a 80 °C	Mezcladoras
	Mezcla de agua y alcohol PVA a 80 °C	Enfriamiento natural (5 días)	Mezcla de agua y alcohol PVA a 40 °C	Mezcladoras
Almacén	Látex y bactericidas	Mezcla de látex y aditivos	Adhesivo preparado	Laboratorio
	Adhesivo preparado	Control de calidad (muestreo)	Muestras de adhesivo	Línea de envasado
Proveedores de contenedores de plástico	Embalaje y adhesivo preparado	Envasado y pesaje	Adhesivo envasado	Línea de envasado
	Adhesivo envasado	Codificación de lotes	Adhesivo terminado codificado	Línea de envasado
	Adhesivo codificado terminado	Paletizado, almacenamiento y registro	Registro de lotes	Departamento de Logística
			Producto envasado y almacenado	Almacén
				Área de envíos/distribución
				Departamento de ventas (seguimiento de pedidos)

1.5 Marco teórico

El presente capítulo desarrolla los fundamentos teóricos que sustentaron el proyecto de mejora del throughput en la línea de producción de adhesivos industriales de la empresa. Se ha realizado una revisión de literatura académica, informes técnicos y proyectos de mejora implementados tanto a nivel nacional como internacional, con el objetivo de vincular esta investigación con teorías, metodologías y herramientas ya existentes y validadas en el ámbito industrial. El marco se organiza desde enfoques generales de mejora continua hasta herramientas específicas utilizadas en el desarrollo del proyecto.

1.5.1 Enfoque DMAIC

La metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) es una herramienta estructurada derivada de la filosofía Six Sigma, ampliamente utilizada para proyectos de mejora continua en entornos industriales. Según George (2002), el enfoque DMAIC permite optimizar procesos al reducir la variabilidad, eliminar defectos y aumentar la eficiencia mediante un ciclo cerrado basado en datos. Su aplicación se ha reportado exitosamente en industrias manufactureras, farmacéuticas y de servicios (Pyzdek, 2014).

- 1.5.1.1 Definir.** En esta fase inicial, el objetivo principal es identificar una oportunidad de mejora dentro del proceso y validar su importancia tanto para la organización como para las partes interesadas. Un proyecto de mejora debe alinearse tanto con los objetivos estratégicos del negocio como con las necesidades del cliente, garantizando así su relevancia organizacional (Pyzdek, 2014).
- 1.5.1.2 Medir.** En la fase de medición, se establece una línea base del proceso a través de indicadores clave que permitan evaluar su desempeño actual frente a los objetivos futuros. Esta medición es fundamental para cuantificar el problema y validar su impacto (George, 2010).
- 1.5.1.3 Analizar.** El análisis se enfoca en identificar las causas raíz de la variación, utilizando técnicas estructuradas como el diagrama de causa-efecto, la técnica de los cinco porqués y validación con datos estadísticos (Pyzdek, 2014).
- 1.5.1.4 Mejorar.** Una vez identificadas las causas raíz, se diseñan soluciones que permitan mejorar el desempeño del proceso, priorizando aquellas de mayor impacto y menor riesgo. Se puede recurrir a simulaciones, pruebas piloto y análisis de costo-beneficio para validar su efectividad (George, 2010).
- 1.5.1.5 Controlar.** La última etapa consiste en establecer mecanismos que aseguren la sostenibilidad de las mejoras implementadas. Se diseñan sistemas de monitoreo y control que permiten dar seguimiento a los resultados, detectar desviaciones y proponer nuevas oportunidades de mejora. El propósito es mantener los beneficios obtenidos a largo plazo y evitar que el proceso regrese a su estado anterior (Montgomery D. C., 2009).

1.5.2 SIPOC

El diagrama SIPOC (Supplier, Input, Process, Output, Customer) es una herramienta de alto nivel que proporciona una visión general del proceso. Es útil en la fase inicial de proyectos Six Sigma para delimitar el alcance del proceso y comprender sus componentes clave (Antony, 2006).

1.5.3 Voz del Cliente (VOC)

La Voz del Cliente es una técnica para captar y traducir las necesidades del cliente interno o externo en especificaciones del proceso (Akao, 1990). Su uso es crítico para alinear las mejoras con las expectativas reales.

1.5.4 Diagrama de Afinidad

Este diagrama organiza información cualitativa obtenida del VOC en categorías temáticas, permitiendo detectar patrones y tendencias (Brassard, 1994).

1.5.5 Árbol CTQ

El árbol CTQ (Critical to Quality Tree) descompone los requerimientos del cliente en características medibles del producto o proceso, facilitando la definición de objetivos claros (Taguchi, 1986).

1.5.6 Diagrama de Flujo y Diagrama de Recorrido

El diagrama de flujo permite representar gráficamente la secuencia de actividades en un proceso, facilitando su comprensión y detección de ineficiencias (Harrington, Business process improvement: The breakthrough strategy for total quality, productivity, and competitiveness, 1991). Por su parte, el diagrama de recorrido complementa este análisis al mostrar la trayectoria física de personas, materiales o información, permitiendo identificar movimientos innecesarios (Muther, 1973).

1.5.7 Mapeo de Flujo de Valor (VSM)

El VSM permite visualizar el flujo actual y futuro del valor dentro del proceso, identificando cuellos de botella y actividades que no agregan valor (Rother, 2003). Su aplicación es fundamental para identificar oportunidades de mejora en procesos de manufactura.

1.5.8 Series de Tiempo

Las series de tiempo permiten analizar la evolución de una variable en el tiempo, identificando tendencias, estacionalidades y análisis de comportamiento (Montgomery D. C., 2011).

1.5.9 Pruebas de Normalidad y Confiabilidad

Antes de aplicar herramientas estadísticas paramétricas, se debe verificar que los datos siguen una distribución normal. Para ello, existen diversas pruebas estadísticas, entre las que se incluye la prueba Ryan–Joiner, desarrollada específicamente para detectar desviaciones de la normalidad, y particularmente útil cuando se trabaja con software como Minitab. Esta prueba es conceptualmente similar a la prueba de Shapiro-Wilk, pero fue adaptada para facilitar su interpretación en contextos industriales (Ryan, 1976).

La confiabilidad de los datos se refiere al grado en que estos reflejan consistentemente el fenómeno observado, y su evaluación permite validar la calidad de los análisis posteriores. Asegurar normalidad y confiabilidad es crucial para garantizar la robustez de pruebas estadísticas como el análisis de capacidad, diseño de experimentos o pruebas de hipótesis.

1.5.10 Análisis de Capacidad del Proceso

Permite determinar si un proceso puede cumplir consistentemente con las especificaciones requeridas por el cliente (Wheeler, 1995).

1.5.11 Cartas de Control

Desarrolladas por Shewhart, estas cartas permiten monitorear la estabilidad del proceso a lo largo del tiempo, identificando causas especiales de variación (Montgomery D. C., 2009).

1.5.12 Diagrama de Ishikawa / Causa-Efecto

El diagrama de Ishikawa, también denominado diagrama causa-efecto, fue creado en los años cincuenta durante un proyecto de control de calidad para la empresa Kawasaki Steel Company. Esta herramienta gráfica permite representar de manera estructurada un problema (el efecto), colocándolo como el eje principal del esquema —similar a la cabeza de un pez—, mientras que las posibles causas que lo originan se disponen como ramas o espinas que se conectan al eje central. Estas causas suelen agruparse en cinco o seis categorías generales, entre las que comúnmente se encuentran factores humanos, métodos, materiales, maquinaria, entorno y medición. Esta técnica facilita la identificación de las fuentes más probables de un problema dentro de un proceso (Niebel, 2009).

1.5.13 Diagrama de Pareto

Basado en el principio 80/20 de Vilfredo Pareto, esta herramienta permite priorizar problemas identificando los pocos vitales frente a los muchos triviales (Juran, 1999).

1.5.14 Gemba

El término japonés "Gemba" se traduce como "el lugar real" y se refiere a la práctica de observar directamente el lugar donde ocurre el proceso para entender su funcionamiento. Gemba es clave para obtener información directa y no mediada sobre el estado actual del proceso, siendo una técnica base del enfoque Kaizen (Imai, Gemba Kaizen: A commonsense, low-cost approach to management, 1997).

1.5.15 Técnica de los Cinco Por Qué

Es una técnica sistemática de preguntas suele utilizarse durante la etapa de análisis en la metodología DMAIC. Consiste en formular una cadena de preguntas sucesivas para llegar a la causa raíz de un problema. Es ampliamente utilizada en metodologías Lean y Six Sigma (Ohno, 1988).

CAPÍTULO 2

2.1 Metodología

Este proyecto se realiza siguiendo la metodología DMAIC, la cual consta de cinco fases que serán explicadas de forma ordenada en el contexto del proyecto.

2.1.1 Definir

En esta etapa se busca recolectar toda la información posible para poder establecer el problema que presenta la empresa actualmente, por ese motivo se aplican diferentes herramientas que ayudarán a recopilar datos.

2.1.1.1 Voz del Cliente (VOC). Se realizaron entrevistas a los trabajadores para recolectar información sobre la situación actual de la empresa desde su perspectiva. Se seleccionaron las observaciones más relevantes de las entrevistas para luego agruparlas en un diagrama de afinidad.

Equipos:

- Solo 2 de las 3 mezcladoras están en uso.
- Insuficiente agua destilada para la mezcla.
- Las mezcladoras dan pequeños toques eléctricos.
- Ruido excesivo en la máquina de empaque.
- Riesgo de incendio por la máquina selladora.

Tiempo de procesamiento:

- El proceso de enfriamiento dura de 5 a 7 días.
- Toma un día en reparar una máquina dañada.
- Mezcladoras y motores requieren de limpieza anual.

Procesos ineficientes:

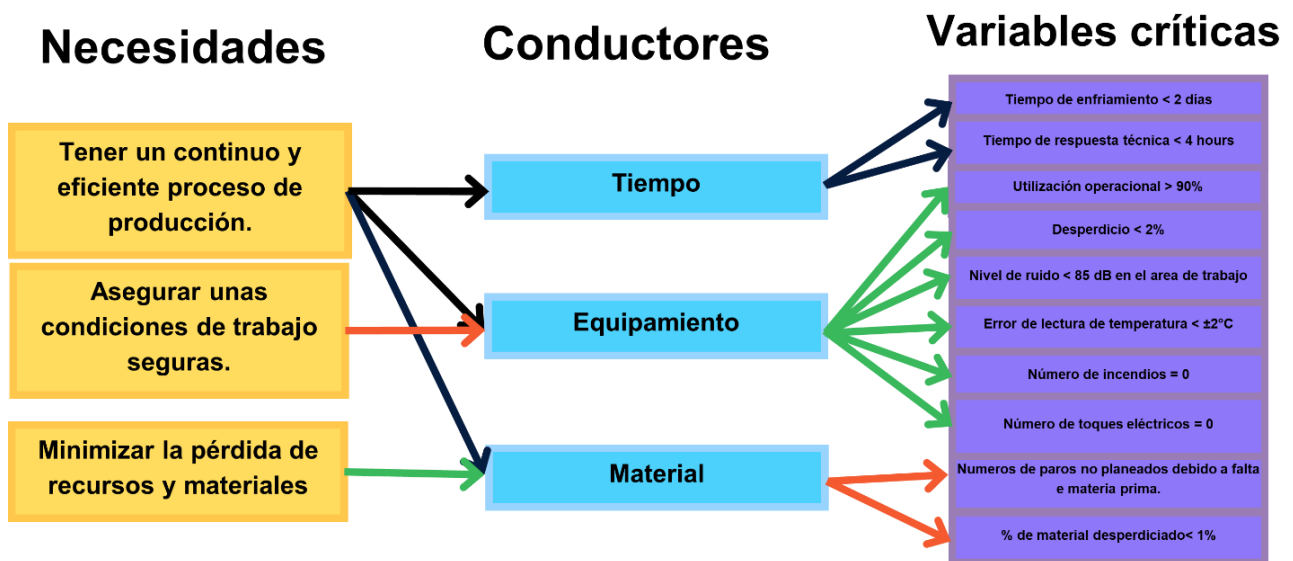
- Se desperdician de 5 a 10 envases durante la calibración.
- La mezcladora no alerta cuando la mezcla alcanza los 40°C.

- CTQ Tree.

De acuerdo con los hallazgos del VOC, resultado de las entrevistas de esta herramienta, se realizó el CTQ Tree (Figura 2.1) con la finalidad de poder definir variables y encontrar las relaciones entre las necesidades, conductores y las variables críticas.

Figura 2.1

Árbol CTQ

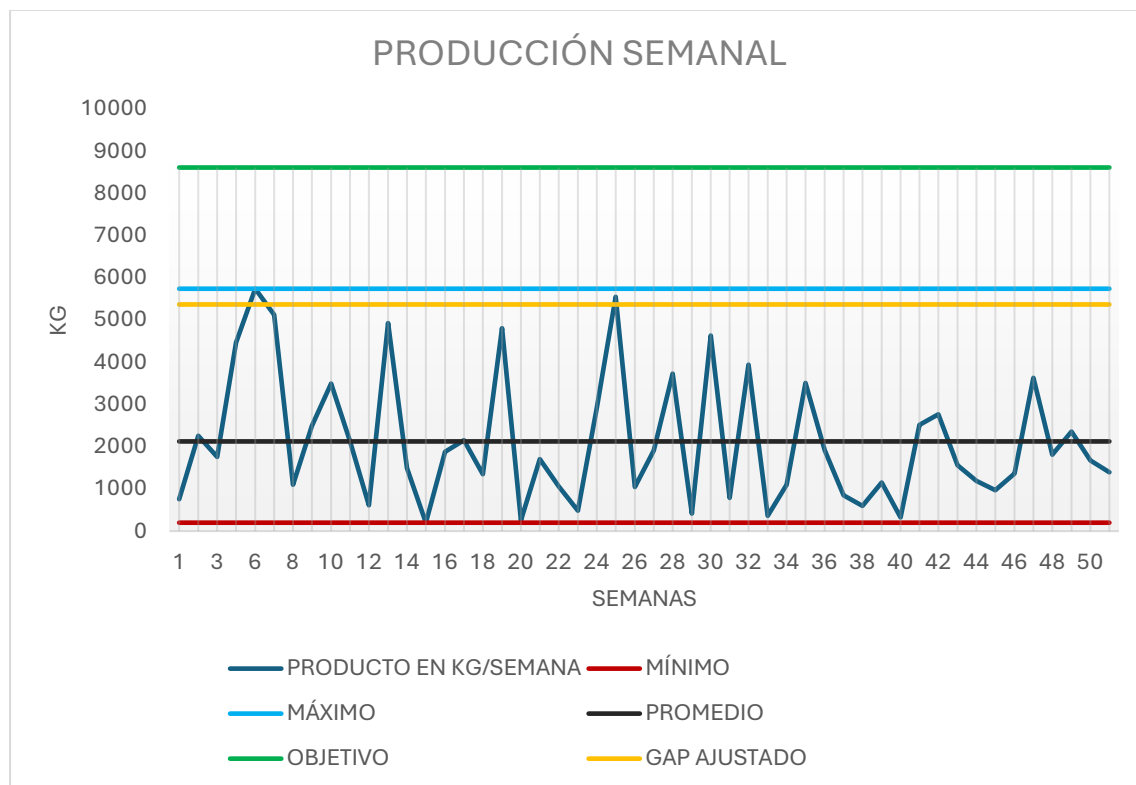


2.1.1.2 Definición de Variable Y (Throughput).

Debido a que la empresa desea aumentar su throughput en un 50%, se definió esta como la variable de respuesta Y.

$$\text{Throughput} = \frac{\text{Product Sold (Kg)}}{\text{Time (Week)}} \quad (2.1)$$

Ya que solo se elabora un producto en la línea y solo varía la presentación por tamaño, se procedió a no estratificar y realizar la serie de tiempo que se puede observar en la Figura 2.2 de throughput semanal con los datos históricos que posee la empresa desde abril del año 2024 hasta la actualidad.

Figura 2.2*Serie de Tiempo de la Producción Semanal*

La figura muestra la producción semanal en kilogramos a lo largo de 50 semanas con media de 2,124.03 Kg/semana. A continuación, se detallan las observaciones más relevantes:

Meta de producción:

En la Tabla 2.1 se muestra el objetivo de throughput semanal promedio deseado por el CEO de la empresa versus el actual.

Tabla 2.1*Gap Ajustado*

Objetivo	8,610.26 Kg/semana
Promedio	2,124.03 Kg/semana

La meta o goal de la empresa es de 8,610.23 kg/semana. Comparado con el promedio actual, es evidente una brecha, lo que indica que el throughput está muy por debajo del objetivo establecido.

Brecha ajustada (Adjusted Gap):

Se negoció con el CEO de la compañía 3 escenarios de meta, los cuales se pueden observar en la Tabla 2.2. Se recomendó escoger un punto intermedio (50% de alcance de la meta) del proyecto entre el mejor caso y el caso pesimista.

Tabla 2.2

Justificación Económica

Escenarios	Beneficios	Proyectados
Optimista	\$ 15,241.12	8,610.26 Kg/semana
Moderado	\$ 9,500.44	5,367.14 Kg/semana
Pesimista	\$ 4,907.90	2,772.65 Kg/semana
Actualidad	\$ 3,759.77	2,124.03 Kg/semana

Una vez obtenida la meta de 5,367.14 Kg/semana, se observó que la mayoría de los puntos de producción tampoco alcanzan este valor, lo que sugiere que incluso el throughput ajustado no se está cumpliendo.

2.1.1.3 Restricciones del proyecto Durante la implementación del proyecto se identificaron tres restricciones principales:

- **Recursos de información:** No se cuenta con los manuales originales de operación y mantenimiento de las máquinas, lo que limita la estandarización de los procedimientos.
- **Espacio:** La planta no dispone de área adicional para expandir la línea de producción, por lo que las mejoras deben adaptarse a la infraestructura existente.
- **Financieras:** No existe presupuesto para la adquisición de nueva maquinaria o equipos durante el período de implementación, lo que obliga a trabajar con los recursos actuales.

2.1.1.4 Triple Bottom Line Metrics Se evaluó el impacto del proyecto en las tres dimensiones del Triple Bottom Line:

- **Financiera:** Se midió el porcentaje de utilización de la maquinaria, alcanzando un valor de 18.18%, lo que evidencia una baja eficiencia en el uso de los equipos.

$$\text{Porcentaje de utilización} = \left(\frac{\text{Tiempo efectivo total de maquinas } n}{\text{Tiempo total disponible de maquinas } n} \right) \quad (2.2)$$

- **Social:** Se consideró la satisfacción laboral de los trabajadores, obteniendo un 72%, lo que refleja un nivel aceptable, pero con espacio de mejora.

$$\text{Porcentaje de satisfacción laboral} = \left(\frac{\sum \text{Puntos Obtenidos}}{(x) \text{ Máximo de puntos posibles}} \right) \quad (2.3)$$

- **Ambiental:** Se midió el cumplimiento respecto al nivel de ruido permitido (< 85 dB), alcanzando un valor del 70% como indicador de las condiciones seguras del entorno de trabajo.

$$\text{Cumplimiento \%} = \left(\frac{\text{Número de espacios medidos} < 85 \text{ dB}}{\text{Total de espacios medidos}} \right) \times 100 \quad (2.4)$$

Tabla 2.3

Plan de Recolección de Datos

A diferencia de las variables de entrada, los datos de la variable de salida ya se encuentran recolectados gracias a los registros históricos con los que cuenta la empresa.

2.1.2.3 Confiabilidad de los datos variable Y. Se calcula el valor n de tomas necesarias

	¿Qué?	Tipo	Unidad	Frecuencia	¿Dónde se recolecta?	¿Cuándo?	¿Cómo se recolecta?	¿Quién la recolecta?	¿Por qué se recolecta?	Estado
	Producción semanal	Cuantitativo	g	semanal	Excel	1 de junio de 2024 a mayo de 2025	Fojas de producción	Líderes de proyecto	Para supervisar la producción y detectar variaciones.	Listo
X 1	Tiempo de calibración por lote (selladora y codificadora)	Continuo	Minutos por lote	Por lote	Línea de envasado	24-Jun	Cronómetro + hoja de registro	Operador	Para identificar pérdidas en el tiempo de preparación	Listo
X 2	Número de contenedores por operador por hora	Discreto	Unidades por hora	Por hora	Línea de envasado	24-Jun	Conteo manual	Supervisor	Para supervisar el rendimiento individual y equilibrar la carga de trabajo.	Listo
X 3	Contenedores desperdiciados por lote	Discreto	Unidades	Por lote	Línea de envasado	24-Jun	Registros del operador al final del lote	Operador	Para medir las pérdidas del proceso y mejorar el rendimiento	Listo
X 4	Tiempo de enfriamiento por lote	Continuo	Horas /Días	Por lote	Área de reacción	24-Jun	Registros manuales de inicio y fin	Operador/Técnico	Para identificar cuellos de botella y optimizar el proceso de enfriamiento.	Listo

para garantizar la confiabilidad de los datos. Teniendo en cuenta las siguientes

consideraciones:

$$s = 1,523 \frac{Kg}{semana} (Desviación estándar estimada)$$

$$Z = z - Valor para 95\% \approx 1.96$$

$$E = 35\% (Máximo error aceptable)$$

$$E = 2,124 \frac{Kg}{semana} * 35\% = 743.4 \frac{Kg}{semana}$$

Dando como resultado el valor de n:

$$n = \left(\frac{Z * s}{E} \right)^2 \quad (2.5)$$

$$n = \left(\frac{1.96 * 1,523}{743.4} \right)^2 \approx 16$$

Debido al tiempo destinado a la toma de tiempos del proyecto, se alcanzó a tomar 10 muestras, las cuales se pueden observar en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4

Throughput Semanal

Semana	Total [Kg]
1	1,507.33
2	3,627.14
3	1,810.07
4	2,356.44
5	4,256.34
6	3,722.11
7	3,121.11
8	3,571.33
9	1,584.27
10	1,093.06

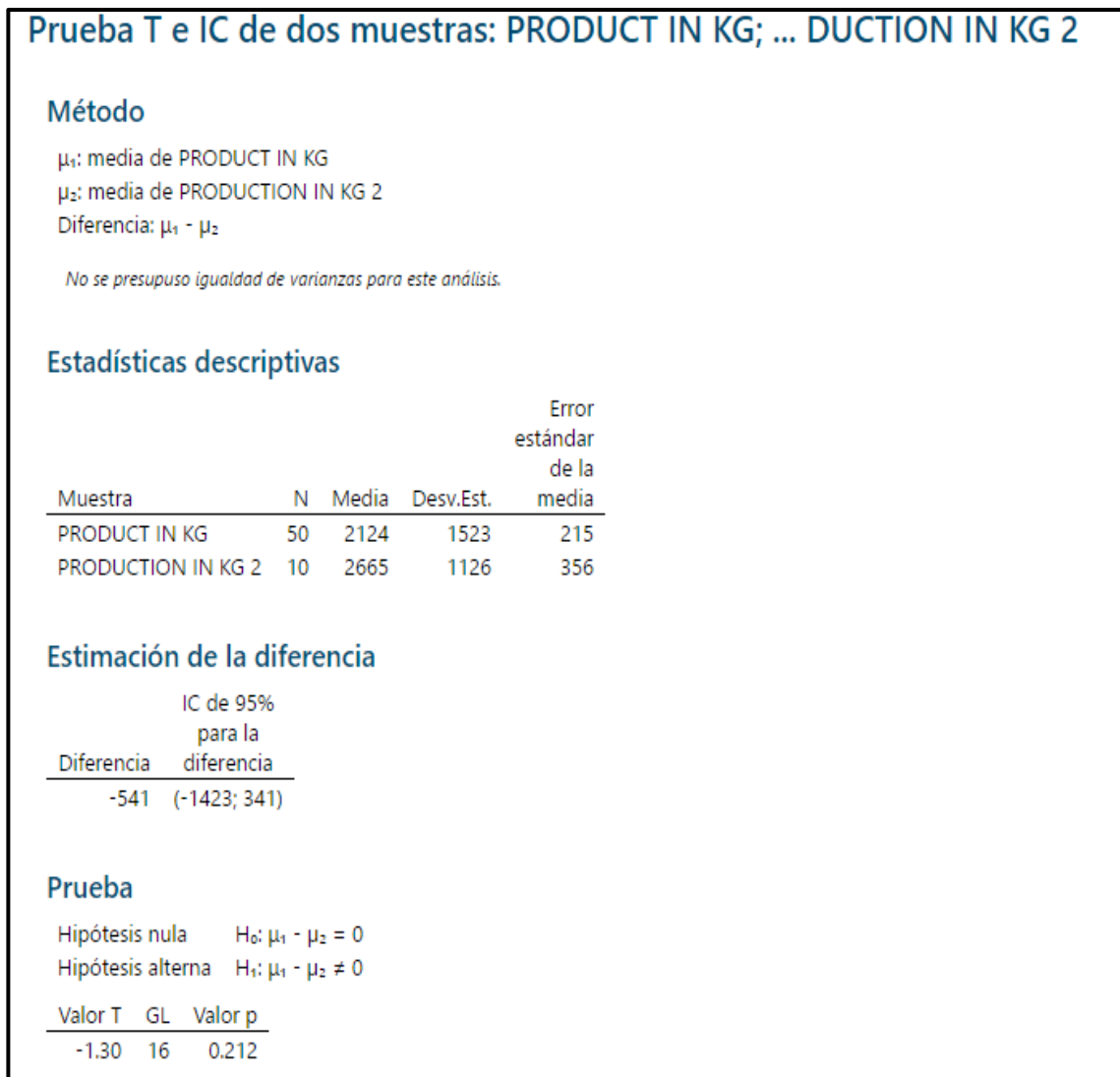
$H_0 =$ Los datos son confiables si $p > 0.05$

$H_1 =$ Los datos no son confiables si $p \leq 0.05$

Se realizó una prueba T de dos muestras para la variable de salida que permite identificar si los datos históricos son confiables (Ver Figura 2.5).

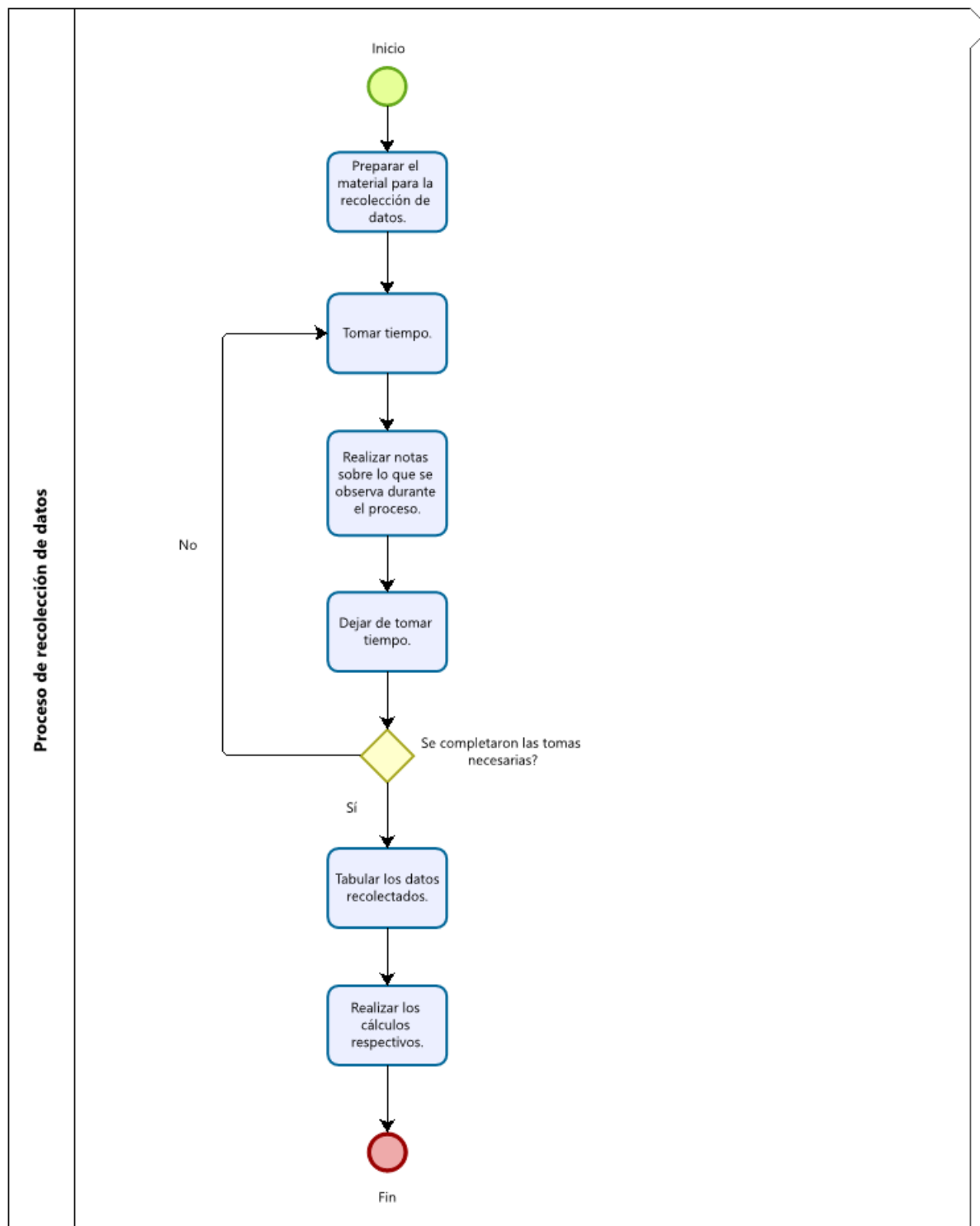
Figura 2.5

Prueba T para Variable Y



Con los resultados obtenidos se puede concluir que los datos son confiables porque el valor de p $0.212 > 0.05$, eso quiere decir que se aprueba H_0 .

Para la toma de tiempos se estableció el procedimiento detallado en la Figura 2.6, el cual fue utilizado para la recolección de datos de todas las variables de entrada.

Figura 2.6*Proceso para Toma de Tiempos*

2.1.2.4 Recolección de datos variable X1: Tiempo de calibración por lote. Para esta

variable se realizaron únicamente 10 muestras, ya que el plazo asignado dentro del proyecto solo permitió esa cantidad, con las mediciones que se tomaron se calculó el promedio de 15.9 minutos y la desviación estándar de 6.9 minutos. Ver Tabla 2.5.

Tabla 2.5

Datos de Tiempo de Calibración

Equipo Calibrado	Tiempo de Inicio	Tiempo de Fin	Duración [min]
Codificadora	7:50:00	8:05:00	15
Codificadora	9:00:00	9:10:00	10
Codificadora	9:40:00	10:05:00	25
Codificadora	10:45:00	11:04:00	19
Codificadora	8:00:00	8:15:00	15
Codificadora y Selladora	16:35:00	16:45:00	10
Codificadora	8:00:00	8:30:00	30
Codificadora	9:20:00	9:30:00	10
Codificadora	9:45:00	9:55:00	10
Codificadora	15:30:00	15:45:00	15

2.1.2.5 Recolección de datos variable X2: Número de envases por operador por h. Se

alcanzaron a tomar 11 muestras aleatorias en diferentes lotes en el plazo asignado del proyecto, con las cuales se calculó un promedio de 110 kg/hora y una desviación estándar de 113.04 kg/hora. Ver Tabla 2.6.

Tabla 2.6

Datos de Número de Envase

Tiempo de Inicio	Tiempo de Fin	Duración [h]	Tipo	Unidades	Minutos	Unidades/min	Unidades/h por Operador	Kg/h por Operador
8:05:00	8:50:00	0:45:00	Pote 250g	60	45.00	1.33	80	20
9:10:00	9:40:00	0:30:00	Balde 20kg	10	30.00	0.33	20	400
8:15:00	11:55:00	3:40:00	Funda 1/2 lb	456	220.00	2.07	124	28
14:00:00	16:35:00	2:35:00	Galón	102	155.00	0.66	39	149
16:45:00	17:36:00	0:51:00	Funda 1 kg	39	51.00	0.76	46	46
8:30:00	9:18:00	0:48:00	Galón	40	48.00	0.83	50	189
9:30:00	9:45:00	0:15:00	Pote 1 kg	30	15.00	2.00	120	120
9:55:00	15:30:00	5:35:00	Funda 1 kg	171	335.00	0.51	31	31

15:45:00	17:35:00	1:50:00	Day Pack	66	110.00	0.60	36	7
7:45:00	10:42:00	2:57:00	Galón	86	177.00	0.49	29	110
10:56:00	11:56:00	1:00:00	Balde 1kg	110	60.00	1.83	110	110

2.1.2.6 Recolección de datos variable X3: Contenedores desperdiciados. Para la recolección de datos de esta variable se realizó un conteo de materia prima, la cual tenía algún defecto de fábrica o que en el proceso de producción sufría algún desperfecto.

A diferencia de otras variables, no se realizaron cálculos; se añadió una columna para recopilar las razones por las que existe el desperdicio (Ver Tabla 2.7).

Tabla 2.7

Datos de Desperdicios

Fecha	Tipo	Cantidad	Motivo
2025-06-30	250g Jar	1	Proveedor
2025-07-02	1/2 lb Bags	3	La tapa se ensució durante el sellado.
2025-07-03	1kg Bags	4	Sellado
2025-07-04	Boxes	5	Defecto de fabricación

2.1.2.7 Recolección de datos variable X4: Tiempo de enfriamiento por lote. Para esta variable se obtuvieron 5 tomas del tiempo de enfriamiento de los mezcladores en diferentes lotes, tiempos que se visualizan en la Tabla 2.8. Adicionalmente se calculó el promedio de 5.76 días y la desviación estándar de 0.848 días. Se obtuvieron únicamente 5 tomas ya que la empresa no contaba con un registro y debido a la duración del tiempo de enfriamiento se logró obtener únicamente estas muestras en el plazo del proyecto.

Tabla 2.8

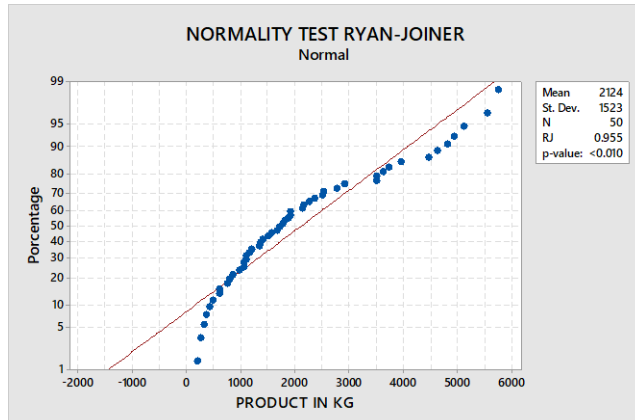
Datos de Tiempo de Enfriamiento

Tiempo de Inicio	Tiempo de Fin	Tiempo de Enfriamiento (días)
20/5/25 6:00 PM	26/5/25 10:00 AM	5.67
5/6/25 6:00 PM	12/6/25 9:00 AM	6.63
13/6/25 6:00 PM	20/6/25 9:00 AM	6.63
24/6/25 1:00 PM	29/6/25 2:00 PM	5.04
3/7/25 6:00 PM	8/7/25 2:00 PM	4.83

2.1.2.8 Análisis de capacidad. Con el objetivo de identificar si los datos históricos del proceso de producción eran aptos para ser evaluados, se realizó una prueba de normalidad Ryan-Joiner que se muestra en la Figura 2.7.

Figura 2.7

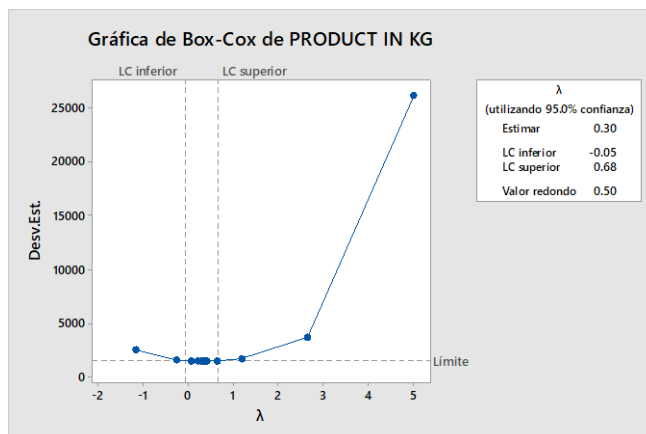
Test de Normalidad para la Variable Y



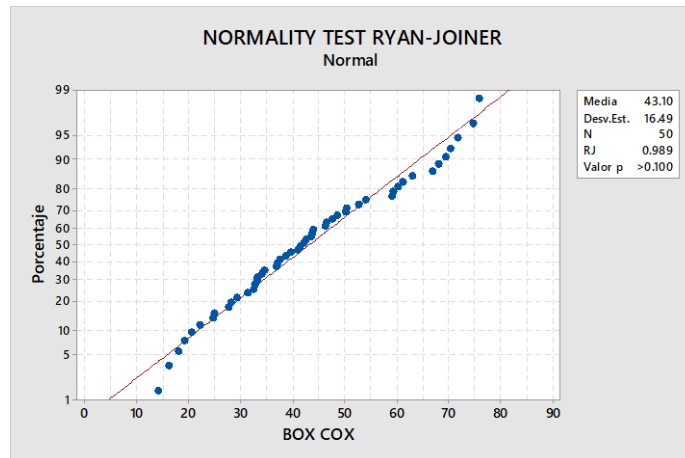
Debido a que la distribución original de los datos no presentaba normalidad, se aplicó una transformación Box-Cox previa, lo cual permitió normalizar la serie de datos y así garantizar la validez estadística para el análisis de capacidad (Ver Figura 2.8).

Figura 2.8

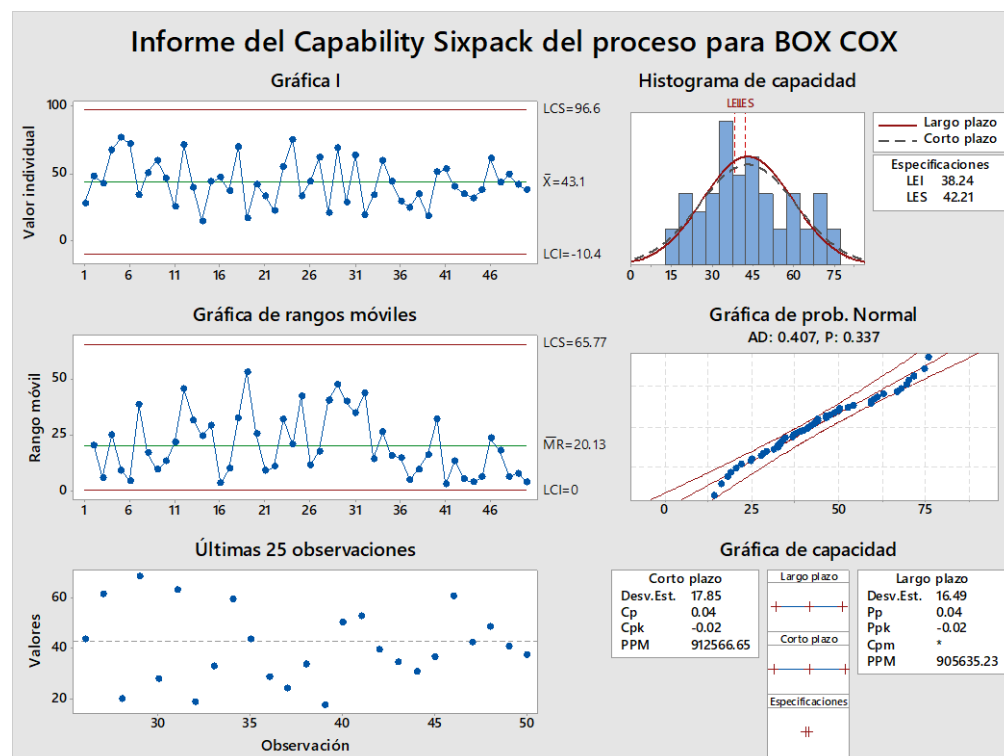
Gráfico de Box Cox



Una vez obtenidos los datos transformados, se realizó una segunda prueba de normalidad por el mismo método Ryan-Joiner para garantizar la normalidad de los datos (Ver Figura 2.9).

Figura 2.9*Test de Normalidad Post-Box Cox*

Con los datos normalizados, se empleó la herramienta Capability Sixpack en el software Minitab, abarcando un total de 51 semanas de datos históricos. El informe obtenido permitió examinar la estabilidad del proceso, su comportamiento respecto a las especificaciones y su capacidad potencial (Ver Figura 2.10).

Figura 2.10*Reporte de Capacidad del Proceso*

Estabilidad del proceso

En la figura 2.10 se encuentran las gráficas de control individual (Gráfica I) y de rango móvil que mostraron que el proceso, aunque presenta dispersión, no tiene puntos fuera de control ni patrones que indiquen inestabilidad. Esto permitió confirmar que el proceso se encuentra bajo control estadístico. Pero tiene puntos cercanos a los límites que pueden provocar inestabilidad.

Evaluación de la capacidad

Se observó que el proceso no está centrado dentro del intervalo deseado. El histograma de capacidad y la gráfica de probabilidad normal mostraron que la media del proceso transformado ($\bar{X} = 43.1$) se encuentra desplazada hacia la derecha del límite superior, lo cual explica la gran proporción de datos fuera de las especificaciones.

Los indicadores de capacidad calculados fueron considerablemente bajos:

$C_p = 0.04$ y $C_{pk} = -0.02$ para el análisis a corto plazo

$P_p = 0.04$ y $P_{pk} = -0.02$ para el análisis a largo plazo

En resumen, se concluyó que el proceso no es capaz de cumplir con los requerimientos definidos por la organización. Se evidencia la necesidad de implementar acciones correctivas orientadas tanto a reducir la variación del proceso como a centrarlo dentro de los límites establecidos.

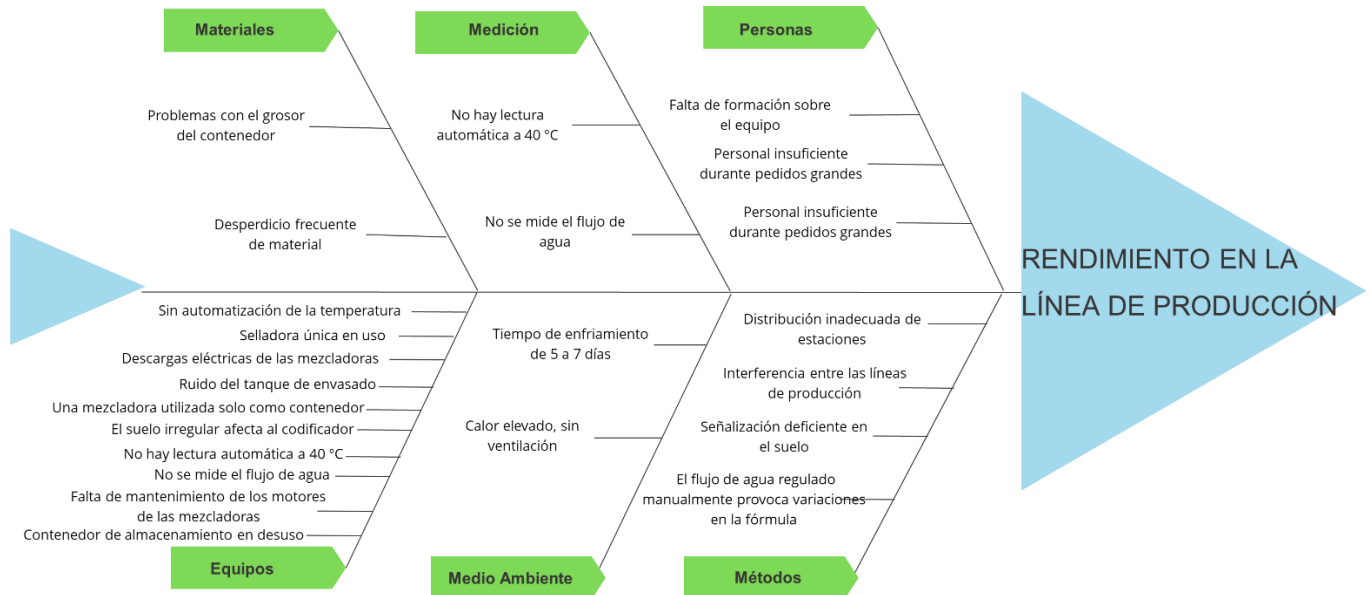
2.1.3 Analizar

2.1.3.1 Recolección de Causas. Con el objetivo de encontrar las causas que afectan directamente al throughput se realizaron entrevistas a: operadores, supervisores y gerente; para poder generar una lluvia de ideas (Tabla 2.9), las cuales se decidieron clasificar en un diagrama de Ishikawa por la cantidad de causas y su naturaleza. La mayor parte de las causas pertenecen a: Equipos, Métodos y Personas (Ver Figura 2.11).

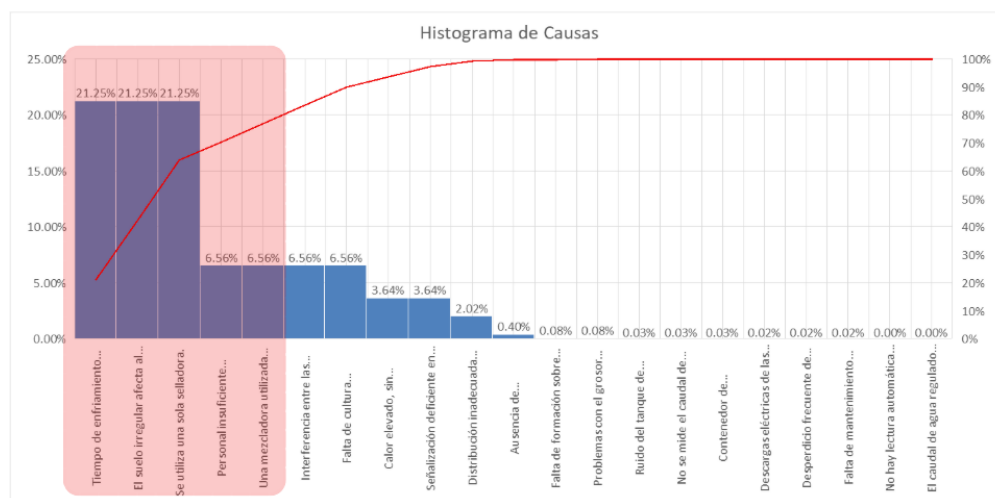
Tabla 2.9

Causas Encontradas

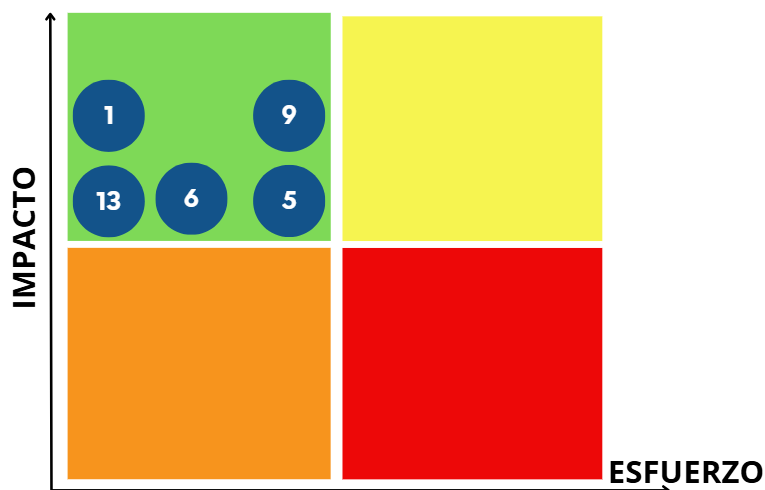
N	Causas Encontradas
1	Distribución inadecuada de estaciones
2	Tiempo de enfriamiento de 5 a 7 días
3	Sin automatización de la temperatura
4	Falta de formación sobre el equipo
5	Selladora única en uso
6	Personal insuficiente durante pedidos grandes
7	Descargas eléctricas de las mezcladoras
8	Ruido del tanque de envasado
9	Una mezcladora utilizada solo como contenedor
10	Problemas con el grosor del contenedor
11	Desperdicio frecuente de material.
12	Calor elevado, sin ventilación.
13	El suelo irregular afecta al codificador.
14	No hay lectura automática a 40 °C.
15	No se mide el flujo de agua.
16	Interferencia entre las líneas de producción.
17	Señalización deficiente en el suelo.
18	El flujo de agua regulado manualmente provoca variaciones en la fórmula.
19	Falta de mantenimiento de los motores de las mezcladoras.
20	Contenedor de almacenamiento en desuso

Figura 2.11*Diagrama de Ishikawa*

Con estas posibles causas se realizó un diagrama de Pareto para encontrar las causas que más afectan al throughput. Como resultado se obtuvo que 5 de las causas conforman el 80% del problema de la empresa (Ver Figura 2.12).

Figura 2.12*Diagrama de Pareto*

Una vez identificadas las causas potenciales que abarcan el 80% de los problemas del throughput, se utilizó la matriz Impacto-Esfuerzo, la cual ayuda a identificar las causas potenciales cuya posible solución genera un menor esfuerzo y mayor impacto en el throughput de la línea de producción (Ver Figura 2.13).

Figura 2.13*Diagrama de Impacto-Esfuerzo*

Verificación de Causas. Una vez identificadas las causas potenciales que se iban a analizar, se planteó una matriz con el plan de verificación de causas de estas mismas (Ver Tabla 2.10).

Tabla 2.10*Plan de Verificación de Causas*

No	Causa	Impacto en la y	¿Cómo lo verifico?	Estado
2	Tiempo de enfriamiento de 5 a 7 días	Limita la frecuencia de producción, ya que el equipo queda inactivo mientras espera alcanzar la temperatura adecuada para continuar.	Gemba, T-Student	Verificado
13	El suelo irregular afecta al codificador	Genera errores de lectura/codificación, provocando reprocesos o detenciones en el flujo final del envasado.	Gemba, T-Student	Verificado
6	Personal insuficiente durante pedidos grandes	Disminuye la capacidad de respuesta en picos de producción, aumentando los tiempos de espera y retrasando entregas.	Gemba, 1 Proportion Test	Verificado
9	Una mezcladora utilizada solo como contenedor	Reduce la capacidad de mezclado disponible, creando cuellos de botella cuando la demanda de mezcla aumenta.	Gemba, T-Student	Verificado
5	Selladora única en uso	Limita la velocidad de sellado, especialmente en pedidos grandes.	Gemba, T-Student	Verificado

Causa: Tiempo de enfriamiento de 5 a 7 días

Para la verificación estadística se realizaron 5 pruebas cronométricas del tiempo de enfriamiento en el mezclador 1 de la línea de producción, las cuales se pueden visualizar en la Tabla 2.11 e identificar el lugar de la toma en la Figura 2.14.

Tabla 2.11*Datos de Tiempo de Enfriamiento*

Tiempo de Inicio	Tiempo de Fin	Tiempo de Enfriamiento (días)
20/5/25 6:00 PM	26/5/25 10:00 AM	5.67
5/6/25 6:00 PM	12/6/25 9:00 AM	6.63
13/6/25 6:00 PM	20/6/25 9:00 AM	6.63
24/6/25 1:00 PM	29/6/25 2:00 PM	5.04
3/7/25 6:00 PM	8/7/25 2:00 PM	4.83

Figura 2.14*Mezclador Industrial*

Una vez obtenidos los tiempos de enfriamiento que se observan en la Tabla 2.12, se calculó el promedio de tiempo de enfriamiento, el cual ayuda a identificar el throughput actual y, mediante una regla de tres simple, proponer el nuevo throughput que se podría obtener reduciendo este tiempo, el cual sirvió para hacer un análisis estadístico de dos muestras (Ver Tabla 2.12).

Tabla 2.12*Proyección de Propuesta de Enfriamiento*

	Tiempo de enfriamiento	Lead time [Horas]	Producción semanal promedio [kg]
Situación actual	5.76	267.65	2,664.92
Propuesta	2.26	183.65	3,883.87

Como se observa en la figura 2.15, se realizó una prueba t para una muestra única con el fin de comparar la producción actual (media = 2,665 kg/semana) con el valor esperado tras la mejora (3,883.87 kg/semana).

Con un valor p de 0,008, se concluye que existe una diferencia estadísticamente significativa.

Esto respalda que la causa analizada influye en la baja producción y que corregirla tendría un impacto positivo en el throughput.

Figura 2.15*Prueba T para Causa 2***Prueba T e IC de dos muestras: PRODUCT IN KG; ... DDUCTION IN KG 2****Método** μ_1 : media de PRODUCT IN KG μ_2 : media de PRODUCTION IN KG 2Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$ *No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.***Estadísticas descriptivas**

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
PRODUCT IN KG	50	2124	1523	215
PRODUCTION IN KG 2	10	2665	1126	356

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
-541	(-1423; 341)

PruebaHipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$ Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
-1.30	16	0.212

Causa: Suelo irregular afecta al tiempo de calibración del codificador

Para la verificación estadística se tomó información cronometrada del tiempo de calibración del codificador en lotes aleatorios para evaluar el tiempo promedio que le toma a un operador calibrar el codificador en una superficie irregular (Ver Tabla 2.13).

Tabla 2.13*Datos de Tiempo de Calibración*

Equipo Calibrado	Tiempo de Inicio	Tiempo de Fin	Duración [min]
Codificadora	7:50:00	8:05:00	15
Codificadora	9:00:00	9:10:00	10
Codificadora	9:40:00	10:05:00	25
Codificadora	10:45:00	11:04:00	19
Codificadora	8:00:00	8:15:00	15
Codificadora y Selladora	16:35:00	16:45:00	10
Codificadora	8:00:00	8:30:00	30
Codificadora	9:20:00	9:30:00	10
Codificadora	9:45:00	9:55:00	10
Codificadora	15:30:00	15:45:00	15

Así mismo se identificó el promedio de tiempo que le toma a un operador calibrar el codificador y se realizó la propuesta del aumento del throughput con un mejor tiempo de calibración (Ver Tabla 2.14).

Tabla 2.14

Proyección de Propuesta de Causa 13

	Tiempo de enfriamiento	Lead time [Horas]	Producción semanal promedio [kg]
Situación actual	1.06	267.65	2,664.92
Propuesta	0.33	250.13	2,851.58

Se realizó una prueba t para una muestra única con el fin de evaluar si la producción actual (media = 2,665 kg/semana) difiere significativamente del valor de referencia (2,851.58 kg/semana).

El valor p obtenido en la prueba que se ilustra en la figura 2.16 fue 0.613, por lo que no se rechaza la hipótesis nula. Esto indica que la diferencia observada no es estadísticamente significativa.

Figura 2.16

Prueba T de Causa 13

T de una muestra: PRODUCTION IN KG 2

Estadísticas descriptivas

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para μ
10	2665	1126	356	(1859; 3470)

μ : media de PRODUCTION IN KG 2

Prueba

Hipótesis nula	$H_0: \mu = 2851.58$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu \neq 2851.58$

Valor T	Valor p
-0.52	0.613

Informe del Capability Sixpack del proceso para BOX COX

Causa: Personal Insuficiente durante pedidos grandes

Se identificaron 4 días donde se usaron horas extras en la línea de producción para identificar que la línea no fue suficiente durante esos pedidos de alta demanda durante 10 semanas (Ver Tabla 2.15).

Tabla 2.15*Horas Trabajadas en las Últimas 10 Semanas.*

Nº	Date	Total	Hours Worked	Days with extra hours
1	24-abr-25	144.58	0.657	0
2	28-abr-25	687.56	3.125	0
3	29-abr-25	675.2	3.069	0
4	5-May-25	137.32	0.624	0
5	7-May-25	2270.25	10.319	1
6	9-May-25	1219.57	5.543	0
7	12-May-25	168	0.764	0
8	13-May-25	481.72	2.19	0
9	14-May-25	590.82	2.683	0
10	15-May-25	494.4	2.247	0
11	16-May-25	75.12	0.341	0
12	19-May-25	168	0.764	0
13	21-May-25	646.8	2.966	0
14	22-May-25	771.04	3.536	0
15	27-May-25	896.89	3.982	0
16	1-Jun-25	768	3.411	0
17	2-Jun-25	820.74	3.731	0
18	3-Jun-25	151.2	0.687	0
19	4-Jun-25	506.31	2.301	0
20	5-Jun-25	870	3.955	0
21	6-Jun-25	232.24	1.056	0
22	10-Jun-25	1964.11	8.928	1
23	11-Jun-25	1545.6	7.025	0
24	13-Jun-25	212.41	0.965	0
25	16-Jun-25	1651.37	7.506	1
26	17-Jun-25	254.42	1.157	0
27	20-Jun-25	1215.32	5.524	0
28	23-Jun-25	888.81	4.04	0
29	24-Jun-25	1537.72	6.99	1
30	25-Jun-25	60.48	0.276	0
31	26-Jun-25	1084.31	4.929	0
32	30-Jun-25	179.65	0.817	0
33	2-Jul-25	510.57	2.321	0
34	3-Jul-25	510.57	2.321	0
35	4-Jul-25	697.49	3.17	0
36	7-Jul-25	764.5	3.475	0
37	8-Jul-25	328.56	1.493	0

Con la data levantada se realizó una de proporción donde el valor p es 1, por lo que se puede concluir que la proporción de días con uso de horas extras es significativa (Ver Figura 2.17).

Se puede concluir que la falta de personal durante los pedidos grandes afecta al throughput.

Figura 2.17

Prueba T de Causa 6

Prueba e IC para una proporción

Método

p: proporción de eventos

Para este análisis se utiliza el método exacto.

Estadísticas descriptivas

N	Evento	Muestra p	Límite inferior de 95% para p
37	5	0.135135	0.054793

Prueba

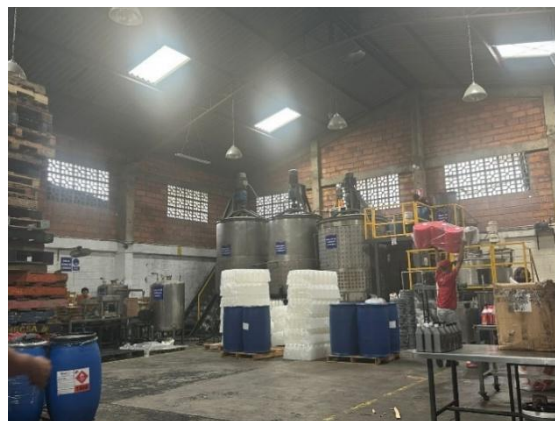
Hipótesis nula $H_0: p = 0.5$

Hipótesis alterna $H_1: p > 0.5$

Valor p
1.000

Causa: La mezcladora se utiliza como contenedor

Se hizo observación directa del mezclador que actualmente se utiliza como contenedor dentro de la línea, esto afecta directamente al throughput debido a que con este la capacidad de producción aumentaría a 12,000 kg/semana (Ver Figuras 2.18 y 2.19).

Figura 2.18*Interior del Mezclador***Figura 2.19***Área de Producción*

Se utilizó la data levantada de las últimas 10 semanas de throughput para poder sacar un promedio de cuánto es el throughput promedio al utilizar uno de los dos mezcladores para poder generar dos casos, el actual y el propuesto (Ver Tabla 2.16).

Tabla 2.16*Proyección de Propuesta Causa 9*

	Producción semanal promedio [kg]
Situación actual	2664.92
Propuesta	12000.00

Se realizó una prueba t para una muestra única con el fin de comparar la producción actual (media = 2,665 kg/semana) con el valor esperado tras la mejora (12,000 kg/semana).

Con un valor p de 0,000, se concluye que existe una diferencia estadísticamente significativa (Ver Figura 2.20).

Esto respalda la idea de que la causa analizada influye en la baja producción y que corregirla tendría un impacto positivo en el proceso.

Figura 2.20

Prueba T de Causa 9

T de una muestra: PRODUCTION IN KG 2

Estadísticas descriptivas

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para μ
10	2665	1126	356	(1859; 3470)

μ : media de PRODUCTION IN KG 2

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu = 12000$

Hipótesis alterna $H_1: \mu \neq 12000$

Valor T	Valor p
-26.22	0.000

Causa: Solo se usa una de las dos selladoras de la línea

Se hizo una observación directa de la selladora que actualmente no se utiliza, esto afecta directamente al throughput debido a que con esta la capacidad de producción aumentaría a 5,329.84 kg/semana.

En las figuras 2.21 y 2.22 se observa cómo solo se da uso de una de las dos selladoras y el estado actual de la selladora en desuso.

Figura 2.21*Selladora Industrial***Figura 2.22***Interior de la Selladora*

Se utilizó la data levantada de las últimas 10 semanas de throughput para poder sacar un promedio de cuánto es el throughput promedio al utilizar uno de los dos mezcladores para poder generar dos casos, el actual y el propuesto (Ver Tabla 2.17).

Tabla 2.17*Proyección de la Propuesta de Causa 5*

	Producción semanal promedio [kg]
Situación actual	2,664.92
Propuesta	5,329.84

Se realizó una prueba t para una muestra única con el fin de comparar la producción actual (media = 2,665 kg/semana) con el valor esperado tras la mejora (5,329.84 kg/semana).

Con un valor p de 0,000, se concluye que existe una diferencia estadísticamente significativa (Ver Figura 2.23).

Esto respalda que la causa analizada influye en la baja producción y que corregirla tendría un impacto positivo en el proceso.

Figura 2.23

Prueba T de la Causa 5

T de una muestra: PRODUCTION IN KG 2

Estadísticas descriptivas

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para μ
10	2665	1126	356	(1859; 3470)

μ : media de PRODUCTION IN KG 2

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu = 5329.84$

Hipótesis alterna $H_1: \mu \neq 5329.84$

Valor T	Valor p
-7.48	0.000

NORMALITY TEST RYAN-JOINER

2.1.3.2 Determinación de causas raíz. Después de verificar las causas, se usó el método de 5 ¿Por qué? Para identificar las causas raíz asociadas a las causas potenciales hasta este punto seleccionadas (Ver Tabla 2.18).

Tabla 2.18

Herramienta 5 ¿Por qué?

Causas	Ronda 1: ¿Por qué?	Ronda 2: ¿Por qué?	Ronda 3: ¿Por qué?	Ronda 4: ¿Por qué?
El tiempo de enfriamiento demora entre 5 y 7 días.	Porque el enfriamiento es natural y no se utiliza un sistema forzado.	Porque no hay equipo instalado para eso.	Porque no se ha cotizado ningún sistema de enfriamiento.	
Personal insuficiente durante pedidos grandes.	Porque no es posible planificar el número de operarios adicionales para pedidos grandes.	Porque hay falta de planificación de la producción.		
Sellador individual en uso.	Porque la dirección de la cinta transportadora de la selladora no es la correcta.	Porque el proceso de sellado no tiene una disposición adecuada.	Porque aún está pendiente una nueva propuesta de layout.	
Una mezcladora se usa solo como contenedor	Porque no hay un nuevo motor para la mezcladora	Porque aún no se ha comprado el motor.	Porque la decisión sobre qué motor comprar según las cotizaciones aún está pendiente.	

Una vez identificadas las causas raíz se creó un listado de acciones de las causas analizadas que afecten directamente para contrarrestar la afectación ocasionada por estas causas raíz al throughput de la línea (Ver Tabla 2.19).

Tabla 2.19

Causas Raíz

Nº	Causas	Causa raíz	Propuesta
1	El tiempo de enfriamiento demora entre 5 y 7 días.	Porque la inversión no era necesaria para los volúmenes de ventas anteriores.	Cotizar, comprar e instalar un sistema de enfriamiento.
2	Personal insuficiente durante pedidos grandes.	Porque hay falta de planificación de la producción.	Crear un archivo sistema de planificación de producción maestro.
3	Sellador individual en uso	Porque aún está pendiente una nueva propuesta de layout.	Diseñar un nuevo layout para el proceso de sellado.
4	Una mezcladora se usa solo como contenedor	Porque la gerencia aún está revisando las propuestas.	Comprar e instalar un nuevo motor para la mezcladora.

2.1.4 Mejorar

En esta fase se definieron y diseñaron las propuestas de mejora tomando en cuenta las causas raíz identificadas en la etapa previa. Dichas propuestas fueron analizadas y discutidas en una reunión con el gerente general y el supervisor de la línea de producción.

2.1.4.1 Evaluación y Selección de Causas. Para la evaluación de las soluciones propuestas se realizaron diferentes reuniones con el gerente, el supervisor de producción y un analista financiero para poder medir el impacto y el esfuerzo de las soluciones propuestas y clasificarlas en la matriz impacto-esfuerzo (Ver Figura 2.24).

Figura 2.24

Matriz Impacto-esfuerzo de las soluciones



Para reforzar el resultado de la matriz impacto esfuerzo, se crearon tres categorías de análisis y se asignó una ponderación correspondiente a cada una de ellas, que al sumarse darían de forma cuantificable qué soluciones eran más eficientes (Ver Figura 2.25).

$$Puntaje\ Final = \sum Financiero * 0.5 + \sum Impacto * 0.25 + \sum Esfuerzo * 0.25 \quad (2.6)$$

Figura 2.25

Matriz de Evaluación de las Soluciones

IMAPCTO Y ESFUERZO 1 5 PESO COSTOSO 1 5 FINANCIERO BARATO													
SOLUCIÓN	GERENTE GENERAL			ANALISTA			SUPERVISORA			50%	25%	25%	100%
	FINANCIERO	IMPACTO	ESFUERZO	FINANCIERO	IMPACTO	ESFUERZO	FINANCIERO	IMPACTO	ESFUERZO	TOTAL FINANCIERO	TOTAL IMPACTO	TOTAL ESFUERZO	PUNTAJE FINAL
Implementar un sistema de refrigeración	5	4	3	5	4	3	4	4	3	14	12	9	12.25
Diseñar un nuevo layout para el proceso de sellado	4	5	4	4	4	3	4	5	4	12	14	11	12.25
Crear un sistema de intercomunicación para la planificación	4	4	4	4	4	3	3	3	2	11	11	9	10.5
Comprar un nuevo motor para la mezcladora	2	2	1	1	2	1	1	2	1	4	6	3	4.25

2.1.4.2 Plan de implementación de la solución 1. Consiste en abordar la causa raíz

relacionada con la falta de un sistema de refrigeración en la línea de producción de adhesivos. Dado que actualmente no se ha cotizado ni instalado ningún sistema, se propone evaluar primero la capacidad del enfriador existente. Si este cumple con los requerimientos, se procederá a su instalación con una tubería de 30 metros y una bomba de 1HP; en caso contrario, se adquirirá un nuevo enfriador que será instalado con una tubería de 10 metros. Esta acción se ejecutará específicamente en la estación de sellado, embalaje y codificación de la línea de adhesivos. La prueba y la instalación estarán a cargo del supervisor de línea, mientras que el gerente será responsable de la compra. El presupuesto estimado para esta solución es de \$700 y actualmente se encuentra en proceso de implementación (Ver Tabla 2.20).

Tabla 2.20

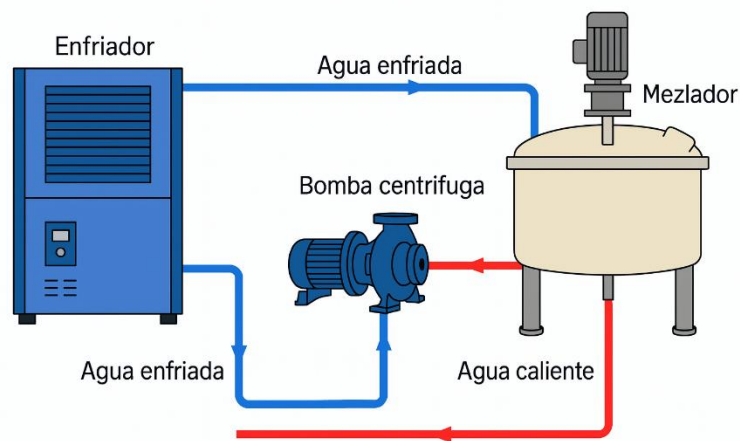
Plan de implementación de Solución 1

Causas Raíz	Solución	¿Por qué?	¿Cómo?	¿Dónde?	¿Quién?	¿Cuánto?	Estado
Porque no se ha cotizado ningún sistema de refrigeración.	Comprar e instalar un sistema de refrigeración.	Porque la línea actual carece de un sistema de refrigeración necesario para satisfacer la demanda.	Probar el enfriador existente; si es adecuado, instalar con tubería de 30m y bomba de 1HP; si no, comprar un nuevo enfriador e instalarlo con tubería de 10m.	Línea de producción de adhesivos – estación de sellado, embalaje y codificación	Supervisor de línea (prueba e instalación), Gerente (compra)	\$700	En proceso

2.1.4.3 Diseño de Sistema de Enfriamiento. El diseño de esta solución consistió en integrar un sistema de enfriamiento cerrado al mezclador de seis toneladas, con el objetivo de reducir los tiempos de enfriamiento natural y estabilizar la temperatura del producto. Para ello, se conectó un chiller que se encontraba en uso de otra línea de producción pero que tenía la capacidad de abastecer a otra mediante una bomba centrífuga de 1 HP y 30 metros de tubería PVC, asegurando el retorno del agua caliente hacia el sistema. Esta intervención permitió disminuir significativamente los tiempos improductivos y aumentar la capacidad semanal de producción (Ver Figura 2.26).

Figura 2.26

Propuesta Sistema de Enfriamiento



2.1.4.4 Plan de implementación de la solución 2. Se plantea desarrollar un nuevo diseño alineado con la configuración física real de la planta. Para ello, se tomarán medidas del espacio, se entrevistará al personal operativo, se realizarán cálculos de distribución y se validará la propuesta con el supervisor y el CEO. Posteriormente, se procederá a la compra e instalación de los equipos necesarios. Esta intervención se realizará en la estación de sellado, embalaje y codificación de la línea de producción de adhesivos, con la participación del analista, el supervisor y un grupo de apoyo. El costo estimado es de \$2.250 y el plan actualmente se encuentra en proceso de ejecución (Ver Tabla 2.21).

Tabla 2.21

Plan de implementación de Solución 2

Causas Raíz	Solución	¿Por qué?	¿Cómo?	¿Dónde?	¿Quién?	¿Cuánto?	Estado
Porque una nueva propuesta de diseño aún está pendiente.	Diseñar un nuevo diseño del proceso de sellado basado en la física de la fábrica.	Porque el diseño actual genera ineficiencias y cuellos de botella.	Tomar medidas, entrevistar al personal, realizar cálculos de distribución, validar con el supervisor y el CEO, comprar e instalar equipos.	Línea de producción de adhesivos – estación de sellado, embalaje y codificación	Analista, Supervisor, Grupo	\$2,250	En proceso

2.1.4.5 Diseño de Layout de proceso de sellado. En esta propuesta se obtuvieron dos opciones donde se aplicaron principios de factory physics y manufactura celular para reorganizar las estaciones de pesado, sellado y empaquetado. Para lo que se calculó el número mínimo de operadores requeridos, que resultó ser 3.

$$Takt\ Time = \frac{25,200\ segundos}{1,000\ kg} = 25.20\ segundos\ por\ kg \quad (2.7)$$

$$Tiempo\ de\ ciclo\ actual = \frac{25,200}{440} = 57.27\ segundos\ por\ kg$$

$$N = \frac{57.27}{25.20} = 2.27$$

El rediseño contempló la incorporación de mesas de acero y la reasignación de tareas para balancear la carga de trabajo entre los operarios, para hacerlo de manera correcta se consideraron las distancias entre los operarios y las tareas para optimizarlas, ya que son actividades repetitivas y los operadores deberían desarrollarlas de una forma más efectiva y menos agotadora. Para lograrlo se aplicó la metodología SLP (Systematic Layout Planning), donde primero se realizó la matriz de relaciones (Tabla 2.23) con las abreviaturas de cada área (Tabla 2.22), luego el diagrama nodal (Figura 2.27), diagramas de bloques y al final el cálculo de distancias por cada operador con sus respectivas tareas.

Tabla 2.22

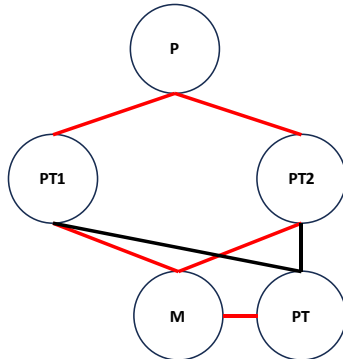
Abreviaturas para Matriz de Relación

Abreviatura	Descripción
PT1	Mesa De Envasado 1
PT2	Mesa De Envasado 2
P	Envasado
M	Masterizado
PT	Paletizado

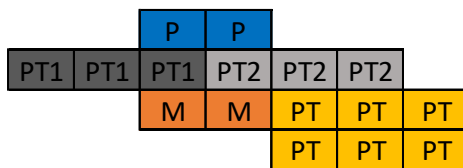
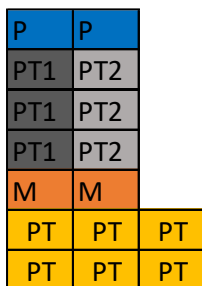
Tabla 2.23

Matriz de Relación

	PT1	PT2	P	M	PT
PT1	-	U	A	A	O
PT2		-	A	A	O
P			-	U	U
M				-	A
PT					-

Figura 2.27*Diagrama Nodal*

De acuerdo con el diagrama nodal basado en la matriz de relación, se realizaron dos diagramas de bloques de la estación de envasado y sellado (Ver Figuras 2.28 y 2.29).

Figura 2.28*Diagrama de Bloques Opción 1***Figura 2.29***Diagrama de Bloques Opción 2*

Luego de realizar las propuestas de layout con sus respectivas medidas (ver figura 2.30 y 2.31) se seleccionó la segunda opción dado que tiene recorridos optimizados, lo que

mejora los tiempos de traslado y la ergonomía de los trabajadores, que es muy importante en un trabajo repetitivo.

Figura 2.30

Propuesta de layout 1

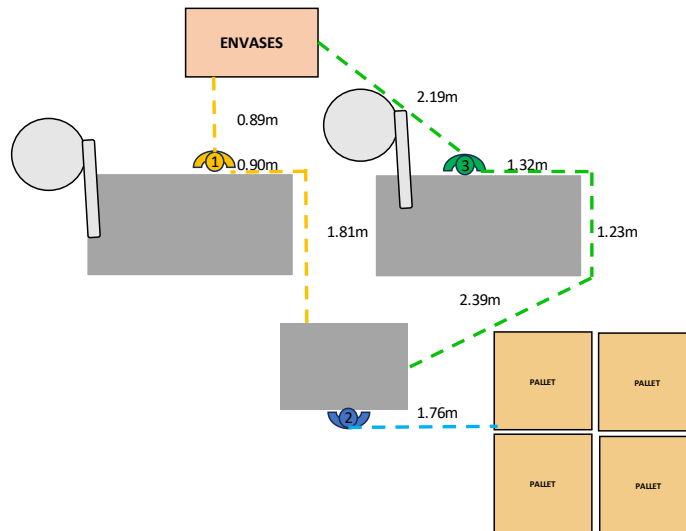
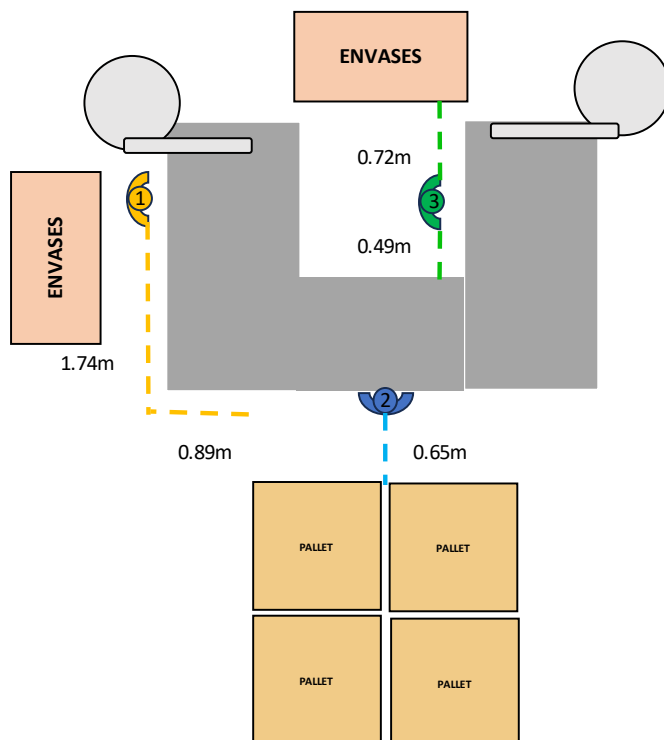


Figura 2.31

Propuesta de layout 2



2.1.4.6 Plan de implementación de la solución 3. Se propone crear un sistema de planificación actualizado que sea gestionado directamente por el personal de ventas, permitiendo una comunicación más eficiente entre departamentos. La solución consiste en diseñar y validar una plantilla en Excel, capacitar al personal involucrado, realizar pruebas piloto y monitorear la implementación para asegurar su efectividad. Esta acción se llevará a cabo en la estación del supervisor de línea y estará a cargo del analista, el supervisor y el gerente. El costo estimado es de \$3,950 y actualmente se encuentra en proceso de ejecución (Ver Tabla 2.24).

Tabla 2.24

Plan de implementación de Solución 3

Causas Raíz	Solución	¿Por qué?	¿Cómo?	¿Dónde?	¿Quién?	¿Cuánto?	Estado
Debido a la falta de un canal de comunicación definido y a la demanda impredecible de algunos clientes.	Crear un sistema de planificación actualizado directamente por el personal de ventas para permitir una mejor comunicación entre departamentos.	Porque las ventas no tienen una forma estructurada de reflejar la demanda en la producción, lo que causa desalineación.	Diseñar y validar una plantilla basada en Excel, capacitar al personal, realizar pruebas piloto y monitorear la implementación.	Estación de supervisor de línea	Analista, Supervisor, Gerente	\$3,950	En proceso

2.1.4.7 Diseño de MPS. La tercera mejora consistió en diseñar e implementar un sistema de planificación de la producción basado en un MPS actualizado directamente por el supervisor de producción. Para ello se desarrolló un portafolio de plantillas digitales en Excel que contemplan tiempos promedio de producción, históricos de producción, tiempos de reabastecimiento de materia prima e inventario de seguridad. Se creó una plantilla para el control de la producción mensual donde se crearon políticas de reabastecimiento de inventario, donde se tomó en cuenta el tiempo de la desviación estándar de la demanda histórica y el lead time para definir el Inventario de seguridad.

$$SS = z * \sigma_d * \sqrt{L} \quad (2.8)$$

$$L \text{ (Lead time)} = 5 \text{ days}$$

$$Z - \text{score (95\%)} = 1.65$$

$$\sigma_d \text{ (Desviación estandar de la demanda)} = 546.32 \frac{kg}{day}$$

$$SS \text{ (Inventario de Seguridad)} = 1.65 * 546.32 * \sqrt{5}$$

$$SS = 2,015.66 \approx 2,016 \text{ kg}$$

Una vez obtenido el SS, se calculó el ROP (Punto de reorden) e identificó cuándo se necesitará un nuevo lote de producción. Para ello se consideró el histórico de la demanda diaria y el lead time del proceso de producción del adhesivo.

$$ROP = L * D + SS \quad (2.9)$$

$$D \text{ (Demanda diaria)} = 440 \frac{kg}{day}$$

$$SS = 2,833.04$$

$$L \text{ (Lead time)} = 5 \text{ days}$$

$$ROP = 5 * 440 + 2016 \text{ kg}$$

$$ROP = 4,216 \text{ kg}$$

Una vez calculados el ROP y el SS, se creó una plantilla de control de producción mensual donde se puede evaluar cuándo se necesita mandar a producir un lote de adhesivo, cuánto se ha producido al mes, evitando el uso de días extras de producción y por ende ahorro económico (Ver Tabla 2.25).

Tabla 2.25

Propuesta de Sistema MPS Mensual

		AGOSTO 2025																														
		SEMANA 1			SEMANA 2				SEMANA 3							SEMANA 4				SEMANA 5												
		01-viernes-08	02-sábado-08	03-domingo-08	04-lunes-08	05-martes-08	06-miércoles-08	07-jueves-08	08-viernes-08	09-sábado-08	10-domingo-08	11-lunes-08	12-martes-08	13-miércoles-08	14-jueves-08	15-viernes-08	16-sábado-08	17-domingo-08	18-lunes-08	19-martes-08	20-miércoles-08	21-jueves-08	22-viernes-08	23-sábado-08	24-domingo-08	25-lunes-08	26-martes-08	27-miércoles-08	28-jueves-08	29-viernes-08	30-sábado-08	31-domingo-08
DÍA		5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
PRODUCCIÓN (KG)		300	200	2000	200	500	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PRODUCCIÓN ACUMULADA (KG)		300	500	2500	200	700	900	900	900	900	900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MEZCLA		6000	5500	2200	2100	6000	5800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FORMULAR		0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

		SEPTIEMBRE 2025																																		
		SEMANA 1							SEMANA 2							SEMANA 3							SEMANA 4							SEMANA 5						
		01-lunes-09	02-martes-09	03-miércoles-09	04-jueves-09	05-viernes-09	06-sábado-09	07-domingo-09	08-lunes-09	09-martes-09	10-miércoles-09	11-jueves-09	12-viernes-09	13-sábado-09	14-domingo-09	15-lunes-09	16-martes-09	17-miércoles-09	18-jueves-09	19-viernes-09	20-sábado-09	21-domingo-09	22-lunes-09	23-martes-09	24-miércoles-09	25-jueves-09	26-viernes-09	27-sábado-09	28-domingo-09	29-lunes-09	30-martes-09					
DÍA		1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2					
PRODUCCIÓN (KG)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
PRODUCCIÓN ACUMULADA (KG)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
MEZCLA		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
FORMULAR		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					

También se creó una plantilla de producción diaria con el objetivo de disminuir la cantidad de pedidos entregados a destiempo, para la que se consideraron los tiempos sellados de la línea (Ver Tabla 2.26).

Tabla 2.26

Propuesta de Sistema MPS Diario

Presentaciones	U/H	U/Caja	Kg/Caja	Horas/Contenedor
Blankcol Balde De 20 Kilos	40	1	20.00	7.50
Blankcol Balde De 20 Kilos Vpm	40	1	20.00	7.50
Blankcol Doypack 200 G Cj 12/1	72	12	2.40	34.72
Blankcol Funda 1 Kilo (6 U)	78	6	6.00	12.82
Blankcol Funda 1 Libra (12 U) Vpm	78	12	5.44	14.13
Blankcol Funda 1/2 Libra (24 U) Cj Vpm	248	24	5.44	4.44
Blankcol Funda De 1 Kilo	78	1	1.00	76.92
Blankcol Funda De 1 Kilo (15 Unidades)	78	15	15.00	5.13

Blankcol Funda De 1 Kilo (6 Unidades) Mk	78	6	6.00	12.82
Blankcol Funda De 1/2 Libra (24 Unidades) Mk	248	24	5.44	4.44
Blankcol Funda De 1/2 Libra (40 Unidades)	248	40	9.07	2.67
Blankcol Pote 1 Kilo (12 U) Vpm	230	12	12.00	2.17
Blankcol Pote 250gr (24u)	160	24	6.00	6.25
Blankcol Pote 250gr (24u) Vpm	160	24	6.00	6.25
Blankcol Pote De 1 Kilo (12 Unidades)	230	12	12.00	2.17
Blankcol Pote De 1 Kilo (12 Unidades) Mk	230	12	12.00	2.17
Blankcol Tarro 3.78 Kilos Galon (4u) Vpm	80	4	15.12	4.96
Blankcol Tarro De 3.78 Kilos Galon (4 Unidades)	80	4	15.12	4.96

Con los tiempos de sellado se creó una plantilla de producción diaria donde se priorizarían a los clientes, y se optimizarán las horas diarias trabajadas reduciendo el uso de horas extras y los clientes con entregas a destiempo (Ver Tabla 2.27).

Tabla 2.27

Propuesta Sistema MPS Semanal

PRODUCCIÓN SEMANAL PLANIFICADA							PRODUCCIÓN TOTAL	4976
DÍA 1							HORAS DISPONIBLES	-0.97
ID Lote	Cliente	Fecha de Producción	Tipo de Producto	Cajas	Unidades	Kg	H de Producción	
001-02	CLIENTE Y	26-ene	BLANKCOL BALDE DE 20 KILOS VPM	5	5	100	0.13	
001-02	CLIENTE XY	26-ene	BLANKCOL FUNDA DE 1 KILO	300	300	300	3.85	
001-02	CLIENTEXY	26-ene	BLANKCOL BALDE DE 20 KILOS VPM	200	200	4000	5	
001-02		26-ene			0	0	0	
001-02		26-ene		0	0	0	0	
						Total en kg:	4400	
DÍA 2							HORAS DISPONIBLES	4.67
ID Lote	Cliente	Fecha de Producción	Tipo de Producto	Cajas	Unidades	Kg	H de Producción	
001-03	CLIENTE X	27-ene	BLANKCOL DOYPACK 200 G CJ 12/1	20	240	576	3.33	
		28-ene			0	0	0	
		29-ene		0	0	0	0	
		30-ene		0	0	0	0	
		31-ene		0	0	0	0	
						Total en kg:	576	

CAPÍTULO 3

3.1 Resultados

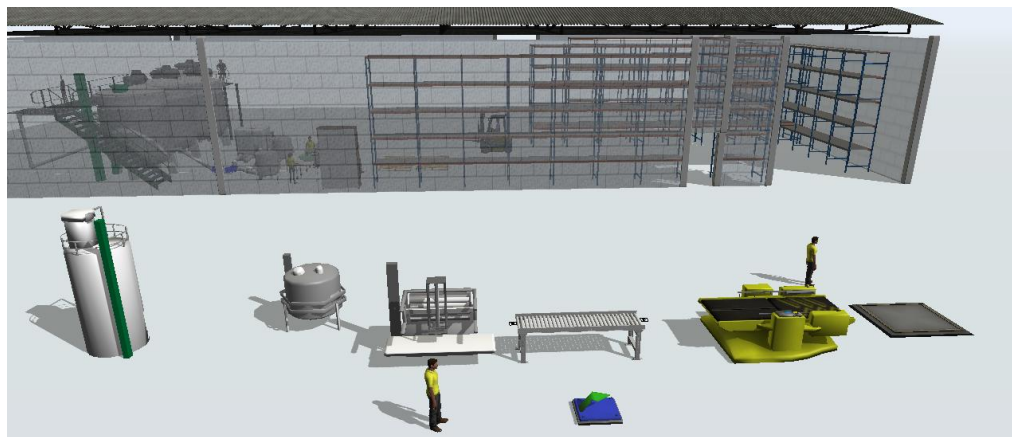
3.1.1 Diseño de Experimento

Para validar el éxito del proyecto se realizó un diseño de experimento en flexsim simulando la situación original de la empresa y la situación futura con las propuestas implementadas.

Se simuló en primera instancia la situación actual de la línea de producción (Ver Figura 3.1).

Figura 3.1

Simulación de la Situación Actual



Se validó la simulación tomando una muestra de 20 semanas de producción mediante una prueba t de una muestra donde se compararon las medias de producción de la producción real (Ver Figura 3.2).

Figura 3.2*Prueba T la Producción Simulada***T de una muestra: SIMULATED PRODUCTION****Estadísticas descriptivas**

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para μ
20	2132.7	77.3	17.3	(2096.5; 2168.9)

 μ : media de SIMULATED PRODUCTION**Prueba**Hipótesis nula $H_0: \mu = 2124.03$ Hipótesis alterna $H_1: \mu \neq 2124.03$

Valor T	Valor p
0.50	0.622

NORMALITY TEST RYAN-JOINER**Gráfica de valores individuales de SIMULATED PRODUCTION****Gráfica de caja de SIMULATED PRODUCTION**

La simulación produce una media de 2,132.70 kg/semana, lo que supone 8.67 unidades más que la producción real (2,124.03 kg/semana).

Dado que la diferencia no es estadísticamente significativa, el proceso simulado está generando resultados que representan con precisión la realidad.

Una vez validada la situación original, se procedió a implementar las mejoras en un nuevo modelo simulado (Ver Figura 3.3).

Figura 3.3

Simulación de Mejora.



Se calculó el número de corridas necesarias para analizar si las mejoras eran estadísticamente significativas mediante una prueba de potencia al 90%.

$$\delta = \frac{|E(Y) - \mu|}{\sigma} \quad (3.1)$$

$$|E(Y) - \mu| = \text{Error permitido}$$

$$\sigma = \text{Desviación estandar del al situación original}$$

$$|E(Y) - \mu| = 50 \text{ kg/week}$$

$$\sigma = 77.32 \text{ kg}$$

$$\delta = \frac{50}{77.32} = 0.647$$

$$\text{La probabilidad de detectar un modelo inválido} = 1 - \beta \quad (3.2)$$

$$\text{La probabilidad de detectar un modelo inválido} = 1 - 0.9$$

$$\text{La probabilidad de detectar un modelo inválido} = 0.1$$

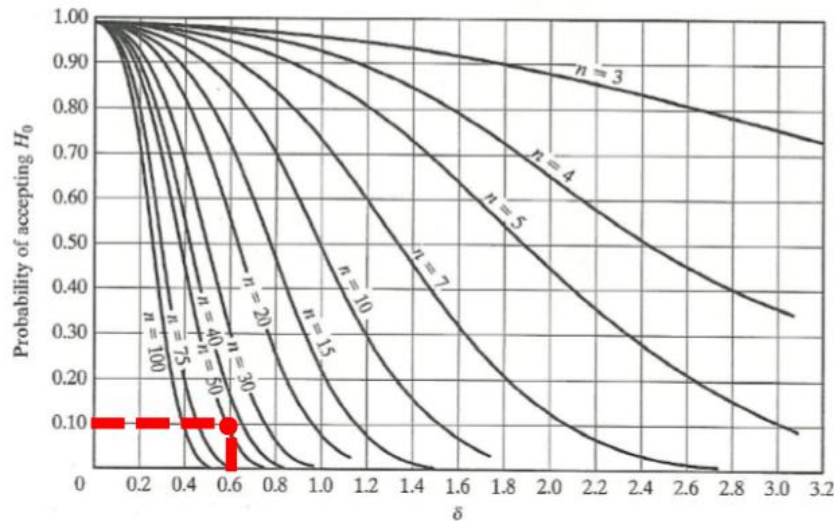
$$\beta = \text{Potencia del modelo}$$

$$\beta = 0.9$$

Con los valores calculados en la matriz de las curvas de potencia se calculó cuál sería el tamaño del n necesario para el análisis estadístico, el cual dio aproximadamente 50 réplicas (Ver Figura 3.4).

Figura 3.4

Power Test



Con los datos simulados de las 50 corridas tanto de la línea original, como de la propuesta con las soluciones, se realizó una prueba t pareada para analizar si el throughput era significativo (Ver Figura 3.5).

Figura 3.5*Prueba T para Proceso Simulado***IC y Prueba T pareada: SIMULATED PRODUCTION; IMP. ... ODUCTION****Estadísticas descriptivas**

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
SIMULATED PRODUCTION	50	2136.0	109.5	15.5
IMP. SIMULATED PRODUCTION	50	5673.5	24.8	3.5

Estimación de la diferencia pareada

Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para la diferencia_μ
-3537.5	116.2	16.4	(-3570.5; -3504.5)

*diferencia_μ: media de (SIMULATED PRODUCTION - IMP. SIMULATED PRODUCTION)***Prueba**

Hipótesis nula H_0 : diferencia_μ = 0
 Hipótesis alterna H_1 : diferencia_μ ≠ 0

Valor T	Valor p
-215.28	0.000

El modelo mejorado aumenta la producción en una media de +3,538 unidades/semana en comparación con el modelo actual.

La magnitud del efecto es extraordinariamente grande en comparación con la variabilidad. Los resultados son estadísticamente sólidos ($p < 0.001$, IC muy estrecho).

3.2 Análisis**3.2.1 Análisis Financiero**

Con los resultados de producción se hizo un análisis financiero de la inversión de las soluciones para observar la rentabilidad de las soluciones al largo plazo en donde se tomó en cuenta la inversión inicial, costos operativos y el profit esperado mensual dando como resultado que en aproximadamente una

semana se recuperaría la inversión por lo que las soluciones son rentables.

(Ver Tabla 3.1).

Tabla 3.1

Análisis Financiero

Etapas de análisis	Parámetros	Valor
1. Inversión Inicial		
	PC de escritorio para el supervisor	\$ 800.00
	Capacitación presencial para supervisores	\$ 200.00
	Mesas de acero (2 unidades grandes: 2.44x1.22 m)	\$ 1,000.00
	Mesa de acero (1 unidad pequeña: 1.5x1 m)	\$ 350.00
	Codificador de empaquetado	\$ 900.00
	Tuberías y juntas de PVC (30 m)	\$ 300.00
	Bomba centrífuga de 1 HP	\$ 400.00
	Inversión inicial total	\$ 3,950.00
2. Costos Operativos Mensuales		
	Mantenimiento y soporte	\$ 50.00
	Salario adicional del operador	\$ 460.00
	Consumo de electricidad ($\approx 2,400 \text{ kWh/mes} \times \0.095)	\$ 228.00
	Mantenimiento y ajustes	\$ 50.00
	Costos operativos mensuales totales	\$ 788.00
3. Beneficios Mensuales Estimados		
	Ahorros en horas extra ($18 \text{ horas} \times \3.66)	\$ 66.00
	Evitando retrasos: 6 viajes $\times \$356$	\$ 2,136.00
	Aumento mensual en los ingresos	\$ 24,607.00
	Beneficios mensuales totales	\$ 26,809.00
4. Análisis de Retorno		
	Retorno neto mensual (beneficios - costos mensuales)	\$ 26,021.00
	Punto de equilibrio (inversión / retorno neto)	0.15

CAPÍTULO 4

4.1 Conclusiones

4.1.1 Incremento del rendimiento productivo.

Como resultado de la implementación de herramientas DMAIC, se logró aumentar significativamente el throughput de la línea de producción de adhesivo, alcanzando un rendimiento cercano al objetivo de 5.367 kg/semana. Este incremento fue posible gracias a la optimización de procesos clave como el enfriamiento, la planificación y el sellado, consolidando un sistema productivo más eficiente, rentable y sostenible, con beneficios medibles en los ámbitos económico, social y ambiental.

4.1.2 Identificación del problema central.

A través del enfoque estructurado del ciclo DMAIC, se identificó con claridad el problema central que limitaba el rendimiento: la ineficiencia en los tiempos de enfriamiento y las demoras en la planificación del MPS. Esta definición precisa permitió enfocar los esfuerzos de mejora en los cuellos de botella reales del proceso.

4.1.3 Análisis de causas raíz.

Mediante herramientas como el análisis de causa raíz (Ishikawa, 5 porqués y análisis de datos), se determinó que los factores limitantes principales estaban relacionados con la falta de estandarización en el enfriamiento y la planificación, así como ineficiencias operativas en el área de empaquetado. Esta identificación permitió orientar correctamente las acciones correctivas.

4.1.4 Implementación de mejoras y base para la mejora continua.

Se diseñaron e implementaron mejoras basadas en los hallazgos del análisis, como la incorporación de sistemas de control y monitoreo de KPIs, la optimización del sistema de

enfriamiento, y la mejora en la secuencia de empaquetado. Estas acciones no solo incrementaron el throughput, sino que también sentaron una base sólida para la mejora continua a través de documentación detallada del flujo de producción.

4.2 Recomendaciones

4.2.1 Institucionalización de la mejora continua.

Para mantener el aumento de throughput logrado y asegurar la sostenibilidad del sistema, se recomienda institucionalizar la mejora continua mediante la implementación permanente del ciclo DMAIC en otras áreas críticas. Esto debe incluir la capacitación continua del personal y la consolidación de una cultura de excelencia operativa orientada a resultados.

4.2.2 Formalización de la definición de problemas.

Se recomienda formalizar la definición del problema mediante reportes estructurados que incluyan datos cuantitativos, análisis de procesos y registros de producción históricos. Esto facilitará futuras intervenciones, al contar con una base clara y verificable del punto de partida de cada iniciativa de mejora.

4.2.3 Fortalecimiento del análisis de causas raíz.

Para fortalecer la identificación de causas raíz en futuras problemáticas, se sugiere implementar un sistema continuo de recopilación de datos y análisis estadístico de procesos. Esto incluye el uso de herramientas como SPC (Control Estadístico de Procesos) para identificar variabilidad no deseada y tomar decisiones basadas en datos reales y actuales.

4.2.4 Estandarización y expansión de mejoras.

Se recomienda documentar y estandarizar todas las mejoras implementadas mediante manuales operativos y guías visuales, especialmente aquellas relacionadas con el

enfriamiento, empaquetado y planificación. Además, se debe extender la metodología probada a otras líneas de producción, adaptando las soluciones según las particularidades de cada proceso, con el objetivo de elevar la productividad general de la planta.

Referencias

- Akao, Y. (1990). *Quality function deployment: Integrating customer requirements into product design*. Cambridge, MA: Productivity Press.
- Antony, J. (2006). Six Sigma for service processes. *Business Process Management Journal*, 12, 234-248. doi:<https://doi.org/10.1108/14637150610657558>
- Brassard, M. y. (1994). *The memory jogger II: A pocket guide of tools for continuous improvement and effective planning*. GOAL/QPC.
- George, M. L. (2010). *Lean Six Sigma: Combining Six Sigma quality with lean speed*. New York: McGraw-Hill.
- Harrington, H. J. (1991). *Business process improvement: The breakthrough strategy for total quality, productivity, and competitiveness*. McGraw-Hill.
- Harrington, H. J. (1991). *Business process improvement: The breakthrough strategy for total quality, productivity, and competitiveness*. New York: McGraw-Hill.
- Imai, M. (1997). *Gemba Kaizen: A commonsense, low-cost approach to management*. McGraw-Hill.
- Imai, M. (1997). *Gemba Kaizen: A commonsense, low-cost approach to management*. New York: McGraw-Hill.
- Ishikawa, K. (1985). *What is total quality control? The Japanese way*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Juran, J. M. (1999). *Juran's quality handbook* (5 ed.). McGraw-Hill.
- Minitab LLC. (2021). *Ryan–Joiner normality test*. Retrieved from Minitab Help Documentation: <https://support.minitab.com/en-us/minitab/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/normality/test-for-normality/>
- Montgomery, D. C. (2009). *Introduction to statistical quality control* (6 ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

- Montgomery, D. C. (2011). *Introduction to time series analysis and forecasting* (2 ed.). John Wiley & Sons.
- Muther, R. (1973). *Systematic layout planning*. Boston: Cahnners Books.
- Niebel, B. W. (2009). *Methods, standards, and work design* (12 ed.). McGraw-Hill Education.
- Ohno, T. (1988). *Toyota production system: Beyond large-scale production*. Productivity Press.
- Pyzdek, T. y. (2014). *The Six Sigma handbook: A complete guide for green belts, black belts, and managers at all levels* (4 ed.). Ner York: McGraw-Hill Education.
- Rother, M. y. (2003). *Learning to see: Value stream mapping to create value and eliminate muda*. Lean Enterprise Institute.
- Ryan, T. A. (1976). *Normal probability plots and tests for normality*.
- Taguchi, G. (1986). *Introduction to quality engineering: Designing quality into products and processes*. New York: Asian Productivity Organization / UNIPUB.
- Wheeler, D. J. (1995). *Understanding statistical process control* (2 ed.). SPC Press.
- Womack, J. P. (1996). *Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation*. New York: Simon & Schuster.