



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

OPCIÓN 1.- TESIS

TRABAJO PROFESIONAL

**“REDUCCIÓN DE DESPERDICIO A TRÁVES DE UNA MÉTODOLOGIA
DMAIC, EN UN EMPRESA DE SELLOS Y EMPAQUES
INDUSTRIALES.”**

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

PRESENTA:

I.Q. MARÍA JOSÉ CASTRO PÉREZ

DIRECTOR DE TESIS:

DR. OSCAR BÁEZ SENTÍES

CODIRECTOR DE TESIS:

**DRA. MARÍA ELOÍSA DE LA ASUNCIÓN GURRUCHAGA
RODRÍGUEZ**

ORIZABA, VERACRUZ, MÉXICO

DICIEMBRE 2024



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Orizaba
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Orizaba, Veracruz, **20/noviembre/2024**
Dependencia: **División de Estudios de
Posgrado e Investigación**
Asunto: **Autorización de Impresión**
OPCION: I

C. CASTRO PEREZ MARIA JOSE
Candidato(a) a Grado de Maestro(a) en:
INGENIERÍA INDUSTRIAL
PRESENTE

De acuerdo con el reglamento de Titulación vigente de los Centros e Institutos Tecnológicos Federales del Tecnológico Nacional de México, de la Secretaría de Educación Pública, y habiendo cumplido con todas las indicaciones que la Comisión Revisora le hizo respecto a su Trabajo Profesional titulado:

**"REDUCCIÓN DE DESPERDICIO A TRÁVES DE UNA METODOLOGÍA DMAIC, EN UN
EMPRESA DE SELLOS Y EMPAQUES INDUSTRIALES"**

Comunico a usted que este Departamento concede su autorización para que proceda a la impresión del mismo.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica®
CIENCIA - TÉCNICA - CULTURA®

OFELIA LANDETA ESCAMILLA
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



OLE/magh

OG-13-F06



Av. Oriente 9 Núm. 852 Colonia Emiliano Zapata. C.P. 94320 Orizaba Veracruz Tel. 01 (272) 1105360
e-mail: depi_orizaba@tecnm.mx www.orizaba.tecnm.mx





TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Orizaba
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Orizaba Veracruz, 7/noviembre/2024.

Asunto: Revisión de trabajo escrito

**C. OFELIA LANDETA ESCAMILLA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
P R E S E N T E.-**

Los que suscriben, miembros del jurado, han realizado la revisión de la Tesis del (la) C.:

CASTRO PEREZ MARIA JOSE

La cual lleva el título de:

**REDUCCIÓN DE DESPERDICIO A TRÁVES DE UNA MÉTODOLOGIA DMAIC, EN UN EMPRESA DE SELLOS Y
EMPAQUES INDUSTRIALES**

y concluyen que se acepta.

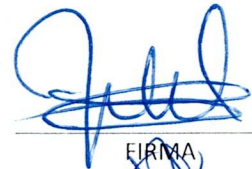
ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica®
CIENCIA – TÉCNICA - CULTURA®

PRESIDENTE: DR. OSCAR BAEZ SENTIES

SECRETARIO: DRA. MA. ELOISA GURRUCHAGA RODRÍGUEZ

VOCAL: DR. MIGUEL JOSUÉ HEREDIA ROLDÁN

VOCAL SUP.: M.M.A. JORGE LUIS HERNÁNDEZ MORTERA


FIRMA

FIRMA

FIRMA

FIRMA



TA-09-F18



Declaración de originalidad y cesión de derechos

Orizaba, Veracruz, el día 28 del mes de noviembre del año 2024.

El(la) que suscribe

C. María José Castro Pérez

Declaro que esta tesis, que tiene una extensión de 194 cuartillas, ha sido escrita por mí y constituye el registro escrito del trabajo de la tesis titulada

“REDUCCIÓN DE DESPERDICIO A TRÁVES DE UNA MÉTODOLOGIA DMAIC,

EN UN EMPRESA DE SELLOS Y EMPAQUES INDUSTRIALES.”

del programa: Maestría en Ingeniería Industrial bajo la asesoría y dirección del Dr. Oscar Báez Sentéis y la Dra. María Eloísa de la Asunción Gurruchaga Rodríguez y no ha sido sometida en ninguna otra institución previamente.

Todos los datos y las referencias a materiales ya publicados están debidamente identificados con su respectivo crédito e incluidos en las notas bibliográficas y en las citas que se destacan como tal y, en los casos que así lo requieran, cuento con las debidas autorizaciones de quienes poseen los derechos patrimoniales. Por lo tanto, me hago responsable de cualquier litigio o reclamación relacionada con derechos de propiedad intelectual, exonerando de toda responsabilidad al Tecnológico Nacional de México campus Orizaba.

También declaro que, al presentar esta tesis, cedo los derechos del trabajo al Tecnológico Nacional de México campus Orizaba para su difusión, con fines académicos y de investigación, bajo las regulaciones propias de la institución y que si existe algún acuerdo de confidencialidad de la información lo haré saber en forma escrita para que se omitan las secciones correspondientes.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y del director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: depi_orizaba@tecnm.mx. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente de este.

Nombre y firma



I.Q. María José Castro Pérez

Dedicatoria

A Dios

Porque sin él no sería nada, se lo debo todo.

A mis amados padres Simón y Lidia

Mis héroes incansables. Mi gratitud es eterna por ser mi eterna estrella de Belén, que ilumina y guía mi camino y por enseñarme la auténtica fortaleza que emana del amor y la perseverancia. Este trabajo está dedicado a ustedes, mis queridos padres, con todo mi amor y gratitud.

A mi hermanito Simón

A mi hermano, mi mejor amigo y el sostén inquebrantable de mi vida. Gracias por estar siempre a mi lado.

A mi mejor amiga Jessi

A la que siempre creyó en mí, mi confidente y apoyo constante, mi incondicional por tantos años.

Agradecimientos

A Dios: *Por darme la fuerza necesaria para culminar esta etapa, nunca dejarme sola y guiarme en todo momento.*

A mis queridos padres: *Mi gratitud es eterna por ser los elegidos, como mi Estrella de Belén. Este logro no habría sido posible sin su constante apoyo y guía. Les dedico este trabajo como un humilde tributo a su amor y dedicación.*

A mi amado padre Simón, *cuyas historias han sido faros en la oscuridad, guiándome en la toma de decisiones. Cada pequeña lección que compartiste ha sido un ancla, sosteniéndome fuerte sin importar dónde esté, incluso en esos rincones del mundo que ni tú imaginabas que exploraría, gracias por enseñarme a ser segura de mí misma. Te amo.*

A la mujer que ocupa todo mi ser, mi adorada madre Lidia: *Gracias por ser mi fuerza, mi refugio y el ejemplo más puro de amor incondicional. Siempre te has asegurado de que alcanzara mis sueños, de que creyera en mí incluso cuando yo no lo hacía, y de que pudiera ser quien realmente quería ser. Tu amor ha llenado cada rincón de mi corazón y ha sido la luz que me guió en los momentos más oscuros. Como dijo Rory Gilmore: "Todo lo que soy, todo lo que seré, se lo debo a mi madre." Mamá, quizás no te hayas dado cuenta, pero cada día aspiro a ser como tú: fuerte, valiente y llena de amor. Este logro lleva tu esencia, porque sin ti, nada de esto habría sido posible. Mi amor por ti no tiene límites, y siempre estarás en el centro de mi corazón. Te amo con todo mi ser, mamá.*

A mi querido hermano: *Mi gordito hermoso, mi mayor bendición, mi compañero de vida y mi fuerza en los momentos difíciles. Eres mi alegría constante, el refugio que calma mis días y el motor que me impulsa a ser mejor. No sé qué haría sin ti, porque tu amor y tu presencia hacen que todo tenga sentido. Eres mi mayor regalo y mi luz en cada paso que doy. Este logro también es tuyo, porque tu apoyo y tu existencia me han dado la fuerza para llegar hasta aquí. Te amaré por toda la eternidad, mi gordito hermoso*

A mi mejor amiga Jessi: Gracias por estar a mi lado durante estos 14 años llenos de risas, lágrimas y momentos inolvidables. Hemos recorrido un camino largo y hermoso juntas, y este logro no sería lo mismo sin ti. Eres más que una amiga, eres "mi persona," mi compañera incondicional y mi hermana de vida. Este logro también es tuyo, porque en cada paso me acompañaste, creyendo en mí incluso cuando yo no lo hacía. Te amo con todo mi corazón, y siempre estaré agradecida por la fortuna de tenerte en mi vida.

Al Dr. Oscar Baez: Este logro no habría sido posible sin su guía experta y apoyo constante. Estoy agradecido por la oportunidad de aprender bajo su supervisión y le dedico este trabajo como muestra de mi profundo agradecimiento.

A la Dra. Gurruchaga: Agradezco su paciencia inagotable al brindarme valiosas sugerencias y correcciones, lo que ha contribuido significativamente a la calidad y profundidad de este trabajo. Su compromiso con mi desarrollo académico ha sido evidente en cada interacción, y estoy verdaderamente agradecido por su disposición constante para compartir su conocimiento.

Al Ing. Alberto Flores: Infinitamente gracias por abrirme las puertas de su empresa, darme la confianza de contribuir positivamente en el desarrollo de mejoras, en donde he aprendido y formado de manera inigualable.

A mis amigos, Carolina, Ingrid, Cosme, Buendía y todos los demás compañeros que me acompañaron en este camino: Gracias por estar ahí en los momentos difíciles y en los de alegría, por las risas compartidas, los consejos y la confianza. Carolina, gracias por tu empatía y apoyo constante. Ingrid, por ser mi confidente en tantas conversaciones importantes. Cosme, por las bromas que siempre aliviaron los días más pesados. Buendía, por tu lealtad y por siempre saber cómo levantar el ánimo. Cada uno de ustedes ha sido una parte importante de esta etapa, y llevo sus huellas en mi corazón.

A todos aquellos que, de una u otra manera, estuvieron presentes en este camino: Gracias por su cariño, sus palabras de aliento y su fe en mí. Cada uno de ustedes ha dejado una marca en mi vida, y este logro también les pertenece.

Resumen

La presente investigación aborda la implementación de la metodología DMAIC en una empresa dedicada a la fabricación de empaque y sellos industriales. El proyecto tiene por objetivo reducir el desperdicio en el área de producción de poliuretano.

La empresa, al carecer de un sistema de calidad robusto, presentaba significativos desperdicios que afectaban, a su vez, su eficiencia operativa y la satisfacción del cliente. Por lo tanto, la metodología DMAIC se utilizó como un marco estructurado para modificar esta práctica a través del análisis de las distintas fases del proceso, crítico para absorber el sobre volumen del poliuretano.

En la definición, se analizó una etapa de marcación con un diagrama de Pareto y una etapa de valor a través de un mapa de flujo. En la fase de medir, se obtuvo información sobre el comportamiento de la producción actual con la medición de mermas y producto variabilidad. En la fase de análisis, bajo el uso de técnicas estadísticas, se identificó la raíz de las variables problema en un diagrama de Ishikawa y los cinco porqués. En la fase de mejora, se desarrollaron acciones correctivas específicas como la innovación de la formula poliuretano y el cálculo de volumen de los moldes, lo cual tuvo una disminución significativa de la materia prima del poliuretano utilizado. En la fase de control, se finalizó el proceso con el monitoreo y entrenamiento, para mantener la variación estable a través del tiempo.

La disminución del volumen de desperdicios obtenidos indica claramente una mejora en la eficiencia productiva y la reducción de los costos operativos. Por último, la aplicación de DMAIC ha fortalecido la capacidad de la empresa para satisfacer las demandas de sus clientes, mejorando sus niveles de calidad y competitividad.

En este estudio se demuestra no sólo la eficacia de la metodología DMAIC en la mejora continua de empresas pequeñas y medianas, sino que también revela la importancia de un enfoque sistemático y basado en datos para resolver problemas de producción y gestión de calidad.

Abstract

This research addresses the implementation of the DMAIC methodology in a company dedicated to the manufacturing of industrial packaging and seals. The project aims to reduce waste in the polyurethane production area.

Due to the lack of a robust quality system, the company was experiencing significant waste, which in turn affected its operational efficiency and customer satisfaction. Therefore, the DMAIC methodology was used as a structured framework to modify this practice by analyzing the different phases of the process, which is critical for absorbing the excess volume of polyurethane.

In the Define phase, a marking stage was analyzed with a Pareto diagram, and a value stage was assessed through a flow map. In the Measure phase, information on the current production behavior was obtained by measuring waste and product variability. In the Analyze phase, using statistical techniques, the root of the problem variables was identified in an Ishikawa diagram and through the Five Whys. In the Improve phase, specific corrective actions were developed, such as the innovation of the polyurethane formula and the calculation of mold volumes, which led to a significant reduction in the amount of polyurethane raw material used. In the Control phase, the process was completed with monitoring and training to keep variations stable over time.

The reduction in waste volume clearly indicates an improvement in productive efficiency and a reduction in operating costs. Lastly, the application of DMAIC has strengthened the company's ability to meet customer demands, enhancing its quality levels and competitiveness.

This study demonstrates not only the effectiveness of the DMAIC methodology in the continuous improvement of small and medium-sized businesses but also reveals the importance of a systematic, data-driven approach to solving production and quality management issues.

Índice general

Dedicatoria.....	i
Agradecimientos.....	ii
Resumen	iv
Abstract.....	v
Índice de figuras	xii
Índice de tablas	xiii
Índice de graficas.....	xv
Introducción.....	xvii
Estado del arte	xviii
Planteamiento del problema	xx
Objetivos generales.....	xxii
Objetivos particulares	xxii
Justificación.....	xxii
Hipótesis	xxiii
Hipótesis Nula (H0):.....	xxiii
Hipótesis Alternativa (H1):	xxiii
Método.....	xxiii
Determinación el tipo de investigación	xxiv
CAPITULO I – GENERALIDADES DE LA EMPRESA.....	1
1.1 Descripción de la empresa	1
1.2 Cultura organizacional	1
1.2.1 Visión	2
1.2.2 Misión.....	2
1.2.3 Valores.....	3
1.3 Política de calidad.....	3
1.4 Marco geográfico	4
1.5 Organigrama	4
1.6 Estructura y distribución de la empresa	6
1.7 Descripción del funcionamiento de la empresa	8

CAPITULO II - MARCO TEORICO	10
2.1 Polímeros	10
2.2 Plásticos	11
2.3 Calidad	11
2.4 Seis Sigma.....	12
2.5 Lean manufacturing	13
2.6 Lean Six Sigma.....	13
2.7 Metodología DMAIC	14
2.7.1 Definir.....	14
2.7.2 Medir	16
2.7.3 Analizar	17
2.7.4 Mejorar	18
2.7.5 Controlar.....	19
2.8 Gestión de la Calidad	20
2.8.1 Beneficios de la Implementación	20
2.9 Diagrama de Pareto.....	21
2.9.1 Aplicaciones en la Calidad	21
2.9.2 Metodología de Elaboración.....	21
2.9.3 Interpretación y Uso Estratégico	22
2.10 Objetivos SMART.....	22
2.10.1 Aplicación de Objetivos SMART en Proyectos de Mejora.....	22
2.11 Stakeholders	23
2.11.1 Análisis de Interés y Poder	23
2.11.2 Gestión de Stakeholders	23
2.11.3 Mapa de Stakeholders.....	24
2.12 Carta Proyecto	24

2.12.1	Componentes de la Carta Proyecto.....	24
2.12.2	Beneficios de la Carta Proyecto	25
2.12.3	Ejemplos y Plantillas	25
2.13	Mapa de Flujo de Valor (VSM)	25
2.13.1	Elementos del VSM.....	26
2.13.2	Creación del Mapa Actual	26
2.13.3	Mapa Futuro	27
2.14	Análisis de Capacidad	27
2.14.1	Cálculo del Índice de Capacidad (Cp, Cpk)	27
2.14.2	Aplicaciones Prácticas	28
2.14.3	Limitaciones del Análisis	28
2.15	Nivel Sigma.....	29
2.15.1	Cálculo del Nivel Sigma.....	29
2.15.2	Importancia del Nivel Sigma.....	30
2.15.3	Aplicaciones en la Industria	30
2.16	Lluvia de Ideas	30
2.16.1	Pasos para Realizar una Lluvia de Ideas Efectiva	31
2.16.2	Variantes de la Técnica.....	31
2.16.3	Aplicaciones en la Resolución de Problemas	31
2.17	Diagrama de Ishikawa.....	32
2.17.1	Componentes del Diagrama.....	32
2.17.2	Pasos para su Construcción	32
2.17.3	Aplicaciones Prácticas.....	33
2.18	Los 5 Porqués	33
2.18.1	Metodología.....	33

2.18.2	Ejemplos de Aplicación.....	34
2.18.3	Limitaciones y Consideraciones	34
2.19	Análisis Modal de Fallas y Efectos (FMEA)	34
2.19.1	Metodología del FMEA.....	35
2.19.2	Cálculo del Número de Prioridad de Riesgo (RPN).....	35
2.19.3	Aplicaciones en la Mejora Continua	36
2.20	Estandarización de Procesos	36
2.20.1	Importancia en la Calidad.....	36
2.20.2	Metodología para la Estandarización	37
2.20.3	Aplicaciones Prácticas y Beneficios.....	37
2.21	Muestreo No Probabilístico.....	38
2.21.1	Muestreo por Conveniencia.....	38
2.21.2	Ventajas y Desventajas del Muestreo por Conveniencia.....	39
2.21.3	Selección de Muestra en el Estudio	39
2.21.4	Recolección de Datos en el Contexto del Muestreo por Conveniencia.....	40
2.21.5	Validez en Estudios con Muestreo por Conveniencia	40
	CAPITULO III – METODOLOGÍA.....	42
3.1	Fase Definir.....	42
3.2	Fase Medir	43
3.3	Fase Analizar	44
3.4	Fase Mejorar	45
3.5	Fase Controlar	45
	CAPITULO IV – IMPLEMENTACION DE LA METODOLOGIA	47
4.1	Definir	47
4.1.1	Definir el problema.....	48
4.1.2	Identificación de los Stakeholders	50

4.1.3	Carta Proyecto	51
4.2	Medir.....	53
4.2.1	Recolección de datos	57
4.2.2	Calculo de material desperdiciado (merma).....	60
4.2.3	Mapa de flujo de valor.....	62
4.2.4	Análisis de Capacidad	71
4.2.4.1	Producto A- Desperdicio de material	71
4.2.4.2	Nivel sigma	74
4.2.4.3	Producto B- Desperdicio de material	74
4.2.4.4	Nivel sigma	77
4.2.4.5	Dureza	78
4.2.4.6	Nivel sigma	82
4.3	Analizar.....	82
4.3.1	Lluvia de ideas.....	82
4.3.2	Elaboración de diagrama de Ishikawa	84
4.3.3	Análisis 5 por qué.....	86
4.4	Mejorar.....	93
4.4.1	Análisis modal de fallos y efectos	93
4.4.2	Implementación de mejoras.....	101
4.4.2.1	Acción para formulación de poliuretano	103
4.4.2.2	Acción para calcular el volumen de los moldes	108
4.4.2.3	Implementación de la causa 1 y 2	112
4.4.3	Análisis de los resultados de las mejoras.....	123
4.4.3.1	Análisis de capacidad Producto A- Desperdicio	124
4.4.3.2	Nivel de sigma Producto A – Desperdicio	126

4.4.3.3	Producto B- Desperdicio	127
4.4.3.4	Nivel de sigma Producto B – Desperdicio	129
4.4.3.5	Análisis de capacidad de dureza Producto A y B.....	130
4.4.3.6	Análisis de nivel sigma de la dureza Producto A y B	132
4.5	Controlar	132
4.5.1	Cálculo del volumen del molde	133
4.5.2	Formulación del poliuretano.....	134
4.5.3	Desarrollo e implementación de procesos	135
4.5.4	Monitoreo y ajustes del proceso	135
4.5.5	Plan de Capacitación	136
4.5.5.1	Objetivos del Plan de Capacitación.....	136
4.5.5.2	Estructura del Plan de Capacitación.....	137
4.5.5.3	Cronograma de Implementación del Plan de Capacitación	139
4.5.5.4	Métodos de Evaluación y Seguimiento del Plan de Capacitación	140
4.5.5.5	Resultados obtenidos:.....	140
	Módulos Completados y Evaluación del Plan de Capacitación	141
4.5.5.6	Impacto del Plan de Capacitación	141
4.5.6	AMEF	143
	Resultados.....	145
5.1	Prueba de Hipótesis producto A	145
5.2	Prueba de Hipótesis producto B.....	146
5.3	Costos.....	148
5.3.1	Costos de Producción sin Optimización (Antes de DMAIC).....	148
5.3.2	Costos de Producción con Optimización (Con DMAIC)	149
5.3.3	Ahorro Total Generado.....	149
5.3.4	Análisis Comparativo de Costos Anuales	149

Conclusión.....	151
Referencias	152
ANEXOS	158
Anexo 1	158
1. Determinación de consumo de material	161
Anexo 2	169

Índice de figuras

Figura 1 Diagrama de producción de la empresa	xxi
--	-----

Figura 1.1 Ubicación de la empresa con coordenadas 18.864200197186644, -97.02829850650497	4
Figura 1.2 Organigrama organizacional	5
Figura 1.3 Distribución de la empresa de sellos y extruidos especializados.....	8
Figura 4.1 Diagrama de Pareto	49
Figura 4.2 Objetivos SMART	50
Figura 4.3 Diagrama de flujo del producto A y B	55
Figura 4.4 Producto A	56
Figura 4.5 Producto B	56
Figura 4.6 Hoja de recolección de datos	58
Figura 4.7 Datos tomando en cuenta los tiempo productivos, no productivos, y contributivo para la pieza A y B, tiempo en minutos.....	64
Figura 4.8 Mapa de flujo de valor del proceso de producción para producto A y B	70
Figura 4.9 Análisis de capacidad con gráficas Xbara-R y gráfica de Normalidad(producto A).....	72
Figura 4.10 Informe de desempeño del proceso, mediante un análisis de capacidad (producto A).....	73
Figura 4.11 Capacidad del proceso producto B.....	74
Figura 4.12 Análisis de capacidad con gráficas Xbara-R y gráfica de Normalidad (producto B)	76

Figura 4.13	Informe de desempeño del proceso, mediante un análisis de capacidad	76
Figura 4.14	Capacidad del proceso producto B.....	77
Figura 4.15	Identificación de distribución mediante prueba d bondad de ajuste - Gráficas de probabilidad.....	78
Figura 4.16	Resumen de datos estadísticos	79
Figura 4.16	Resultados de las pruebas de bondad de ajuste.....	79
Figura 4.17	Análisis de capacidad para la dureza	80
Figura 4.18	Diagrama de Ishikawa (Causa y Efecto).....	85
Figura 4.19	Resultados del producto A en SolidWork®.....	110
Figura 4.20	Resultados del producto B en SolidWork®.....	111
Figura 4.21	Hoja de cálculo para el cálculo de consumo de material	112
Figura 4.22	Resultados del producto A en la hoja de cálculo de Excel	119
Figura 4.23	Resultados del producto A en la hoja de cálculo de Excel	123
Figura 4.24	Resultados del analisis de capacidad del desperdicio producto A.....	125
Figura 4.25	Análisis de capacidad del desperdicio del producto B.....	128
Figura 4.26	Análisis de capacidad de Dureza para del producto A y B.....	130
Figura 5.1	Prueba de hipótesis para producto A	145
Figura 5.2	Prueba de hipótesis para producto A	147

Índice de tablas

Tabla 2.1	Criterios para la selección y definición de proyectos	15
Tabla 2.2	Tipos de escalas de medición y estadísticas permitidas	16
Tabla 2.3	Guía para la selección y control de variables de proceso	19
Tabla 4.1	Productos que tienen mayor demanda	48
Tabla 4.2	Priorización de Stakeholders	51
Tabla 4.3	Carta Proyecto	52
Tabla 4.4	Variables del proceso.....	57
Tabla 4.5	Datos de materia prima consumida del producto A	58
Tabla 4.6	Datos de Materia prima consumido por pieza del producto B	59
Tabla 4.7	Datos de las variables del proceso del producto A.....	59

Tabla 4.8	Datos de las variables del proceso del producto B	59
Tabla 4.9	Resumen de resultados promedios de desperdicio producto A por pieza	61
Tabla 4.10	Resumen de resultados promedios de desperdicio producto B por pieza.....	61
Tabla 4.11	Procesos que fueron medidos	62
Tabla 4.12	Actividades contributivas para ambos productos A y B.....	63
Tabla 4.13	Actividades no contributivas para ambos productos A y B.....	64
Tabla 4.14	Resumen de datos de tiempos en segundos del proceso.....	65
Tabla 4.15	Resumen de datos de demanda.....	66
Tabla 4.16	Datos del tiempo total por casa proceso en la producción diaria	67
Tabla 4.17	Resultados de ciclo de tiempo para cada proceso.....	67
Tabla 4.18	Resumen de datos de capacidad	68
Tabla 4.19	Resultado del VSM.....	69
Tabla 4.20	Datos de % de desperdicio de materia en el producto A en gramos	71
Tabla 4.21	Datos de % de desperdicio de materia en el producto B en gramos.....	75
Tabla 4.22	Datos de dureza de los productos A y B.....	78
Tabla 4.23	Lluvia de ideas de posibles causas que generan desperdicio y dureza fuera de especificaciones	83
Tabla 4.24	5 por qué's Causa 1	86
Tabla 4.25	5 por qué's Causa 2	89
Tabla 4.26	5 por qué's Causa 3	91
Tabla 4.27	Criterios de evaluación para el AMEF	93
Tabla 4.28	Análisis de Modo y Efecto de Falla.....	96
Tabla 4.29	Puntos de mejora	98
Tabla 4.30	Plan de acción de mejora	102
Tabla 4.31	Clave de notación Símbolos y Abreviaciones	106
Tabla 4.32	Datos para el desarrollo de los cálculos	115
Tabla 4.33	Resumen de la cantidad a ocupar de materia prima por pieza	118
Tabla 4.34	Condiciones de temperatura para cada materia prima.....	119
Tabla 4.35	Datos de los cálculos y datos específicos para el Producto B	120
Tabla 4.36	Resumen de la cantidad a ocupar de materia prima por pieza	122
Tabla 4.37	Resumen de datos del producto A	124

Tabla 4.38 Limites del nivel de desperdicio para el producto A	124
Tabla 4.39 Resumen de datos del producto B	127
Tabla 4.40 Limites de desperdicio para el producto B	127
Tabla 4.41 Datos de los límites de Dureza	130
Tabla 4.42 Cronograma de plan de capacitación	139
Tabla 4.43 Análisis de Modo y Efecto de Falla.....	143
Tabla 5.1 Resultado en Costos	149
Tabla 0.1 Cálculo de material	161

Índice de graficas

Gráfica 4.1 Tiempo Takt vs ciclo de tiempo	68
Gráfica 4.2 Diagrama de Pareto de las causas potenciales del AMEF	99
Gráfica 4.3 Diagrama de Pareto de los Pasos Clave del proceso	99

Índice de ecuaciones

Ecuación 2.1	27
Ecuación 2.2	28
Ecuación 2.3	29
Ecuación 2.4	35
Ecuación 4.1	60
Ecuación 4.2	60
Ecuación 4.3	61
Ecuación 4.4	66
Ecuación 4.5	66
Ecuación 4.6	74
Ecuación 4.7	104
Ecuación 4.8	107
Ecuación 4.9	107
Ecuación 4.10	107
Ecuación 4.11	111
Ecuación 4.12	114

Ecuación 4.13	114
Ecuación 4.14	114
Ecuación 4.15	114

Introducción

Actualmente, existe una amplia gama de polímeros disponible para una variedad de necesidades humanas, lo que contribuye significativamente a una mayor calidad de vida. Los polímeros están presentes en muchos sectores industriales y se utilizan en todo tipo de empresas, desde grandes corporaciones hasta pequeñas y medianas empresas. Uno de los polímeros especializados más innovadores es el poliuretano termofijo, un material altamente valorado por sus propiedades químicas, mecánicas y térmicas que están dictadas por la composición y la estructura. Gracias a su versatilidad, el poliuretano se suministra en una amplia variedad de productos, desde reductores de velocidad y cabezales de molinos hasta asientos de válvulas de mariposa. Uno de los atributos más distintivos del poliuretano termofijo es que, una vez curado, no volverá a su forma original. Dicho brebaje u horneado, que se da por calor, radiación o presión excesiva, no es reversible y, por lo tanto, no se cuenta con la opción de refundición. Por tanto, cualquier desperdicio de material durante la fabricación es una pérdida irrecuperable, lo que dificulta la implementación de un buen control de calidad. Por lo tanto, las empresas dedicadas a la fabricación de materiales termoestables deben ser cuidadosas a la hora de planificar y gestionar sus desperdicios y otras mermas de producción.

El estudio propuesto utilizará la metodología DMAIC para eliminar el desperdicio acumulado en una pequeña empresa que fabrica sellos y extruidos, ya sean elastómeros o termofijos. La ausencia de un sistema de control de calidad se ha traducido en un desbordante vertedero de desperdicios, lo que ha provocado la insatisfacción de los clientes y resultados de producción ineficientes. DMAIC se centrará en una investigación estructurada, basada en datos y centrada en las causas primarias de las mermas para optimizar la producción y recuperar y mantener la calidad del producto terminado. Así, DMAIC no solo abordará la acumulación de desperdicios a lo largo del tiempo, sino que también mejorará los procesos de la empresa, disminuirá los costos operativos y generales y aumentará la satisfacción de los clientes.

Cada fase de esta metodología monitoreará y regulará la eliminación de otros vertederos para garantizar que el proceso se fortalezca y se controle significativamente. El impacto duradero será una mentalidad de mejora continua que asegure su longevidad y rentabilidad. Este

estudio no solo propone una solución para un problema específico, sino que también presenta un modelo de negocio para otras empresas del sector. Es decir, demuestra cómo el uso de métodos de gestión modernos puede aumentar la productividad y la competitividad en las pymes. En este sentido, se espera que la empresa optimice su utilidad y reduzca las mermas al mismo tiempo.

Estado del arte

La principal contribución de una metodología Lean Six Sigma a la industria es lograr que se cumpla con los requisitos solicitados por los clientes durante todo el proceso de producción, logrando que se efectúe el aseguramiento de los estándares de calidad y desempeño. Al utilizar el enfoque DMAIC, las organizaciones pueden identificar eficazmente las necesidades de los clientes, analizar variaciones de procesos, implementar mejoras y controlar procesos para entregar productos o servicios que cumplan o superen consistentemente las expectativas de los clientes de acuerdo con Vázquez Silva, Rodríguez Picón, & Romero López (2022)

En el artículo de García Domínguez, y otros (2015) comenta que la metodología Lean Six Sigma, se basa en un enfoque de proyectos; adopta algunas técnicas estadísticas para reducir variación, eliminar defectos y reducir el desperdicio en los procesos y/o productos, y las utiliza para entrenar un grupo de empleados que participan en los proyectos de mejora a través de la compañía.

Una de las técnicas que ha demostrado su eficacia en el ámbito empresarial es el método conocido como DMAIC, que es un acrónimo en inglés que representa las etapas de Definir, Medir, Analizar, Implementar y Controlar. Esta metodología, al ser un enfoque estructurado para resolver problemas, ofrece a las pequeñas y medianas empresas (PyMES) la posibilidad de lograr resultados más rápidos y visibles en comparación con las grandes empresas Pérez Castañeda & León Salazar (2018). Esto se debe a que la implementación de DMAIC o DMAMC involucra una serie de acciones y herramientas estadísticas que facilitan la ejecución y el cumplimiento exitoso de las investigaciones, como señala Carrillo, Peralta, Severiche, Ortega, & Vargas (2021).

Los datos y el razonamiento estadístico desempeñan un papel fundamental en la estrategia 6s, ya que permiten la identificación de factores críticos para la calidad (VCC) y áreas o procesos que requieren mejoras. La mejora de la calidad no puede ser aleatoria; en su lugar, se debe respaldar los proyectos cuando los datos demuestran de manera convincente que su ejecución resultará en una percepción de diferencia por parte del cliente, de acuerdo con Gutiérrez Pulido (2021)

En el artículo “*Desarrollo de un Plan para la Reducción de Merma Utilizando la Metodología Lean Six Sigma en una Planta de Productos Lácteos*” escrito por Cáliz Montañez (2017), menciona que aplicando el concepto de Seis Sigma con la metodología DMAIC se investigó las áreas del proceso y se determinó cuáles eran las áreas donde había mayor porcentaje de desperdicio (merma) y sus posibles causas. De esta forma se permitió recuperar el 75% del producto que estaba destinado a pérdida y se impactó positivamente el costo en la elaboración de otros productos.

Siguiendo el enfoque DMAIC, se puede crear una metodología que integre de manera sucesiva las herramientas más simples y eficaces empleadas en Lean y Seis Sigma. Esta propuesta se presenta como una opción para ajustarla a organizaciones con recursos limitados y un menor grado de experiencia, como las pequeñas y medianas empresas (PyMEs).

“En el último censo realizado por el INEGI en 2020, el 45.6% de los empleos en México son generados por microempresas. Se estima que en México existen 4.2 millones de Pymes las cuales contribuyen al 52% del Producto Interno Bruto del país. Generalmente, el tamaño de una empresa determina su clasificación, dividiéndose en microempresa, pequeña y mediana empresa. Las Pymes son negocios con potencial que buscan obtener beneficios, pero que operan a una escala reducida”. De acuerdo con el Banco BBVA Bancomer (Bancomer, s.f.) las PYMES a menudo enfrentan desafíos relacionados con recursos financieros limitados, que pueden obstaculizar su potencial de crecimiento las empresas más pequeñas pueden enfrentar desafíos para acceder a capital, crédito y oportunidades de inversión, el utilizar la herramienta Seis Sigma puede resultar en un aumento del desempeño y la competitividad, ya que permiten seleccionar los defectos que a través de atender las causas que los provocan no volverán a presentarse, ayudando con esto a disminuir los costos e incrementar tanto la eficiencia como la productividad del proceso según García Domínguez, , y otros (2015)

En el artículo García Domínguez, , y otros (2015) aborda la relevancia de las pequeñas y medianas empresas en la economía global y se resalta la imperativa necesidad de emplear estrategias que les permitan competir y elevar su eficiencia operativa. Una de estas estrategias es la metodología Lean Six Sigma, que se basa en el enfoque DMAIC y que comprende conceptos y herramientas aplicables tanto en grandes corporaciones como en micro y pequeñas empresas.

Planteamiento del problema

En el entorno de la empresa dedicada a la manufactura de componentes termofijos, se enfrentan desafíos significativos en la gestión y manipulación del poliuretano, como lo ilustra la Figura 1, Diagrama de producción de la empresa. El tratamiento de este material es crítico ya que, tras el proceso de curación térmica, pierde la capacidad de ser retrabajado. Esto resulta en problemas multidimensionales que afectan la calidad del producto, la satisfacción del cliente y la eficiencia operativa.

La problemática se intensifica con el incremento de la demanda, lo que ha impulsado una dependencia de la experiencia empírica de los trabajadores para las intervenciones operativas. Si bien esto ha demostrado ser efectivo en ciertos escenarios, también ha conducido a inconsistencias en la calidad del producto final y a un aumento en el porcentaje de rechazo, resaltando una marcada variabilidad en la homogeneidad de los productos.

Adicionalmente, la falta de documentación estandarizada y procedimientos formalizados en la manipulación del poliuretano contribuye a la variabilidad del producto y al exceso de desperdicio de materia prima. Esta ausencia de estandarización es evidente en el diagrama proporcionado, donde se observa una falta de control en los puntos críticos del proceso.

La adopción del enfoque DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) se identifica como una estrategia que podría enfrentar de manera efectiva estos desafíos. Aplicar DMAIC tiene el potencial de estandarizar los procesos, reducir la variabilidad, minimizar los defectos, mejorar la competitividad de la empresa y, esencialmente, disminuir el volumen de residuos generados, alineándose con prácticas de sostenibilidad y eficiencia operativa. La integración de este enfoque podría ser vital para lograr una producción más robusta y confiable que responda a las exigencias actuales del mercado.

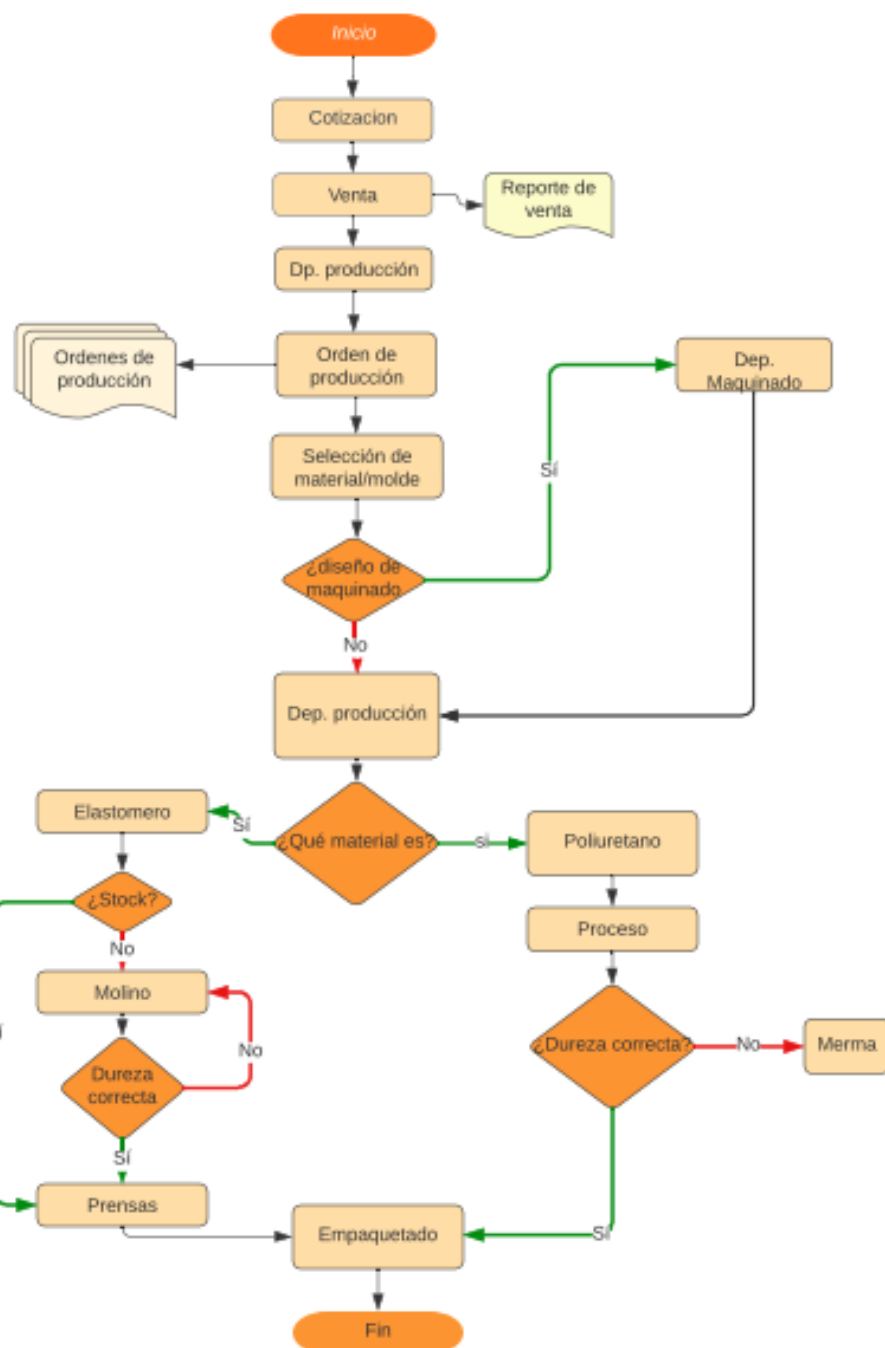


Figura 1 Diagrama de producción de la empresa
Fuente: Fuente: Elaboración propia

Objetivos generales

Reducir desperdicios y defectos en la etapa más crítica del proceso e incrementar la efectividad del proceso del poliuretano, mediante una metodología DMAIC.

Objetivos particulares

- Conocer, identificar y definir la problemática.
- Analizar y cuantificar la magnitud del área de oportunidad.
- Identificar y confirmar la causa raíz o causas.
- Implementar soluciones a la causa raíz, así como evaluar.
- Plan de un sistema que mantenga las mejoras logradas.

Justificación

Una de las estrategias que ha demostrado su efectividad en el entorno empresarial es el enfoque DMAIC, que representa las fases de Definir, Medir, Analizar, Implementar y Controlar en inglés. Esta metodología, al ser un enfoque estructurado para abordar desafíos, ofrece a las pequeñas y medianas empresas la posibilidad de lograr resultados más notorios y rápidos en comparación con las compañías de gran envergadura, como señala Pérez Castañeda & León Salazar (2018).

Las pequeñas y medianas empresas (PYMES) tienen una fuerte dependencia de la satisfacción de sus clientes. La metodología DMAIC posibilita la identificación de las necesidades y expectativas de los clientes, lo que facilita la creación de procesos diseñados para atender esas necesidades. Esta orientación hacia la satisfacción del cliente puede tener un impacto positivo en la retención de clientes y en la lealtad hacia la marca.

De acuerdo con el antecedente de demanda que ha tenido la empresa, se ha constatado un incremento progresivo en los estándares de calidad demandados por sus clientes. En el transcurso del proceso de fabricación del termofijo poliuretano en sus diversas formulaciones, se han identificado deficiencias que han dado lugar a expresiones de insatisfacción por parte de los clientes. Asimismo, se enfrentan a una notoria incidencia de residuos de material.

El propósito de este estudio es establecer una metodología DMAIC con el objetivo de abordar y corregir todas las deficiencias identificadas. La implementación de esta estrategia busca fomentar mejoras continuas, lo que generará beneficios significativos para la empresa. Estos beneficios no se limitarán a la reducción de pérdidas y costos de producción, sino que también impulsarán el crecimiento de la organización. Además, esta iniciativa promoverá una cultura de mejora continua, permitiendo la persistencia en la implementación de mejoras. A pesar de que la empresa es considerada como una Pequeña y Mediana Empresa (PYME), esta metodología permitirá elevar los estándares de calidad de la empresa, ofreciendo productos y servicios de mayor calidad a sus clientes.

Hipótesis

Según Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio (1997), en su obra, las hipótesis cumplen la función de señalar el objetivo de la investigación o lo que se intenta demostrar, pudiendo definirse como explicaciones provisionales del fenómeno estudiado, formuladas en forma de proposiciones. Los autores destacan que, en la investigación científica, las hipótesis representan afirmaciones provisionales sobre las relaciones entre dos o más variables, respaldadas por conocimientos organizados y sistematizados. Por esta razón, se plantean dos tipos de hipótesis, una nula y otra alternativa, como parte integral del proceso investigativo. Estas hipótesis se detallan a continuación:

Hipótesis Nula (H0):

No hay diferencia significativa en la eficiencia del proceso de producción de poliuretano antes y después de la implementación de la metodología DMAIC.

Hipótesis Alternativa (H1):

La implementación de la metodología DMAIC en el proceso de producción de poliuretano resultará en una reducción significativa de desperdicios y defectos, mejorando la eficiencia y contribuyendo al logro de los objetivos establecidos.

Método

En la presente investigación, se aborda la mejora de procesos mediante la aplicación del método DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar). Este enfoque, proveniente

de la metodología Lean Six Sigma, se presenta como una herramienta sistemática y efectiva para la optimización y reducción de desperdicios en el proceso de producción de poliuretano. La sección del método DMAIC se erige como el corazón de la estrategia, delineando el camino estructurado que seguirá este estudio para alcanzar sus objetivos. A través de la meticulosa aplicación de cada fase, se busca no solo identificar las áreas de oportunidad, sino también implementar mejoras significativas y sostenibles. Este método proporciona un marco integral que permitirá abordar con precisión los desafíos específicos del proceso de poliuretano, contribuyendo así a la eficiencia operativa y a la consecución de los objetivos propuestos.

Determinación el tipo de investigación

Este estudio se inscribe en el enfoque cuantitativo de investigación. Según Henández Sampieri, Fernández Collado , & Baptista Lucio (2014) en su obra "Metodología de la Investigación", el enfoque cuantitativo se caracteriza por emplear la recolección de datos para poner a prueba hipótesis a través de la medición numérica y el análisis estadístico. Este método busca establecer patrones de comportamiento y validar teorías a través de la rigurosidad de los datos cuantitativos. La elección de este enfoque se alinea con la naturaleza del método DMAIC, ampliamente utilizado en Seis Sigma, donde la estadística desempeña un papel central en el análisis y la mejora de procesos.

CAPITULO I – GENERALIDADES DE LA EMPRESA

1.1 Descripción de la empresa

Empresa de sellos y extruidos especializados, se dedica a la producción y comercialización de hules especiales, empaques y productos derivados de polímeros como elastómeros, termofijos y termoplásticos. La empresa también se ocupa de la compra y venta de materiales afines, así como del servicio de vulcanizado de bandas.

Perteneciente al sector de Pequeñas y Medianas Empresas (PYME), la compañía tiene una notable historia y evolución desde su fundación en agosto de 2000 por unos amigos. Inicialmente conocida como empresa “sellos y extruidos especializados”, la empresa comenzó enfocándose en la compra y comercialización de productos para sellado de fluidos, como láminas de asbesto, teflón y empaques de elastómeros.

Debido al éxito y demanda creciente, la empresa incursionó en la fabricación de sus propios productos, adquiriendo materia prima y alquilando una prensa en la ciudad de Córdoba, Veracruz. Después de dos años de éxito, la empresa enfrentó una crisis en 2002, lo que resultó en un cambio de nombre a empresa “sellos y extruidos especializados”. A pesar de este desafío, la empresa mantuvo un alto desempeño gracias a la calidad de sus productos y servicios, expandiendo sus actividades a la venta de bandas y servicios de vulcanizado.

El 24 de mayo de 2003, La empresa de sellos y extruidos especializados logró un avance significativo al comenzar a fabricar sus propios productos en instalaciones propias. En 2008, experimentó otro cambio importante al convertirse en una asociación el 2 de agosto, pasando de empresa “X 2.0” a empresa de sellos y extruidos especializados. La asociación contó con cuatro socios.

Este cambio consolidó a EMPRESA DE SELLOS Y EXTRUIDOS ESPECIALIZADOS como un proveedor sólido en la fabricación de empaques y sellos de diferentes elastómeros. En 2010, la empresa amplió sus operaciones al iniciar la fabricación de sellos y empaques de poliuretano.

1.2 Cultura organizacional

La cultura organizacional abarca los valores, creencias, actitudes y prácticas únicas que caracterizan a una entidad empresarial. Sirve como la "identidad" o "personalidad" distintiva

de la empresa y ejerce una influencia significativa en las interacciones entre los empleados y otras partes interesadas. La cultura organizacional no solo moldea la toma de decisiones, sino que también impacta en el ambiente laboral, la capacidad innovadora, la adaptabilidad y, en última instancia, en el éxito global de la organización. Es un componente esencial que define el carácter y la dirección de la empresa, influyendo en todos los aspectos que contribuyen a su funcionamiento y desarrollo a largo plazo.

1.2.1 Visión

La visión empresarial es una expresión inspiradora que delineará el estado futuro que la organización aspira alcanzar. Su propósito es motivar y estimular tanto a los miembros internos de la empresa como a otras partes interesadas, ofreciendo una representación clara y atractiva de las metas a largo plazo que la empresa busca lograr.

"Convertirnos en líderes regionales y nacionales reconocidos por nuestra calidad y servicio excepcionales, contribuyendo al desarrollo sostenible de nuestra comunidad y siendo la primera opción para nuestros clientes locales"

"Alcanzar nuevos proyectos con la finalidad de abrir nuevas fuentes de trabajo y ser una empresa 100%"

1.2.2 Misión

La misión empresarial consiste en una declaración breve que delinea el propósito esencial de la organización, ofreciendo respuestas a interrogantes clave acerca de las acciones de la empresa, su audiencia objetivo y la forma en que lleva a cabo sus actividades. En términos simples, la misión representa una afirmación que clarifica la razón de existir de la empresa y su aporte único en el mercado o la sociedad.

"Cumplir con las expectativas de sus clientes en cuanto a calidad de sus productos, así como la satisfacción de poderles servir, con la finalidad de crecer como empresa y ser un proveedor confiable y seguro, para poder ser siempre la opción número uno."

"Proveer productos/servicios de alta calidad y soluciones personalizadas a nuestros clientes locales, regionales y nacionales contribuyendo al desarrollo económico de la región y manteniendo un compromiso constante con la excelencia, la integridad y la responsabilidad social".

1.2.3 Valores

Los valores constituyen principios esenciales que orientan la conducta, las elecciones y la cultura en el seno de la organización. Estos principios éticos y morales constituyen el fundamento que define la identidad de la empresa y moldea la manera en que se relaciona tanto con su personal internamente como con clientes y otras partes interesadas en el ámbito externo.

- ***Responsabilidad***
- ***Confiabilidad***
- ***Lealtad ante sus clientes***
- ***Comunicación***
- ***Respeto***
- ***Seguridad a su personal.***
- ***Integridad***
- ***Calidad***
- ***Orientación al cliente***
- ***Innovación***
- ***Trabajo en equipo***
- ***Responsabilidad social***
- ***Adaptabilidad***

1.3 Política de calidad

Las políticas de calidad consisten en afirmaciones oficializadas que delinean los compromisos y métodos específicos que la empresa decide seguir para asegurar la calidad de sus productos o servicios. Estas políticas actúan como orientación para el personal y establecen un marco general para la administración de la calidad.

“La organización se compromete firmemente a proporcionar productos y servicios de calidad superior, con la meta de cumplir e incluso superar las expectativas de nuestros clientes. Este compromiso se traduce en un esfuerzo continuo por perfeccionar de manera constante nuestros procesos y procedimientos, con el objetivo final de alcanzar niveles más elevados de calidad en cada aspecto de nuestras operaciones. Reconociendo que la satisfacción del cliente es nuestra prioridad principal, implementamos medidas proactivas

para comprender a fondo y responder de manera efectiva a las necesidades y expectativas de quienes confían en nuestros productos y servicios.”

1.4 Marco geográfico

empresa de sellos y extruidos especializados, se encuentra ubicada en una ubicación.

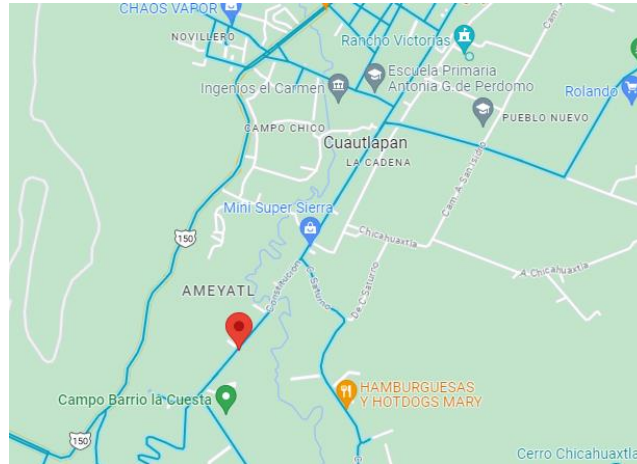


Figura 1.1 Ubicación de la empresa con coordenadas 18.864200197186644, -97.02829850650497
Fuente: Google maps

1.5 Organigrama

Se presenta de manera detallada el organigrama de la empresa que es el objeto de estudio. El organigrama es una representación gráfica de la estructura organizativa, destacando la distribución de roles, responsabilidades y niveles jerárquicos dentro de la empresa. A través de este análisis, se busca proporcionar una visión integral de la organización, permitiendo una comprensión más profunda de su funcionamiento interno.

Este análisis del organigrama es esencial para contextualizar la estructura organizativa de la empresa, brindando una base sólida para la comprensión de aspectos como la toma de decisiones, la asignación de tareas y la coordinación entre los diferentes sectores de la empresa.

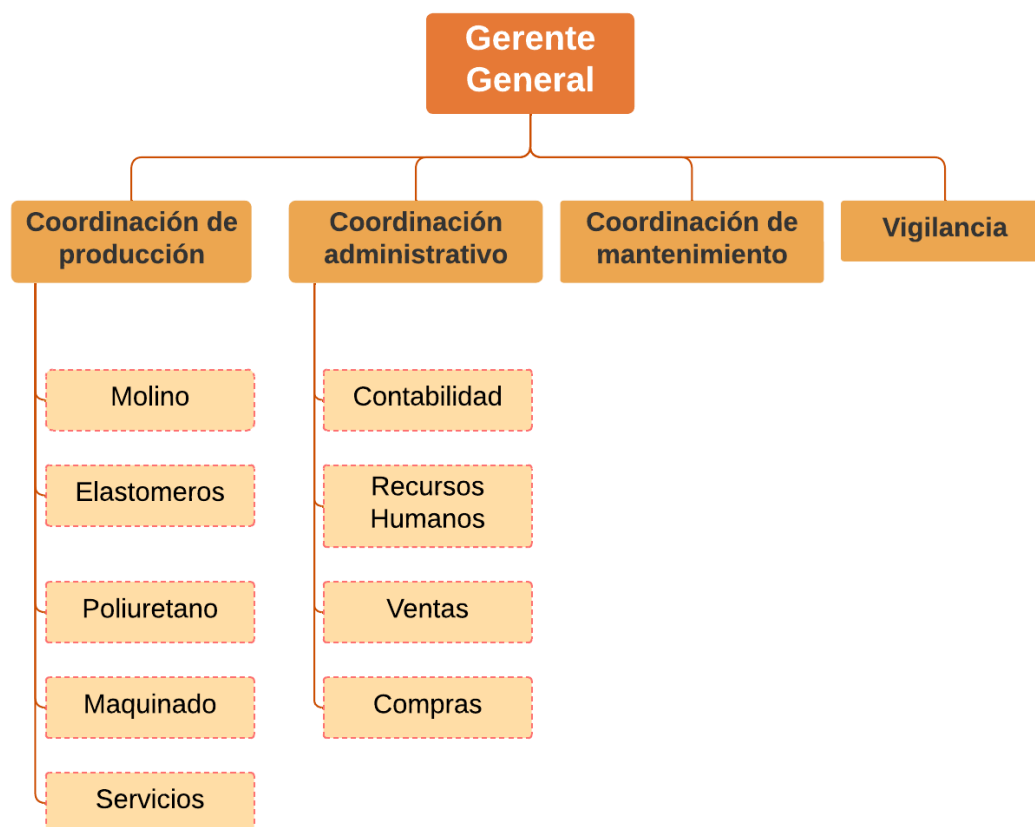


Figura 1.2 Organigrama organizacional
Fuente: Elaboración propia

1.6 Estructura y distribución de la empresa

La estructura organizativa y la distribución física de los recursos de una empresa son componentes cruciales para la operación eficiente y coordinada. La empresa objeto de estudio se dedica a la producción de sellos y extruidos especializados. Ha establecido una organización dividida en diferentes áreas estratégicas con responsabilidades claramente definidas para garantizar que los flujos operativos y administrativos se ejecuten de acuerdo con los objetivos empresariales. La empresa se estructura en varios departamentos clave con roles fundamentales en el éxito de la operación:

Departamento de Ventas, Compras y Cotizaciones: esta área es el principal canal operativo con los clientes. Se ocupa de procesar las solicitudes de cotizaciones, negociaciones con proveedores y clientes y la creación de productos y servicios de calidad a precios rentables. La administración de este departamento es esencial para mantener la competitividad en el mercado.

Área de gestión empresarial: comprende la gerencia general, el departamento de contaduría, recursos humanos y seguridad industrial. Esta área se ocupa de la dirección estratégica de la empresa, administración financiera, liberalización del talento humano y conformidad con las normativas de seguridad. Cada función esencial compone la estabilidad y el crecimiento sostenido de la empresa.

Departamento de producción: esta división abarca las secciones operativas para la producción esencial, como soldadura, maquinado, prensado y molino. Cada una de estas divisiones realiza un papel en la fabricación de productos, cambios de material, desde materias primas hasta productos terminados. Esta área se centra en la creación de sellos y extruidos para piezas especializadas.

Poliuretano. Este departamento está especializado en la producción de productos de poliuretano, sin embargo, debido a la naturaleza irreversible de la reacción, este es uno de los departamentos que necesita un control más preciso. Esta área es responsable de la formulación precisa, el procesamiento adecuado y la calidad del producto, mientras se encargan de minimizar el desperdicio.

Áreas de cizalla y vulcanizado. Tienen una función; se ocupan de lo que se llama cizalladura corte y transformación de varios materiales al aplicar calor. Asumir la presión es crucial para asegurarse de que la deformación final cumpla en todo momento los requisitos técnicos designados, lo que les permite minimizar las pérdidas de material innecesarias.

En relación con la disposición de la planta, se puede observar que el negocio ha orientado su diseño para que el flujo de trabajo sea lo más eficiente posible, minimizando el tiempo improductivo. Se pueden distinguir dos áreas de gestión distintas, una dedicada a las ventas, compras, estudios a corto plazo y cotizaciones, y la otra a la gestión administrativa corporativa. Ambas áreas cuentan con las instalaciones administrativas adecuadas para permitir a sus trabajadores realizar sus tareas de la manera más eficiente posible. En la planta, el diseño ha trabajado para garantizar que todas las áreas de producción y los materiales y las herramientas necesarias sean fácilmente accesibles. El almacén central regula la logística de los insumos, los acabados y las materias primas. Esta área está diseñada para facilitar el fácil acceso al material y a los productos para asegurar que la empresa pueda satisfacer inmediatamente la demanda y las necesidades de los clientes.

En la Figura 4 muestra tanto la estructura como la distribución de la empresa, ha sido elaborada de tal forma que respaldan de manera eficiente su operación. Asimismo, garantizan que cada una de las divisiones cuenta con todas las herramientas y los recursos necesarios para cumplir con sus funciones y que el flujo de trabajo en la planta se encuentra optimizado para reducir las pausas entre las tareas y maximizar la productividad.

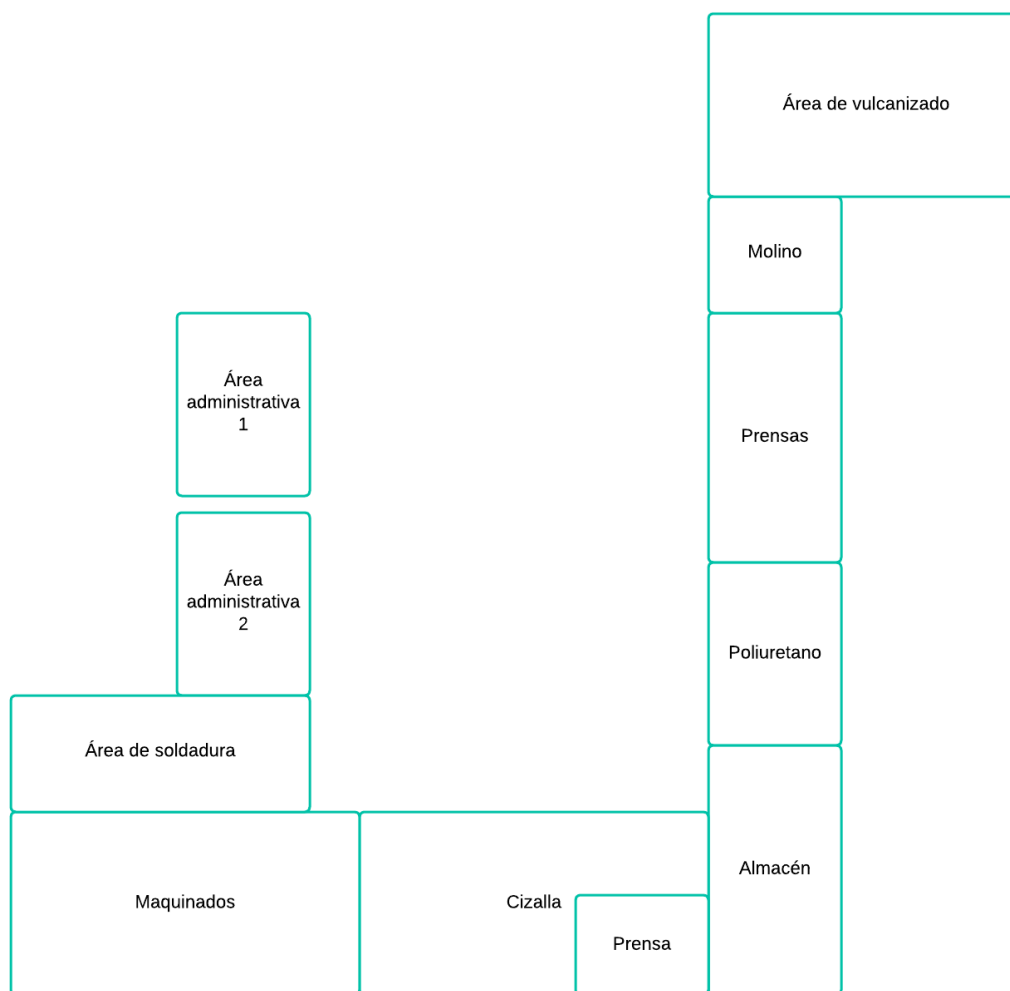


Figura 1.3 Distribución de la empresa de sellos y extruidos especializados
Fuente: Elaboración propia

1.7 Descripción del funcionamiento de la empresa

Se ofrece una descripción detallada de las operaciones diarias en "Empresa de Sellos y Extruidos Especializados". La intención es brindar una perspectiva clara del funcionamiento organizativo y la sinergia entre los departamentos, vitales para el logro de los objetivos empresariales.

Desde la prospección de clientes por el departamento de ventas hasta la producción y distribución de productos, se establece un flujo de operaciones que contempla la cotización, selección de materiales, y la fabricación. Los procesos específicos para la producción de elastómeros y poliuretanos son manejados con procedimientos que atienden a los requerimientos detallados.

Servicios complementarios como corte de bandas y vulcanizado destacan la flexibilidad de la empresa para realizar tareas en sus instalaciones o directamente en las locaciones de los clientes, evidenciando una adaptabilidad que responde a las exigencias del mercado.

La estructura operativa de la empresa subraya un enfoque comprometido con la eficiencia y la calidad, reflejando su capacidad para mantenerse resiliente y competitiva en el sector industrial.

CAPITULO II - MARCO TEORICO

El propósito de este capítulo es desarrollar los conceptos teóricos necesarios para tener una visión más clara, sólida y, sobre todo, fundamentada de los problemas y los objetivos de investigación. En este marco teórico se persigue una clarificación profunda del tema en cuestión, así como los elementos teóricos y de enfoque que permiten situar este tema en un contexto y perspectiva académica y profesional. Cabe señalar que los conceptos presentados son útiles no solo para establecer una conexión más profunda con estos problemas, sino también para guiar el enfoque y la implementación de las metodologías seleccionadas, lo que, por supuesto, respalda la rigurosidad del análisis y los resultados presentados. En cualquier caso, la importancia de un sólido marco teórico en cualquier investigación no puede ser subestimada, ya que proporciona un contexto adecuado para interpretar los resultados presentados y las conclusiones propuestas. En este sentido, se ha sido cuidadoso a la hora de seleccionar elementos importantes en este enfoque teórico.

2.1 Polímeros

Los polímeros han adquirido una relevancia significativa en diversas industrias debido a sus propiedades únicas, que derivan de su estructura molecular. Según Ciardelli, Bertoldo, Bronco y Passaglia (2019), estos materiales están compuestos por largas cadenas de monómeros que, al formar entrelazamientos, restringen la movilidad de las cadenas poliméricas, otorgándoles características como la viscoelasticidad. Este comportamiento, que combina propiedades viscosas y elásticas, es crucial en aplicaciones industriales donde se requiere que los materiales mantengan su forma y función bajo diferentes condiciones de estrés mecánico.

De acuerdo con Ciardelli et al. (2019), la investigación en el campo de los polímeros ha avanzado significativamente, no solo en el desarrollo de polímeros de origen fósil, sino también en la creación de polímeros derivados de recursos renovables. Estos nuevos materiales buscan replicar las propiedades de los polímeros convencionales, al tiempo que mejoran su biodegradabilidad y reducen su impacto ambiental. Como lo describe Ciardelli et al. (2019), esta transición hacia materiales más sostenibles es fundamental en un contexto global donde la sostenibilidad es cada vez más prioritaria.

En palabras de Gutiérrez Pulido (2021), la versatilidad de los polímeros se refleja en su amplia gama de aplicaciones, desde la industria automotriz hasta la médica. En la automoción, por ejemplo, los polímeros se utilizan en la fabricación de componentes ligeros y resistentes, contribuyendo a la eficiencia energética de los vehículos. En el ámbito médico, los polímeros biocompatibles son fundamentales en la creación de dispositivos e implantes, debido a sus propiedades mecánicas y químicas específicas.

2.2 Plásticos

Dentro del amplio espectro de los polímeros, los plásticos destacan por su versatilidad y durabilidad, lo que los hace indispensables en numerosas aplicaciones industriales y de consumo. Reynoso (2018) señala que los plásticos se dividen en dos categorías principales: termoplásticos y termofijos. Los termoplásticos son materiales que pueden fundirse y ser moldeados repetidamente bajo la influencia del calor, lo que les confiere una alta reciclabilidad. Ejemplos comunes incluyen el polietileno (PE) y el polipropileno (PP), ampliamente utilizados en productos desechables y empaques.

Por otro lado, como afirma Reynoso (2018), los termofijos son polímeros que, una vez curados mediante procesos de calor o reacción química, forman estructuras reticuladas que no pueden ser remodeladas ni fundidas. Esta propiedad les otorga una alta resistencia térmica y química, haciéndolos ideales para aplicaciones en entornos exigentes, como en componentes electrónicos y estructuras aeroespaciales.

De acuerdo con Reynoso (2018), el reciclaje de plásticos, especialmente de termoplásticos, ha adquirido una relevancia crucial en la actualidad. Este proceso no solo reduce la demanda de materias primas vírgenes, sino que también minimiza el impacto ambiental de la producción plástica. Sin embargo, Reynoso (2018) sugiere que el reciclaje presenta desafíos, como la degradación de propiedades mecánicas y químicas en cada ciclo de reciclado, lo que limita la reutilización de los plásticos.

2.3 Calidad

El concepto de calidad ha evolucionado para convertirse en un elemento estratégico fundamental en la gestión empresarial. Guerrero Bayona (2020) argumenta que la calidad no se limita únicamente a la conformidad con especificaciones técnicas, sino que también incluye la capacidad de un producto o servicio para cumplir o superar las expectativas del

cliente. Este enfoque integral de la calidad abarca aspectos como la eficiencia, la flexibilidad y la confiabilidad, que son esenciales para mantener la competitividad en un mercado globalizado.

Como lo describe Gutiérrez Pulido (2021), la calidad desempeña un papel multifacético en las organizaciones modernas. Por un lado, es crucial para la satisfacción del cliente, generando confianza y lealtad. Por otro lado, la calidad es un factor clave en la eficiencia operativa, permitiendo a las organizaciones reducir costos, minimizar desperdicios y optimizar recursos. En palabras de Gutiérrez Pulido (2021), la calidad se ha convertido en un diferenciador crítico que puede determinar la posición de una empresa en el mercado y su capacidad para innovar y crecer.

2.4 Seis Sigma

Seis Sigma es una metodología de gestión de calidad que se ha consolidado como una de las estrategias más efectivas para la mejora continua de procesos. Pyzdek y Keller (2010) establecen que Seis Sigma se basa en la reducción de la variabilidad y la eliminación de defectos, con el objetivo de alcanzar niveles de calidad cercanos a la perfección, es decir, con una tasa máxima de 3.4 defectos por millón de oportunidades.

Rodríguez Medina, Poblano Ojinaga, Rodríguez Borbón y Alvarado Tarango (2021) proponen que Seis Sigma no solo mejora la calidad de los productos y servicios, sino que también tiene un impacto positivo en la rentabilidad de las empresas al reducir los costos asociados con defectos, reprocesos y desperdicios. De acuerdo con estos autores, la metodología Seis Sigma combina herramientas estadísticas avanzadas con un enfoque estructurado para la resolución de problemas, lo que permite a las organizaciones mejorar significativamente su eficiencia operativa.

La implementación de Seis Sigma se basa en la metodología DMAIC, la cual se compone de cinco fases: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. Cada fase desempeña un papel crucial en el proceso de mejora continua. Como lo describe Rodríguez Medina et al. (2021), estas fases están diseñadas para identificar y resolver problemas de manera sistemática, asegurando que las mejoras implementadas sean sostenibles a largo plazo.

2.5 Lean manufacturing

Lean Manufacturing es un enfoque de gestión desarrollado por Toyota que busca maximizar la eficiencia operativa mediante la eliminación sistemática de desperdicios y la optimización continua de los procesos de producción. Wilson (2010) sugiere que este enfoque se basa en la creación de valor para el cliente al reducir todo aquello que no agrega valor al producto final, desde el exceso de inventario hasta el tiempo de espera y los defectos de producción.

De acuerdo con Dailey (2003), Lean Manufacturing emplea una variedad de herramientas y técnicas para alcanzar estos objetivos. Entre ellas se incluyen el Kaizen, los Cinco Porqués, Just-in-Time (JIT) y Poka-Yoke. Estas herramientas permiten a las organizaciones mejorar la eficiencia, reducir costos y aumentar la calidad de los productos y servicios, proporcionando una ventaja competitiva en el mercado.

Como lo describe Ding, Ferrás Hernández y Agell Jané (2023), la implementación de Lean Manufacturing no solo mejora la eficiencia y reduce los costos, sino que también contribuye a aumentar la calidad de los productos y servicios. En palabras de Ding et al. (2023), la adopción de prácticas Lean puede tener un impacto positivo en la moral y la motivación de los empleados, ya que promueve un ambiente de trabajo más ordenado, seguro y enfocado en la mejora continua.

2.6 Lean Six Sigma

Lean Six Sigma es una metodología que combina los principios de Lean Manufacturing con las técnicas de Seis Sigma, ofreciendo un enfoque integral para la mejora de procesos. Camus García (2015) señala que mientras Lean se enfoca en la eliminación de desperdicios y la creación de flujo, Seis Sigma se centra en la reducción de la variabilidad y la mejora de la calidad. La integración de estas dos metodologías permite a las organizaciones abordar tanto la eficiencia operativa como la calidad del producto de manera simultánea.

Arthur (2011) sugiere que Lean Six Sigma se ha consolidado como una estrategia poderosa para las organizaciones que buscan mejorar su competitividad en un mercado global cada vez más exigente. Esta metodología se basa en un enfoque estructurado y basado en datos para la resolución de problemas, lo que permite a las organizaciones identificar y eliminar las causas raíz de los problemas, optimizar los procesos y mejorar la satisfacción del cliente.

La implementación de Lean Six Sigma sigue la estructura DMAIC, con un fuerte énfasis en la eliminación de desperdicios y la mejora continua. Como lo describe Arthur (2011), Lean Six Sigma involucra a todos los niveles de la organización en el proceso de mejora, desde la alta dirección hasta los empleados de primera línea, asegurando que las mejoras se implementen de manera efectiva y que se fomente una cultura de excelencia operativa.

2.7 Metodología DMAIC

La metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) es un enfoque estructurado y sistemático, central en la filosofía Seis Sigma, que permite abordar problemas complejos relacionados con la variabilidad y la calidad en los procesos empresariales. Según Rodríguez Medina, Poblano Ojinaga, Rodríguez Borbón y Alvarado Tarango (2021), DMAIC es una metodología de mejora continua que facilita la identificación y eliminación de las causas raíz de los problemas, proporcionando un marco que asegura que los procesos mantengan niveles óptimos de calidad y eficiencia. De acuerdo con estos autores, la naturaleza iterativa de DMAIC permite que las organizaciones logren mejoras sostenibles y cuantificables, ya que cada fase está diseñada para ser interdependiente y complementaria.

En palabras de Leal Hernández y Castro Escobar (2022), la implementación de DMAIC asegura que cualquier iniciativa de mejora esté alineada con los objetivos estratégicos de la organización, ya que la fase inicial de "Definir" establece las prioridades y metas claras del proyecto. A continuación, se detalla cada una de las fases del DMAIC, con un enfoque exhaustivo sobre cómo estas contribuyen al éxito de la mejora de procesos.

2.7.1 Definir

La fase de definición es el primer paso en la metodología DMAIC y es clave para sentar las bases de cualquier proyecto de mejora. En esta etapa, se identifican los problemas más críticos y se seleccionan aquellos que generarán el mayor impacto en la organización. Según Leal Hernández y Castro Escobar (2022), esta fase incluye la creación de una "carta del proyecto", en la que se describen los objetivos específicos, el alcance y los recursos necesarios para abordar el problema identificado.

Como lo establece Camus García (2015), una parte esencial de la fase "Definir" es la identificación y selección de los "stakeholders" o partes interesadas, quienes tendrán un rol importante en el éxito del proyecto. Esto incluye no solo a los líderes del proyecto, sino

también a aquellos que serán afectados por los cambios propuestos. Al involucrar a los stakeholders desde el inicio, se asegura una alineación entre las expectativas de la organización y las metas del equipo de mejora, lo que aumenta la probabilidad de que las soluciones implementadas sean sostenibles a largo plazo.

En palabras de Rodríguez Medina et al. (2021), es en esta fase donde se desarrollan herramientas críticas como el "mapa de flujo de valor", que permite visualizar cómo fluye el proceso actual y qué áreas específicas presentan las mayores ineficiencias. El objetivo principal de la fase de definición es aclarar las metas del proyecto, asegurando que todo el equipo de trabajo esté alineado con los objetivos estratégicos y que se cuente con una clara comprensión del problema que se busca resolver. En la tabla 1, se encuentran algunos criterios que ayudan a definir esta etapa.

Tabla 2.1 Criterios para la selección y definición de proyectos

Fuente: (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma, 2009)

Aborda áreas de mejora de alto impacto: • Reducir defectos o desperdicios en las etapas más críticas de un proceso. • Ligado directamente a la satisfacción del cliente (quejas, reclamos, tiempos largos de atención, burocracia). • Mejorar la capacidad de los procesos. • Incrementar el flujo del trabajo en los procesos (organización del proceso, reducción del tiempo de ciclo, eliminar actividades que no agregan valor).
Apoyo y comprensión de la alta dirección: • La importancia del proyecto es clara para la organización y se percibe como algo importante. • El proyecto tiene el apoyo y la aprobación de la dirección (o gerencia) de la empresa.
Efectos fundamentales: • Se espera que el proyecto tenga beneficios monetarios importantes (medibles), que se reflejen en un tiempo menor a un año. • Factible de realizarse en 3 a 6 meses.

• Para medir el éxito del proyecto se tienen métricas cuantitativas claras, por lo que es fácil medir el punto de partida y los resultados.
Aspectos a evitar en el proyecto: • Objetivos vagos e imprecisos. • Pobres métricas para medir impacto. • No ligado a lo financiero. • Alcance demasiado amplio. • No ligado a los planes estratégicos anuales. • Soluciones indefinidas. • Demasiados objetivos.

2.7.2 Medir

La fase de medición es fundamental para establecer una línea base del rendimiento actual del proceso y para recopilar datos que permitan identificar las áreas de oportunidad. Como lo señala Mamani Quispe (2021), la recopilación de datos en esta etapa es clave para garantizar que las decisiones futuras se basen en información objetiva y precisa. Durante esta fase, se definen métricas clave de desempeño que permitirán monitorear el progreso del proyecto y cuantificar el impacto de las mejoras implementadas.

De acuerdo con Rodríguez Medina et al. (2021), en esta fase se utilizan herramientas como el análisis de capacidad del proceso y el cálculo del nivel sigma, que ofrecen una visión clara del estado actual del proceso. Estas métricas permiten identificar las brechas entre el desempeño actual y el desempeño deseado, lo que facilita la priorización de las mejoras.

Además, según Cortez Fortunio (2019), el proceso de medición incluye la recolección de datos a través de métodos fiables, como hojas de verificación y gráficos de control, que permiten visualizar el comportamiento del proceso en diferentes momentos del tiempo. La precisión en la fase de medición es crucial, ya que los errores en esta etapa pueden llevar a un mal diagnóstico de los problemas y, en consecuencia, a soluciones ineficaces. En la tabla 2, se encuentran los tipos de escalas de medición para así llevar con éxito la fase.

Tabla 2.2 Tipos de escalas de medición y estadísticas permitidas
Fuente: (Dailey, 2003)

Escala	Definición	Ejemplo	Estadística
Nominal	Sólo la presencia/ausencia de un atributo; solo puedo contar elementos	Ir no ir; éxito/fracaso; aceptar rechazar	Por ciento; proporción; pruebas de chi-cuadrado
Ordinal	Se puede decir que un elemento tiene más o menos atributos que otro; puede pedir un conjunto de artículos	Gusto; atractivo	Orden de rango correlación
Intervalo	La diferencia entre dos puntos sucesivos cualesquiera son igual; a menudo se trata como una escala de razón incluso si la suposición de intervalos iguales es incorrecta; Puede sumar, restar y ordenar objetos.	Hora del calendario; temperatura	Correlaciones; pruebas t; pruebas F; regresión múltiple
Relación	El punto cero verdadero indica la ausencia de un atributo; sabe sumar, restar, multiplicar y dividir	Tiempo transcurrido; distancia; peso	prueba t; prueba F; correlaciones; regresión múltiple

2.7.3 Analizar

La fase de análisis se enfoca en identificar las causas raíz de los problemas detectados en el proceso. Moreno Durazo (2022) argumenta que esta etapa es fundamental para el éxito de cualquier iniciativa de mejora, ya que sin un entendimiento profundo de las causas subyacentes, las soluciones implementadas pueden no ser efectivas. El análisis de los datos recopilados en la fase de medición permite confirmar las hipótesis iniciales y descubrir patrones que podrían no ser evidentes a simple vista.

En esta fase, se utilizan herramientas avanzadas de análisis, como el diagrama de Ishikawa (causa y efecto) y los 5 porqués, que permiten descomponer un problema hasta llegar a su causa raíz. En palabras de Mamani Quispe (2021), estas herramientas son esenciales para evitar soluciones superficiales que solo aborden los síntomas del problema sin resolver la causa real. Además, como lo señala Rodríguez Medina et al. (2021), el análisis estadístico del proceso también puede incluir el uso de gráficos de dispersión y diagramas de Pareto, que ayudan a priorizar las áreas de mejora más críticas.

Según Camus García (2015), el éxito en la fase de análisis depende en gran medida de la capacidad del equipo para interpretar correctamente los datos y encontrar correlaciones significativas entre las variables del proceso. Esto no solo facilita la identificación de las áreas con mayor potencial de mejora, sino que también proporciona un marco para desarrollar soluciones más efectivas y precisas.

2.7.4 Mejorar

La fase de mejora se centra en desarrollar e implementar soluciones que optimicen el proceso y reduzcan la variabilidad. De acuerdo con Cortez Fortunio (2019), en esta etapa se prueba y valida una serie de soluciones propuestas para asegurarse de que realmente aborden las causas raíz identificadas en la fase de análisis. La experimentación y el uso de técnicas de mejora continua son cruciales para garantizar que las soluciones no solo sean efectivas en el corto plazo, sino que también sean sostenibles.

Rodríguez Medina et al. (2021) sugieren que en la fase de mejora se utilizan metodologías como el diseño de experimentos (DOE), que permite identificar la combinación óptima de factores que maximicen la eficiencia del proceso. Además, se pueden aplicar herramientas como el Poka-Yoke, que consiste en diseñar sistemas a prueba de errores para prevenir defectos antes de que ocurran. Estas soluciones no solo mejoran el rendimiento del proceso, sino que también minimizan el riesgo de recurrencia de los problemas.

En palabras de Mamani Quispe (2021), es en esta fase donde se logra el mayor impacto en términos de reducción de costos y mejora en la calidad del producto. Al implementar soluciones validadas y basadas en datos, las organizaciones pueden ver una mejora sustancial en su eficiencia operativa y en la satisfacción del cliente.

2.7.5 Controlar

La fase final de la metodología DMAIC, "Controlar", asegura que las mejoras implementadas se mantengan a lo largo del tiempo y que el proceso no vuelva a su estado anterior. Rodríguez Medina et al. (2021) afirman que esta fase es esencial para la sostenibilidad del proyecto, ya que, sin un control adecuado, las mejoras logradas pueden deteriorarse rápidamente. En esta etapa, se establecen planes de control y se monitorean continuamente las variables clave del proceso para garantizar que las mejoras sean permanentes.

Como lo describe Camus García (2015), una parte fundamental de la fase de control es la estandarización de los procesos mejorados. Esto implica la creación de procedimientos operativos estandarizados (POEs) y la capacitación del personal para asegurar que todos los involucrados sigan los nuevos procedimientos de manera consistente. Además, se desarrollan indicadores de rendimiento clave (KPIs) que permiten monitorear el proceso a lo largo del tiempo y detectar cualquier desviación que pueda requerir una intervención correctiva.

En palabras de Rodríguez Medina et al. (2021), la fase de control también incluye la documentación de las lecciones aprendidas, lo que facilita la replicación del éxito en otros proyectos dentro de la organización. De esta manera, el ciclo de mejora continua se perpetúa, permitiendo a la organización adaptarse y evolucionar frente a nuevos desafíos y oportunidades. Se proporciona una guía para la selección y control de variables la cual se muestra en la tabla 3.

Tabla 2.3 Guía para la selección y control de variables de proceso
Fuente: (Dailey, 2003)

	Interno	Externo
	I	II
Fijas	• Aprobación de configuración • Auditorías periódicas • Mantenimiento preventivo	• Auditoria • Certificación
	III	IV

Variable	• Gráficos de control • Producto a prueba de errores • Proceso a prueba de errores • Ordenar la salida	• Control estadístico del proveedor • Recibiendo inspección • Clasificación de proveedores • Producto a prueba de errores
-----------------	---	--

2.8 Gestión de la Calidad

El estándar ISO 9001 proporciona un marco de referencia para la gestión de la calidad, asegurando el cumplimiento de las expectativas de los clientes y la consistencia en los procesos de producción. Guerrero Bayona (2020) destaca que la adopción de ISO 9001 contribuye a la mejora continua y a la competitividad organizacional. Estudios previos y diversas tesis de maestría han demostrado la efectividad de ISO 9001 como herramienta para la estandarización de procesos.

2.8.1 Beneficios de la Implementación

La implementación de ISO 9001 en el proceso de producción de poliuretano permitió establecer un sistema estandarizado que aseguraba la calidad del producto en todas las etapas del proceso. Según Hoyle (2017), la estandarización de procesos bajo esta norma no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también incrementa la satisfacción del cliente mediante la entrega de productos de alta calidad de forma consistente. Singh et al. (2006) y Psomas & Fotopoulos (2009) también respaldan que la adopción de ISO 9001 tiene efectos positivos significativos en la calidad y eficiencia del proceso. En una investigación de López (2018), se evidencia cómo la adopción de ISO 9001 permitió mejoras notables en la eficiencia operativa en una planta de manufactura de plásticos.

ISO 9001 también promueve una cultura de mejora continua al establecer un ciclo de retroalimentación donde se monitorean y revisan los procesos regularmente para detectar áreas de oportunidad. La norma requiere documentar cada proceso, lo que asegura la trazabilidad y facilita la identificación de ineficiencias. De acuerdo con Psomas y Fotopoulos

(2009), la implementación de sistemas de calidad basados en ISO 9001 conduce a la reducción de costos operativos y a un mejor control del proceso, lo cual es crucial para la sostenibilidad y competitividad en el mercado global.

2.9 Diagrama de Pareto

Según Juran (1993), el Diagrama de Pareto, basado en el principio 80/20, es una herramienta utilizada para identificar las causas más significativas de un problema. Como lo describe Juran (1993), este principio se aplica en la gestión de calidad para observar que el 80% de los problemas en un proceso suelen ser causados por el 20% de las causas.

2.9.1 Aplicaciones en la Calidad

De acuerdo con Evans y Lindsay (2014), en la gestión de calidad, el diagrama de Pareto se utiliza para priorizar problemas y enfocar los esfuerzos de mejora en las áreas que proporcionarán el mayor impacto. Según estos autores, esta herramienta es esencial en metodologías como Six Sigma y Lean, donde la identificación y eliminación de causas principales es clave para la mejora continua.

2.9.2 Metodología de Elaboración

Heizer y Render (2017) proponen que la construcción del diagrama de Pareto implica los siguientes pasos:

- 1) Identificar el problema a analizar,
- 2) Recolectar datos sobre las causas del problema,
- 3) Organizar los datos en categorías,
- 4) Calcular el impacto de cada categoría,
- 5) Graficar los resultados y
- 6) Analizar el gráfico para identificar las causas principales.

2.9.3 Interpretación y Uso Estratégico

Montgomery (2019) señala que el análisis del diagrama permite a los equipos de calidad centrarse en las "pocas causas vitales" que generan la mayoría de los problemas. En palabras de Montgomery (2019), esto optimiza los recursos y maximiza los resultados de las intervenciones de mejora.

2.10 Objetivos SMART

La metodología SMART se utiliza para establecer objetivos específicos, medibles, alcanzables, relevantes y temporales. Según Doran (1981), los objetivos SMART facilitan el alineamiento de las actividades del proyecto con las necesidades del negocio, garantizando la evaluación precisa de los resultados. Esta metodología ha sido aplicada en diversos estudios y proyectos de mejora, mostrando que facilita la organización y dirección efectiva de los equipos de trabajo.

2.10.1 Aplicación de Objetivos SMART en Proyectos de Mejora

Los objetivos SMART son fundamentales en proyectos de mejora continua, ya que proporcionan un marco claro para definir metas y medir el progreso. Bryson (2011) y Locke & Latham (2002) señalan que los objetivos bien definidos mejoran el rendimiento organizacional. Rocha-Lona et al. (2013) documentaron cómo el uso de objetivos SMART mejoró la alineación de equipos en proyectos de mejora en el ámbito industrial. Asimismo, en una tesis de la Universidad Nacional Autónoma de México (Martínez, 2019), se muestra cómo la definición de objetivos SMART contribuyó a la eficiencia operativa en la fabricación de componentes automotrices, estableciendo una base sólida para el desarrollo del proyecto.

Los objetivos SMART permiten establecer metas claras que orientan cada fase del proyecto, desde la planificación hasta la implementación y el seguimiento de los resultados. La definición de objetivos específicos ayuda a enfocar los esfuerzos del equipo en actividades que realmente aportan valor, mientras que los objetivos medibles permiten cuantificar el impacto de las acciones implementadas. Un aspecto clave de esta metodología es que los objetivos alcanzables motivan al equipo al ser realistas, mientras que la relevancia asegura

que los objetivos estén alineados con las prioridades estratégicas de la organización. Finalmente, la temporalidad facilita la evaluación del progreso y la toma de decisiones correctivas (Locke & Latham, 2019).

2.11 Stakeholders

Según Freeman (1984), los stakeholders son todas las personas o grupos que tienen un interés en el proyecto o se ven afectados por él. Como afirma Freeman (1984), identificar a los stakeholders es fundamental para gestionar las expectativas y asegurar el éxito del proyecto. En proyectos complejos, la identificación precisa de los stakeholders permite anticipar conflictos potenciales y garantizar que todas las partes interesadas estén alineadas con los objetivos del proyecto. Además, Freeman (1984) destaca que en un entorno empresarial, los stakeholders no solo incluyen a los clientes y empleados, sino también a los proveedores, accionistas, y la comunidad en general.

2.11.1 Análisis de Interés y Poder

Eskerod y Jepsen (2013) argumentan que este análisis categoriza a los stakeholders según su nivel de poder (capacidad para influir en el proyecto) y su interés en el proyecto. De acuerdo con Eskerod y Jepsen (2013), los stakeholders clave, que tienen alto poder e interés, deben ser gestionados cuidadosamente. En proyectos internacionales, este análisis se vuelve aún más crítico, ya que los stakeholders pueden tener diferentes intereses y niveles de influencia dependiendo del contexto cultural y regulatorio. Además, Eskerod y Jepsen (2013) sugieren el uso de la matriz de interés/poder como una herramienta efectiva para visualizar la posición de cada stakeholder y priorizar las estrategias de involucramiento.

2.11.2 Gestión de Stakeholders

Bourne (2016) sugiere que, una vez identificados y analizados, los stakeholders deben ser gestionados mediante estrategias específicas, que incluyen comunicación continua, gestión de expectativas y manejo de conflictos. Según Bourne (2016), el éxito de la gestión de stakeholders depende en gran medida de la capacidad del equipo del proyecto para involucrarlos activamente y mantener una comunicación efectiva. Por ejemplo, en la

industria de la construcción, la gestión de stakeholders es crucial para asegurar que los proyectos cumplan con las expectativas de los clientes, las regulaciones gubernamentales y los estándares de seguridad. Bourne (2016) también propone que la gestión de stakeholders debe ser flexible, permitiendo ajustes según las circunstancias del proyecto.

2.11.3 Mapa de Stakeholders

Mitchell, Agle y Wood (1997) establecen que el mapa de stakeholders es una herramienta visual que muestra la posición de cada stakeholder en relación con el proyecto. En palabras de Mitchell, Agle y Wood (1997), este mapa es útil para entender las dinámicas de poder y las relaciones entre diferentes stakeholders. En proyectos tecnológicos, por ejemplo, un mapa de stakeholders puede ayudar a identificar a los usuarios clave, los financiadores y los reguladores que podrían influir en el éxito del proyecto. Además, este mapa facilita la identificación de posibles alianzas o conflictos de interés entre los stakeholders, lo que permite al equipo del proyecto tomar decisiones informadas y estratégicas.

2.12 Carta Proyecto

Según el Project Management Institute (PMI, 2017), la carta proyecto es un documento que formaliza el inicio de un proyecto y define su alcance, objetivos y recursos asignados. De acuerdo con PMI (2017), esta carta sirve como un marco de referencia durante todo el ciclo de vida del proyecto. En proyectos internacionales, la carta del proyecto también puede incluir acuerdos sobre el uso de recursos globales y la asignación de responsabilidades entre las diferentes partes involucradas. Además, PMI (2017) destaca que la carta del proyecto es fundamental para alinear las expectativas de los stakeholders y establecer la autoridad del gerente del proyecto desde el inicio.

2.12.1 Componentes de la Carta Proyecto

Kerzner (2017) establece que una carta proyecto efectiva incluye una descripción clara del proyecto, los objetivos, el alcance, el cronograma preliminar, el presupuesto estimado, los riesgos identificados, y los roles y responsabilidades clave. Como lo describe Kerzner (2017), cada uno de estos elementos debe ser detallado para proporcionar una base sólida para la

planificación y ejecución del proyecto. En proyectos de gran escala, como la construcción de infraestructura, la carta del proyecto puede incluir detalles sobre la financiación, la gestión de riesgos ambientales y los planes de contingencia. Kerzner (2017) también señala que la carta del proyecto debe revisarse y actualizarse regularmente para reflejar cualquier cambio en el alcance o los objetivos del proyecto.

2.12.2 Beneficios de la Carta Proyecto

Meredith y Mantel (2019) argumentan que la carta proyecto proporciona claridad y alineación entre los stakeholders, lo que ayuda a evitar malentendidos y conflictos durante el proyecto. Según Meredith y Mantel (2019), este documento facilita la toma de decisiones al proporcionar un marco claro de lo que se espera lograr y cómo se medirá el éxito. En el desarrollo de nuevos productos, por ejemplo, la carta del proyecto puede servir como una guía para asegurar que todas las partes involucradas, desde los diseñadores hasta los fabricantes, estén alineadas con la visión del producto. Meredith y Mantel (2019) también sugieren que la carta del proyecto puede incluir indicadores clave de rendimiento (KPI) para monitorear el progreso y el éxito del proyecto.

2.12.3 Ejemplos y Plantillas

El Project Management Institute (2017) sugiere que se pueden incluir plantillas estándar y ejemplos de cartas proyecto exitosas, mostrando cómo estos documentos han sido utilizados para establecer una dirección clara y obtener el compromiso de los stakeholders en proyectos anteriores. Por ejemplo, en proyectos de tecnología de la información, la carta del proyecto puede incluir especificaciones técnicas, requisitos de software y hardware, y planes de prueba para garantizar que el producto final cumpla con las expectativas del cliente. PMI (2017) también destaca la importancia de personalizar la carta del proyecto según el tipo y la complejidad del proyecto, adaptando las plantillas a las necesidades específicas de cada caso.

2.13 Mapa de Flujo de Valor (VSM)

Según Rother y Shook (1999), el mapa de flujo de valor (VSM) es una herramienta visual utilizada en la metodología Lean para analizar y diseñar el flujo de materiales e información

necesarios para entregar un producto o servicio. De acuerdo con Rother y Shook (1999), el VSM ayuda a identificar ineficiencias y desperdicios en el proceso y es una herramienta clave para la mejora continua. En la industria manufacturera, por ejemplo, el VSM se utiliza para mapear todos los pasos en el proceso de producción, desde la recepción de materias primas hasta la entrega del producto final al cliente. Rother y Shook (1999) también sugieren que el VSM es útil para identificar cuellos de botella y oportunidades de automatización en el proceso.

2.13.1 Elementos del VSM

Hines y Rich (1997) señalan que un VSM típico incluye todos los pasos que agregan y no agregan valor en un proceso, tiempos de ciclo, inventarios, tiempos de espera, y flujos de información. Como lo describen Hines y Rich (1997), cada uno de estos elementos se analiza para identificar oportunidades de mejora. En la industria de servicios, por ejemplo, un VSM puede mapear el flujo de información en un proceso de atención al cliente, identificando áreas donde los tiempos de espera pueden ser reducidos para mejorar la satisfacción del cliente. Hines y Rich (1997) también destacan la importancia de incluir tanto los flujos físicos como los flujos de información en el VSM para obtener una visión completa del proceso.

2.13.2 Creación del Mapa Actual

Rother y Shook (1999) argumentan que el proceso de creación de un VSM comienza con la representación del estado actual del proceso, identificando todas las actividades desde el inicio hasta la entrega al cliente. Según Rother y Shook (1999), este mapa proporciona una línea base para analizar y comprender las ineficiencias y los cuellos de botella. En proyectos de mejora de procesos, la creación del mapa actual es esencial para establecer un punto de referencia antes de implementar cambios. Rother y Shook (1999) también sugieren que la participación de todo el equipo en la creación del mapa actual ayuda a asegurar que todos comprendan el proceso y estén comprometidos con las mejoras.

2.13.3 Mapa Futuro

Hines, Rich y Esain (1999) proponen que una vez que se ha mapeado el estado actual, se desarrolla un mapa de estado futuro que representa un proceso mejorado, con menos desperdicio y mayor eficiencia. Como lo describen Hines, Rich y Esain (1999), este mapa guía la implementación de cambios y mejora continua en el proceso. En la industria farmacéutica, por ejemplo, el mapa de estado futuro puede incluir la automatización de procesos de embalaje y la optimización de rutas logísticas para reducir los tiempos de entrega. Hines, Rich y Esain (1999) también sugieren que el mapa de estado futuro debe ser revisado y ajustado regularmente para reflejar los avances y nuevos desafíos en el proceso.

2.14 Análisis de Capacidad

Montgomery (2019) establece que el análisis de capacidad es una técnica estadística utilizada para determinar la capacidad de un proceso para producir productos que cumplan con las especificaciones requeridas. Según Montgomery (2019), este análisis se centra en medir la variabilidad del proceso en comparación con las especificaciones establecidas y es fundamental para asegurar la calidad del producto. En la industria de semiconductores, por ejemplo, el análisis de capacidad se utiliza para evaluar si el proceso de fabricación puede cumplir con las estrictas tolerancias requeridas para componentes electrónicos. Montgomery (2019) también señala que el análisis de capacidad es crucial para la mejora continua, ya que permite identificar áreas donde la variabilidad del proceso puede ser reducida.

2.14.1 Cálculo del Índice de Capacidad (Cp, Cpk)

Evans y Lindsay (2014) proponen que los índices de capacidad Cp y Cpk son medidas clave en el análisis de capacidad. Según Evans y Lindsay (2014), la fórmula para calcular Cp es:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Cp mide la capacidad del proceso en relación con los límites de especificación, mientras que Cpk toma en cuenta la centralización del proceso. La fórmula para calcular Cpk, como lo describen Evans y Lindsay (2014), es:

$$Cpk = \min\left(\frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma}\right) \quad \text{Ecuación 2.2}$$

estos índices proporcionan una evaluación cuantitativa de la capacidad del proceso para cumplir con las especificaciones de calidad. Por ejemplo, en la fabricación de piezas automotrices, un Cp y Cpk altos indican que el proceso es capaz de producir piezas dentro de las tolerancias especificadas con un alto grado de consistencia. Evans y Lindsay (2014) también sugieren que el análisis de capacidad puede ser utilizado para comparar la capacidad de diferentes procesos dentro de una misma planta de producción, ayudando a identificar las mejores prácticas.

2.14.2 Aplicaciones Prácticas

Montgomery (2019) sugiere que el análisis de capacidad se utiliza en diversas industrias para evaluar procesos críticos y asegurar que se mantengan dentro de las especificaciones requeridas. Según Montgomery (2019), ejemplos incluyen la evaluación de procesos de fabricación en la industria automotriz o el análisis de procesos en la industria farmacéutica. En la producción de medicamentos, por ejemplo, el análisis de capacidad es esencial para asegurar que los procesos de mezcla y dosificación cumplan con los estándares de pureza y potencia. Montgomery (2019) también destaca que el análisis de capacidad puede ser utilizado para identificar oportunidades de mejora en procesos que están cerca de los límites de especificación.

2.14.3 Limitaciones del Análisis

Ryan (2011) señala que aunque el análisis de capacidad es una herramienta poderosa, tiene limitaciones. De acuerdo con Ryan (2011), los índices de capacidad asumen que el proceso está en control estadístico y que la distribución de los datos es normal, lo que puede no ser siempre el caso. En procesos donde la distribución de los datos es asimétrica o presenta múltiples picos, los índices Cp y Cpk pueden no proporcionar una representación precisa de

la capacidad del proceso. Ryan (2011) sugiere que en estos casos, es importante complementar el análisis de capacidad con otras herramientas estadísticas, como el análisis de normalidad o la transformación de datos, para obtener una evaluación más precisa del rendimiento del proceso.

2.15 Nivel Sigma

Harry y Schroeder (2000) argumentan que Six Sigma es una metodología que busca la mejora de procesos mediante la reducción de la variabilidad y la eliminación de defectos. Según Harry y Schroeder (2000), el nivel Sigma es una medida que indica cuántos defectos ocurren en un proceso por cada millón de oportunidades. En la industria de la aviación, por ejemplo, Six Sigma se utiliza para garantizar que los componentes críticos cumplan con los más altos estándares de calidad y seguridad. Harry y Schroeder (2000) también señalan que Six Sigma no solo se aplica a la manufactura, sino que también puede ser utilizado en servicios, como en la banca, para mejorar la precisión y eficiencia de los procesos administrativos.

2.15.1 Cálculo del Nivel Sigma

Pyzdek y Keller (2018) proponen que el nivel Sigma se calcula utilizando la ecuación 2.3, que considera el número de defectos observados, el volumen de producción y los límites de especificación del proceso:

$$Z = \frac{LSI \text{ o } LSS - \mu}{\sigma} \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Según Pyzdek y Keller (2018), la interpretación de este valor en una tabla Z permite determinar el porcentaje de defectos o el nivel Sigma del proceso. En la producción de dispositivos médicos, por ejemplo, un nivel Sigma alto es crucial para garantizar la seguridad y eficacia de los productos. Pyzdek y Keller (2018) sugieren que el uso de herramientas estadísticas avanzadas es clave para calcular con precisión el nivel Sigma en procesos complejos, donde la variabilidad puede ser influenciada por múltiples factores.

2.15.2 Importancia del Nivel Sigma

De acuerdo con Harry y Schroeder (2000), un nivel Sigma alto indica que un proceso está altamente controlado y produce pocos defectos. En palabras de Harry y Schroeder (2000), las organizaciones que implementan Six Sigma generalmente buscan alcanzar un nivel de Sigma de al menos 4.5, lo que equivale a menos de 3.4 defectos por millón de oportunidades. En la industria electrónica, por ejemplo, alcanzar un nivel Sigma de 6 es fundamental para asegurar que los productos cumplan con las expectativas de los clientes y los estándares internacionales de calidad. Harry y Schroeder (2000) también argumentan que el nivel Sigma es una medida importante para la competitividad global, ya que permite a las empresas ofrecer productos de alta calidad a precios competitivos.

2.15.3 Aplicaciones en la Industria

Pande, Neuman y Cavanagh (2000) sugieren que Six Sigma ha sido ampliamente adoptado en industrias como la manufactura, la salud, y los servicios financieros. Según Pande, Neuman y Cavanagh (2000), ejemplos de éxito incluyen la reducción de defectos en la producción de semiconductores o la mejora de la eficiencia en los procesos de facturación médica. En el sector de la salud, por ejemplo, Six Sigma se ha utilizado para reducir los errores médicos y mejorar la calidad del servicio al paciente. Pande, Neuman y Cavanagh (2000) también destacan que Six Sigma puede ser adaptado a diferentes industrias y contextos, lo que lo convierte en una herramienta versátil para la mejora continua.

2.16 Lluvia de Ideas

Según Osborn (1953), la lluvia de ideas es una técnica de generación de ideas en grupo que se utiliza para fomentar la creatividad y la innovación en la resolución de problemas. Como afirma Osborn (1953), esta técnica permite a los participantes expresar libremente sus ideas sin temor a críticas. En el contexto de la innovación de productos, por ejemplo, la lluvia de ideas se utiliza para generar una amplia gama de conceptos antes de seleccionar los más prometedores para el desarrollo. Osborn (1953) también sugiere que la efectividad de la lluvia de ideas depende de un entorno que promueva la participación activa y la libertad de pensamiento.

2.16.1 Pasos para Realizar una Lluvia de Ideas Efectiva

Michalko (2006) sugiere que la preparación adecuada es clave para el éxito de una sesión de lluvia de ideas. De acuerdo con Michalko (2006), los pasos incluyen la definición clara del problema, la creación de un ambiente abierto y libre de críticas, y la facilitación del proceso para asegurar que todas las ideas sean consideradas. En la industria del entretenimiento, por ejemplo, las sesiones de lluvia de ideas pueden ser utilizadas para desarrollar nuevas ideas de contenido o estrategias de marketing. Michalko (2006) también argumenta que la diversidad del grupo de participantes es crucial para generar una variedad de ideas y perspectivas.

2.16.2 Variantes de la Técnica

De Bono (2015) señala que existen varias variantes de la lluvia de ideas que pueden adaptarse a diferentes contextos y necesidades. En palabras de De Bono (2015), estas incluyen el brainstorming inverso, donde se analizan las peores posibles soluciones, y el uso de diagramas mentales para organizar y expandir ideas. En la educación, por ejemplo, el brainstorming inverso puede ser utilizado para identificar y evitar prácticas pedagógicas ineficaces. De Bono (2015) también sugiere que la combinación de la lluvia de ideas con otras técnicas de resolución de problemas, como el análisis SWOT, puede ser efectiva para abordar desafíos complejos.

2.16.3 Aplicaciones en la Resolución de Problemas

Según Liedtka (2011), la lluvia de ideas se utiliza en una amplia gama de contextos, desde el desarrollo de productos hasta la mejora de procesos en diversas industrias. Como lo describe Liedtka Columbia Business School., la técnica es especialmente útil en las fases iniciales de un proyecto cuando se buscan soluciones creativas y fuera de lo común. En el sector público, por ejemplo, la lluvia de ideas puede ser utilizada para desarrollar políticas innovadoras que aborden problemas sociales complejos. Liedtka (2011) también destaca que la lluvia de ideas es una herramienta flexible que puede ser adaptada a diferentes tamaños de grupo y tipos de problemas.

2.17 Diagrama de Ishikawa

Según Ishikawa (1985), el diagrama de Ishikawa, también conocido como diagrama de espina de pescado o diagrama de causa-efecto, es una herramienta utilizada para identificar, explorar y representar gráficamente las posibles causas de un problema específico. De acuerdo con Ishikawa (1985), esta herramienta es ampliamente utilizada en la gestión de calidad para identificar causas raíz de problemas. En la industria de la construcción, por ejemplo, el diagrama de Ishikawa se utiliza para analizar las causas de retrasos en los proyectos, permitiendo a los equipos identificar las áreas que requieren mejoras. Ishikawa (1985) también señala que esta herramienta es útil en la resolución de problemas complejos, donde múltiples factores pueden contribuir al problema.

2.17.1 Componentes del Diagrama

Tague (2005) establece que el diagrama de Ishikawa organiza las causas potenciales en varias categorías principales, como Método, Máquina, Mano de Obra, Materiales, Medio Ambiente, y Medición (las 5M's). Según Tague (2005), cada una de estas categorías se analiza para identificar posibles fuentes de problemas que puedan estar contribuyendo al problema general. En la manufactura, por ejemplo, la categoría "Método" puede incluir la revisión de los procedimientos de trabajo para identificar errores o inefficiencias. Tague (2005) también sugiere que el uso de sub-categorías dentro de cada una de las 5M's puede ayudar a desglosar aún más las causas y proporcionar una comprensión más detallada del problema.

2.17.2 Pasos para su Construcción

Ishikawa (1990) propone que la creación de un diagrama de Ishikawa comienza con la identificación clara del problema que se está abordando. Como lo describe Ishikawa (1990), se identifican las principales categorías de causas y se desarrollan sub-causas dentro de cada categoría. En la industria de servicios, por ejemplo, un diagrama de Ishikawa podría ser utilizado para analizar las causas de la insatisfacción del cliente, explorando factores como la calidad del servicio, la eficiencia del proceso y la comunicación con el cliente. Ishikawa

(1990) también argumenta que la construcción del diagrama debe involucrar a todas las partes interesadas para asegurar que se consideren todas las posibles causas del problema.

2.17.3 Aplicaciones Prácticas

Brassard (1989) sugiere que el diagrama de Ishikawa se ha aplicado con éxito en diversos sectores, incluidos manufactura, servicios, y salud. Según Brassard (1989), ejemplos incluyen la reducción de defectos en la producción de automóviles, la mejora de la calidad del servicio al cliente en bancos, y la identificación de causas de errores médicos en hospitales. En la industria automotriz, por ejemplo, el diagrama de Ishikawa ha sido utilizado para reducir los defectos de pintura en vehículos, identificando factores como la calidad de los materiales y las condiciones ambientales en la planta de producción. Brassard (1989) también señala que el diagrama de Ishikawa es una herramienta versátil que puede ser adaptada a diferentes tipos de problemas y contextos, lo que la convierte en una herramienta fundamental para la gestión de calidad.

2.18 Los 5 Porqués

Según Ohno (1988), los 5 Porqués es una técnica utilizada para profundizar en las causas raíz de un problema al hacer la pregunta "¿por qué?" repetidamente, generalmente cinco veces o hasta que se llega a la causa fundamental del problema. En palabras de Ohno (1988), esta técnica fue desarrollada por Toyota como parte del Sistema de Producción Toyota. En la industria de manufactura, por ejemplo, los 5 Porqués se utilizan para identificar las causas de defectos en la línea de producción, permitiendo a los equipos implementar soluciones efectivas. Ohno (1988) también señala que la técnica de los 5 Porqués es especialmente útil en situaciones donde los problemas son multifactoriales y pueden ser causados por una combinación de factores humanos, materiales y procesos.

2.18.1 Metodología

Serrat (2017) propone que la metodología consiste en empezar con un problema específico y hacer la pregunta "¿por qué ocurrió esto?" Según Serrat (2017), la respuesta a cada pregunta se convierte en la base para la siguiente pregunta. En la industria de servicios, por ejemplo,

los 5 Porqués pueden ser utilizados para investigar las causas de la insatisfacción del cliente, comenzando con preguntas como "¿Por qué el cliente está insatisfecho?" y profundizando en factores como la calidad del servicio o la comunicación. Serrat (2017) también sugiere que la técnica de los 5 Porqués debe ser utilizada con cuidado, asegurándose de que cada pregunta se base en hechos y datos concretos para evitar conclusiones erróneas.

2.18.2 Ejemplos de Aplicación

Rother (2010) sugiere que los 5 Porqués se han utilizado en diversos escenarios industriales y empresariales. De acuerdo con Rother (2010), esta técnica se utiliza en la manufactura para identificar y eliminar defectos recurrentes en la línea de producción. En la industria farmacéutica, por ejemplo, los 5 Porqués pueden ser utilizados para investigar las causas de fallos en la producción de medicamentos, ayudando a asegurar que los productos cumplen con los estándares de calidad. Rother (2010) también argumenta que la técnica de los 5 Porqués puede ser complementada con otras herramientas de análisis de causa raíz, como el diagrama de Ishikawa, para obtener una comprensión más completa del problema.

2.18.3 Limitaciones y Consideraciones

Según Ohno (1988), aunque es una técnica poderosa, los 5 Porqués tienen limitaciones. Ohno (1988) argumenta que la técnica puede llevar a conclusiones superficiales si no se realiza con suficiente profundidad o si las preguntas no son formuladas correctamente. En situaciones donde los problemas son complejos y multifactoriales, los 5 Porqués pueden no ser suficientes para identificar todas las causas raíz. Ohno (1988) sugiere que en tales casos, la técnica de los 5 Porqués debe ser utilizada en combinación con otras herramientas de análisis de calidad, como el análisis de fallos y efectos (FMEA), para asegurar una comprensión más completa del problema y la implementación de soluciones efectivas.

2.19 Análisis Modal de Fallas y Efectos (FMEA)

Según Stamatis (2003), el Análisis Modal de Fallas y Efectos (FMEA) es una herramienta sistemática que se utiliza para identificar posibles fallas en un sistema, proceso o producto, evaluar sus efectos y determinar acciones preventivas o correctivas. De acuerdo con Stamatis

(2003), su objetivo es mejorar la fiabilidad y seguridad de los productos y procesos al identificar y mitigar los riesgos antes de que ocurran. En la industria aeroespacial, por ejemplo, el FMEA se utiliza para identificar posibles fallas en componentes críticos de aeronaves, asegurando que los riesgos sean mitigados antes de que afecten la seguridad de los vuelos. Stamatis (2003) también señala que el FMEA es una herramienta clave en la gestión de la calidad total (TQM) y es utilizada ampliamente en industrias donde la fiabilidad y seguridad son esenciales.

2.19.1 Metodología del FMEA

Carlson (2012) propone que el proceso de FMEA incluye varios pasos: identificar todos los modos posibles de falla, evaluar la severidad de cada falla, la probabilidad de ocurrencia, y la capacidad para detectar la falla antes de que afecte al usuario final. Según Carlson (2012), estas evaluaciones se combinan para calcular el Número de Prioridad de Riesgo (RPN). En la industria automotriz, por ejemplo, el FMEA se utiliza para evaluar la fiabilidad de componentes críticos, como los sistemas de frenos y dirección, asegurando que los riesgos sean mitigados antes de la producción en masa. Carlson (2012) también argumenta que la implementación del FMEA debe ser un proceso continuo, revisando y actualizando el análisis a medida que se desarrollan nuevos productos o se introducen cambios en los procesos existentes.

2.19.2 Cálculo del Número de Prioridad de Riesgo (RPN)

Stamatis (1995) sugiere que el RPN se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$RPN = S * O * D \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Según Stamatis (1995), un RPN alto indica una falla potencialmente grave que debe abordarse de inmediato. Por ejemplo, en la industria médica, un RPN alto en un dispositivo crítico como un marcapasos requeriría una acción correctiva inmediata para reducir el riesgo de falla. Stamatis (1995) también destaca que el RPN puede ser utilizado para priorizar las acciones correctivas, asegurando que los recursos se asignen a las áreas de mayor riesgo primero.

2.19.3 Aplicaciones en la Mejora Continua

McDermott, Mikulak y Beauregard (2009) establecen que el FMEA es ampliamente utilizado como parte de los programas de mejora continua, particularmente en industrias donde la seguridad y la fiabilidad son críticas. En palabras de McDermott, Mikulak y Beauregard (2009), el FMEA ha sido implementado para mejorar la calidad del producto y reducir los costos de garantía. En la industria química, por ejemplo, el FMEA se utiliza para identificar y mitigar los riesgos asociados con la producción de productos químicos peligrosos, asegurando que los procesos sean seguros y cumplan con las regulaciones ambientales. McDermott, Mikulak y Beauregard (2009) también sugieren que el FMEA puede ser utilizado para mejorar la eficiencia operativa al identificar y eliminar fallas potenciales antes de que ocurran, reduciendo así el tiempo de inactividad y los costos asociados con las reparaciones.

2.20 Estandarización de Procesos

Según Shingo (1989), la estandarización de procesos implica la creación y uso de procedimientos y normas consistentes para garantizar que los procesos se ejecuten de la misma manera cada vez. Como lo describe Shingo (1989), el objetivo es reducir la variabilidad, mejorar la eficiencia, y asegurar que los productos o servicios cumplan consistentemente con los estándares de calidad. En la industria de la manufactura, por ejemplo, la estandarización de procesos es crucial para asegurar que cada unidad de producto cumpla con las especificaciones exactas, minimizando los defectos y mejorando la eficiencia de la producción. Shingo (1989) también argumenta que la estandarización de procesos es un componente esencial de la mejora continua, ya que proporciona una base sólida sobre la cual se pueden implementar mejoras adicionales.

2.20.1 Importancia en la Calidad

Liker (2004) señala que la estandarización es crucial para mantener la calidad a lo largo del tiempo. En palabras de Liker (2004), al establecer procedimientos estandarizados, las organizaciones pueden asegurar que las mejores prácticas se apliquen de manera consistente, lo que reduce los errores y mejora la eficiencia operativa. En la industria de servicios, por

ejemplo, la estandarización de procesos puede ayudar a asegurar que los clientes reciban un nivel de servicio consistente, independientemente de quién los atienda. Liker (2004) también sugiere que la estandarización de procesos es clave para la capacitación y el desarrollo del personal, ya que proporciona un marco claro y consistente para la ejecución de tareas.

2.20.2 Metodología para la Estandarización

Hammer y Champy (2009) sugieren que el proceso de estandarización incluye la identificación de procesos clave, la documentación de procedimientos detallados, la implementación de estos procedimientos, y la revisión y mejora continua. Según Hammer y Champy (2009), herramientas como los mapas de procesos, los diagramas de flujo, y los manuales de operaciones son esenciales para este proceso. En la industria farmacéutica, por ejemplo, la estandarización de procesos es crucial para cumplir con las regulaciones de la FDA, asegurando que cada lote de producto se produzca de acuerdo con las especificaciones aprobadas. Hammer y Champy (2009) también destacan que la estandarización de procesos debe ser un esfuerzo colaborativo, involucrando a todos los niveles de la organización para asegurar que los procedimientos estandarizados sean comprendidos y seguidos por todos.

2.20.3 Aplicaciones Prácticas y Beneficios

Shingo (1989) argumenta que ejemplos de estandarización incluyen la implementación de estándares operativos en la fabricación, la estandarización de protocolos en el cuidado de la salud, y la creación de procedimientos estándar para el servicio al cliente en la industria de servicios. De acuerdo con Shingo (1989), los beneficios incluyen la reducción de la variabilidad, la mejora en la calidad del producto, y la eficiencia operativa. En la industria alimentaria, por ejemplo, la estandarización de procesos puede ayudar a asegurar que cada producto se elabore con los mismos ingredientes y técnicas, garantizando la consistencia en el sabor y la calidad. Shingo (1989) también sugiere que la estandarización de procesos es esencial para la expansión global de las empresas, ya que permite replicar con éxito las operaciones en diferentes ubicaciones geográficas.

2.21 Muestreo No Probabilístico

El muestreo no probabilístico es un enfoque de selección de muestras en el que los elementos no se eligen mediante procesos aleatorios, sino a partir de criterios establecidos por el investigador. A diferencia del muestreo probabilístico, donde todos los elementos de la población tienen una probabilidad conocida de ser seleccionados, el muestreo no probabilístico se basa en la accesibilidad o características específicas de los participantes. Como menciona Bryman (2016), "este tipo de muestreo es especialmente útil cuando no se busca hacer inferencias generalizables a toda la población, sino más bien obtener una comprensión profunda de fenómenos particulares".

Este enfoque es común en investigaciones cualitativas, donde el objetivo principal no es generalizar los resultados, sino explorar y entender los fenómenos desde la perspectiva de los participantes. Creswell y Creswell (2017) destacan que "el muestreo no probabilístico permite al investigador seleccionar casos clave o típicos que proporcionen una visión detallada del problema de investigación". Entre las técnicas más utilizadas en este tipo de muestreo se encuentran el muestreo por conveniencia, el muestreo intencional, el muestreo por cuotas y el muestreo en cadena o "bola de nieve".

2.21.1 Muestreo por Conveniencia

El muestreo por conveniencia, una técnica no probabilística, es ampliamente utilizado en investigaciones exploratorias y estudios piloto. Esta técnica selecciona a los participantes en función de su accesibilidad y disposición para participar, lo que lo convierte en una opción práctica cuando el investigador enfrenta limitaciones de tiempo o recursos. Como señalan Creswell y Creswell (2017), "el muestreo por conveniencia es particularmente útil cuando los participantes están fácilmente disponibles o cuando el acceso a una muestra más amplia es complicado".

Este tipo de muestreo es ideal cuando se necesita obtener información preliminar o explorar un fenómeno en profundidad dentro de un grupo específico. Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio (2014) afirman que, aunque no se puede garantizar la representatividad de la muestra, este enfoque permite al investigador profundizar en el

análisis cualitativo y obtener información valiosa sobre los participantes que cumplen con los criterios del estudio.

2.21.2 Ventajas y Desventajas del Muestreo por Conveniencia

El muestreo por conveniencia tiene ventajas que lo hacen adecuado para ciertos tipos de estudios. Bryman (2016) menciona que "la principal ventaja de este método es su facilidad y rapidez, lo que permite al investigador recolectar datos de manera eficiente". Esto lo convierte en una herramienta valiosa para estudios exploratorios o situaciones en las que el tiempo es un factor crítico. Además, permite al investigador concentrarse en un grupo específico que tiene características relevantes para el estudio.

Sin embargo, como destacan Creswell y Creswell (2017), "una desventaja del muestreo por conveniencia es que no se pueden hacer generalizaciones confiables a una población más amplia". Dado que no se emplean principios probabilísticos en la selección de la muestra, los resultados pueden estar sesgados, lo que limita su validez externa. Además, Hernández Sampieri et al. (2014) señalan que existe el riesgo de sesgo de selección, ya que los individuos que son más accesibles o están más dispuestos a participar pueden no representar el fenómeno en su totalidad.

2.21.3 Selección de Muestra en el Estudio

En el presente estudio, se ha optado por el muestreo por conveniencia debido a la naturaleza del problema investigado y las limitaciones logísticas para acceder a una población más amplia. Según Bryman (2016), "el muestreo por conveniencia es una opción válida cuando el investigador tiene acceso a un grupo limitado de participantes que cumplen con los criterios necesarios para el estudio". Esta técnica ha permitido que el investigador acceda a un conjunto de individuos relevantes para los objetivos de la investigación, asegurando que la muestra seleccionada proporcione datos valiosos.

Aunque los resultados obtenidos no se pueden generalizar a una población mayor, el uso del muestreo por conveniencia permite realizar un análisis detallado y profundo de los datos, lo que puede proporcionar conclusiones significativas en el contexto del estudio. En este

sentido, Creswell y Creswell (2017) subrayan que "el muestreo por conveniencia es particularmente útil en estudios cualitativos donde la meta es obtener información rica y contextualizada".

2.21.4 Recolección de Datos en el Contexto del Muestreo por Conveniencia

La recolección de datos en estudios que utilizan el muestreo por conveniencia requiere un enfoque flexible que permita adaptarse a las circunstancias de los participantes. Como señala Bryman (2016), "en este tipo de muestreo, es importante que los instrumentos de recolección de datos, como las entrevistas, estén diseñados para maximizar la validez de los resultados obtenidos". En este estudio, se optó por utilizar entrevistas semiestructuradas como el principal método de recolección de datos, ya que ofrecen la flexibilidad necesaria para explorar en profundidad las percepciones y experiencias de los participantes.

Creswell y Creswell (2017) destacan que "las entrevistas a profundidad son ideales en estudios cualitativos que utilizan muestreo por conveniencia, ya que permiten al investigador obtener información detallada sobre los participantes". La flexibilidad de este enfoque permite ajustar las preguntas de acuerdo con las respuestas de los participantes, enriqueciendo así la recolección de datos.

2.21.5 Validez en Estudios con Muestreo por Conveniencia

A pesar de las limitaciones asociadas con el muestreo por conveniencia, es posible garantizar la validez del estudio mediante el uso de técnicas rigurosas de análisis y recolección de datos. Bryman (2016) sugiere que "la validez interna puede fortalecerse mediante la triangulación de datos, lo que permite verificar los resultados utilizando múltiples fuentes o métodos". En este estudio, se ha utilizado una combinación de entrevistas y análisis documental, lo que ha permitido corroborar la información obtenida y aumentar la fiabilidad de los resultados.

Creswell y Creswell (2017) señalan que "aunque no se puede garantizar la generalización de los resultados a una población más amplia, los estudios cualitativos con muestreo por conveniencia pueden proporcionar insights valiosos que son transferibles a otros contextos similares". Al realizar un análisis profundo y detallado, el investigador puede asegurar que

los resultados sean aplicables a situaciones análogas, lo que contribuye a la validez externa del estudio.

CAPITULO III – METODOLOGÍA

El presente capítulo se enmarca en la descripción del enfoque metodológico y de los pasos seguidos para la realización de la presente investigación, cumpliendo la función de una estructura que guía y respalda la coherencia y rigor del estudio. La elección de la metodología se basa en la necesidad de abordar la cuestión de una manera integral, de modo que cada etapa del proceso contribuya en la obtención de una serie de datos informados y resultados confiables. A tal fin, se ha decidido optar por la metodología DMAIC, empleada dentro de la estrategia de Lean Manufacturing, Six Sigma, puesto que este método es adecuado a los objetivos de mejoramiento de la eficiencia operativa y reducción del material de desecho en la producción de poliuretano.

3.1 Fase Definir

El propósito de la fase Definir es establecer los objetivos específicos y delimitar claramente el problema, con el fin de enfocar los esfuerzos en los aspectos críticos del proceso. Definir los objetivos con claridad es crucial para asegurar el aprovechamiento óptimo de los recursos disponibles. Para garantizar que los objetivos fueran específicos y alcanzables, se utilizó la metodología SMART, que permite formular objetivos claros, medibles, alcanzables, relevantes y con un horizonte temporal bien definido (Doran, 1981).

Un ejemplo de los objetivos establecidos es “reducir el desperdicio de materia prima en un 15% en el proceso de producción de poliuretano en un plazo de seis meses”, lo cual cumple con los criterios SMART al ser claro y cuantificable, viable con los recursos de la empresa y alineado con su objetivo estratégico de eficiencia. Definir un objetivo preciso permitió no solo enfocar los esfuerzos, sino también establecer metas alcanzables en plazos definidos, lo que resulta fundamental en proyectos de mejora continua.

Como parte de esta fase, se elaboró una carta proyecto, un documento guía que establece el propósito, alcance, recursos y responsabilidades involucrados. Esta carta es un recurso esencial para asegurar que todos los participantes comprendan el propósito del proyecto y se alineen con sus objetivos. Según Pyzdek y Keller (2010), la carta proyecto también facilita la comunicación con la dirección, permitiendo que esta brinde el respaldo necesario para llevar a cabo las actividades de manera efectiva.

Además de definir los objetivos y el alcance del proyecto, la carta proyecto facilita la asignación de roles, la planificación de las actividades clave y la identificación de los stakeholders principales. Esto garantiza que cada parte interesada esté consciente de su papel en el proceso y comprometida con el logro de los objetivos planteados. Asimismo, durante esta fase se establecieron los estándares de calidad del proyecto, basados en los lineamientos de la norma ISO 9001, para asegurar que el proceso cumpla con las expectativas de calidad del cliente desde el inicio.

3.2 Fase Medir

La fase Medir es esencial para obtener una visión objetiva del estado actual del proceso. En esta etapa, se recopilan y analizan datos que sirven como línea base, permitiendo evaluar el proceso antes de implementar cualquier mejora. La medición precisa de las variables del proceso es crucial, ya que proporciona información confiable para identificar las áreas de oportunidad.

Para analizar el flujo del proceso y localizar los puntos críticos de desperdicio, se emplearon diagramas de flujo, los cuales permiten una visión general de cada etapa de la producción. Las mediciones incluyeron variables como temperatura, tiempo de mezcla y consumo de materia prima. Estas variables fueron registradas en hojas de verificación, permitiendo identificar patrones y posibles variaciones que contribuyen al desperdicio.

Los gráficos de control fueron una herramienta importante para diferenciar entre las variaciones comunes y especiales dentro del proceso. De acuerdo con Montgomery (2019), estos gráficos permiten identificar si las fluctuaciones observadas en el proceso son normales o si requieren atención inmediata. Al analizar las variaciones, el equipo de investigación pudo determinar cuáles elementos del proceso representaban áreas de oportunidad y en cuáles era necesario implementar ajustes.

En esta fase, se recolectaron datos de manera exhaustiva para asegurar su representatividad y fiabilidad. Se aplicaron muestreos aleatorios de los datos del proceso, permitiendo que los resultados reflejen de forma precisa el desempeño real de la producción de poliuretano. Además, se evaluó la capacidad del proceso para determinar si este cumplía con los requisitos establecidos por el cliente, lo cual es fundamental para entender las limitaciones y áreas de mejora del proceso (Kotz & Johnson, 1993).

Para profundizar en la identificación de desperdicios, se utilizó el análisis del flujo de valor, que permite identificar aquellas actividades que no agregan valor al producto final y contribuyen a la ineficiencia. Este análisis ayuda a visualizar los tiempos de ciclo, localizar cuellos de botella y priorizar los ajustes necesarios para optimizar el flujo de trabajo.

3.3 Fase Analizar

En la fase de Análisis, el objetivo es identificar las causas raíz de los problemas detectados durante la fase de medición. Para esto, se empleó el Diagrama de Ishikawa, el cual permite descomponer las posibles causas de desperdicio en categorías como método, material, mano de obra, maquinaria y medio ambiente (Ishikawa, 1985). Este enfoque facilita una comprensión profunda de los factores que afectan el proceso, permitiendo identificar las áreas específicas en las que se deben centrar los esfuerzos de mejora.

Además del Diagrama de Ishikawa, se aplicó la técnica de los 5 Porqués, una herramienta que permite profundizar en cada causa hasta llegar a la raíz del problema. Esta técnica fue útil para entender, por ejemplo, que la falta de capacitación en el uso de equipos de desmoldado y ciertas prácticas de manipulación de materiales estaban directamente relacionadas con el desperdicio. La combinación de ambas herramientas permitió obtener una visión clara de los factores que necesitaban corrección.

Asimismo, se evaluó la capacidad del proceso mediante los índices Cp y Cpk, los cuales indicaron la necesidad de realizar ajustes para mejorar el centramiento y reducir la variabilidad (Kotz & Johnson, 1993). La variabilidad en la temperatura y en el tiempo de mezcla fueron dos de las principales fuentes de inconsistencia que contribuían al desperdicio de material.

Para priorizar las causas con mayor impacto en el proceso, se empleó el Diagrama de Pareto, bajo el principio de que unas pocas causas producen la mayoría de los problemas (Juran, 1993). Este análisis permitió enfocar los esfuerzos en los problemas de mayor relevancia, logrando una asignación de recursos más eficiente. Finalmente, el equipo de investigación aplicó el Análisis de Modos de Falla y Efectos (FMEA) para prever las consecuencias de posibles fallas y determinar acciones preventivas que minimicen su ocurrencia (Stamatis, 2003).

3.4 Fase Mejorar

La fase Mejorar busca implementar soluciones que aborden las causas raíz de las ineficiencias identificadas en el proceso. Se realizaron pruebas piloto para validar la efectividad de las soluciones propuestas y realizar ajustes en función de los resultados obtenidos. Este enfoque permitió seleccionar las mejores prácticas y adoptar los cambios que realmente beneficiaban al proceso de producción de poliuretano.

Entre las mejoras implementadas se incluyó la capacitación del personal, fundamental para asegurar que todos los operadores comprendieran y aplicaran correctamente los nuevos procedimientos. La formación estuvo orientada a estandarizar los métodos de trabajo, reducir la variabilidad en la manipulación de materiales y mejorar la precisión en las etapas críticas del proceso. Esta acción fue respaldada por la filosofía Lean Manufacturing, que destaca la importancia de empoderar a los empleados para que contribuyan a la sostenibilidad de las mejoras.

Asimismo, se establecieron procedimientos operativos estándar que detallan cada etapa del proceso. Estos procedimientos se documentaron mediante guías visuales y prácticas de trabajo, lo cual ayuda a reducir la variabilidad en la producción y asegura una ejecución constante de las operaciones. La implementación de estos estándares operativos no solo mejora la eficiencia del proceso, sino que también facilita el seguimiento y control de las mejoras en el tiempo.

3.5 Fase Controlar

La fase de Control asegura que las mejoras implementadas sean sostenibles a largo plazo. Se establecieron procedimientos estandarizados, listas de verificación y gráficos de control para supervisar las variables críticas del proceso, tales como la temperatura de curado y el tiempo de prensado. Estos instrumentos de control permiten detectar cualquier desviación y aplicar correcciones de inmediato, previniendo que los problemas se intensifiquen (Montgomery, 2019).

Para evaluar la efectividad de las mejoras, se realizaron auditorías internas y reuniones periódicas de seguimiento con el equipo de producción. Estas auditorías permitieron verificar que los nuevos procedimientos fueran respetados, además de servir como una herramienta de retroalimentación para detectar áreas adicionales de mejora. Las reuniones periódicas

proporcionaron un espacio para la revisión de resultados y ajustes de las estrategias, en sintonía con el ciclo de mejora continua PDCA (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar) descrito por Deming (1986).

Por último, se documentaron todas las lecciones aprendidas a lo largo del proceso de mejora, lo cual permitió la creación de manuales de procedimientos estandarizados para futuros proyectos. Estos documentos, junto con los indicadores de control establecidos, aseguran la continuidad de las mejoras, estableciendo una base de conocimiento que facilita la transferencia de buenas prácticas a otros procesos de la organización.

CAPITULO IV – IMPLEMENTACION DE LA METODOLOGIA

En este capítulo, se presentan los resultados obtenidos en cada una de las etapas contenidas en la metodología DMAIC aplicada en la implementación de este proyecto. Estas etapas son herramientas importantes a través de las cuales se identificaron las áreas de alto desperdicio en el proceso de producción de poliuretano, las estrategias para mejorar, y los métodos a implementar para mantener los cambios a largo plazo.

Cada sección de este capítulo resume las conclusiones, mostrando cómo los datos y el análisis recopilado llevaron a una comprensión óptima de los problemas en el proceso y, por lo tanto, a las mejores soluciones. La fase Definir enmarcó las metas del proyecto, la Medir proporcionó datos sobre el proceso actual, seguidas de analizar que identificaron los factores raíces que conllevaron a los altos niveles de desperdicio. El Mejorar vino con métodos y soluciones seguidas de controles en fase de Control para mantener los cambios positivos realizados. Todos los resultados en este proyecto marcan un paso para lograr la eficiencia operativa de la empresa a través de la reducción de los costos y la mejora continua de la calidad.

Este capítulo destaca los logros de cada uno de los resultados a las diversas metas establecidas, ofreciendo una visualización clara y concisa de cómo se cumplió cada meta.

4.1 Definir

La generación persistente de residuos y el incumplimiento de estándares de calidad han resultado en múltiples irregularidades en el proceso de producción, tanto durante como después de su ejecución. Estas irregularidades han ocasionado un aumento en los costos de producción, lo cual afecta los márgenes de utilidad de la empresa. Con la creciente demanda de productos, se ha notado un aumento considerable en el volumen de residuos generados en la fabricación de poliuretano. Este incremento en los residuos se debe principalmente a que, debido a su composición química, el poliuretano no puede ser reutilizado o re-trabajado una vez que ha sido procesado.

La falta de documentación y de procedimientos establecidos ha complicado la identificación de las fallas dentro del área de producción. Actualmente, los operadores realizan sus tareas apoyándose en su experiencia previa o en métodos empíricos, lo cual no ha sido suficiente para controlar el desperdicio de material de manera efectiva. Esta situación se ha mantenido

desde la creación del departamento, ya que el proceso fue iniciado sin contar con metodologías estructuradas ni fórmulas específicas, lo que ha contribuido a perpetuar las deficiencias en la gestión del material.

Para enfrentar este reto, se realizó un análisis detallado con el fin de identificar los productos de mayor demanda y consumo de materia prima, permitiendo comprender su impacto en la generación de residuos. Este análisis proporciona una base sólida para orientar los esfuerzos de optimización hacia aquellos productos que representan un uso significativo de recursos y, por tanto, una oportunidad crítica de mejora.

4.1.1 Definir el problema

La empresa fabrica una gama variada de productos destinados a diferentes clientes, lo cual implica variaciones en los requerimientos de materia prima. Para identificar aquellos productos que tienen una mayor frecuencia de venta y consumo de insumos, se revisaron los datos de producción anual, resultando en la selección de los 10 productos con mayor demanda, los cuales se muestran en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Productos que tienen mayor demanda
Fuente: Elaboración propia

Productos	Frecuencia de compra al año	No. Piezas x pedido	Total de piezas al año	Cantidad de prepolimeros x pieza (gr)	Cantidad de curativo x pieza (gr)	Cantidad de pigmento x pieza (gr)	Total de materia x pieza (gr)	Total de materia prima al año kg
Producto 1	10	100	1000	524	76	30	630	630
producto 2	10	150	1500	349	51	20	420	630
producto 3	8	100	800	44	6	2.5	52.5	42
producto 4	8	60	480	43	7	2.5	52.5	25.2
producto 5	8	80	640	279	71	17.5	367.5	235.2
producto 6	5	5	25	1743	256	99.95	2098.95	52.47375
producto 7	5	2	10	876	124	50	1050	10.5
producto 8	6	2	12	1440	160	80	1680	20.16
producto 9	3	2	6	3051	449	175	3675	22.05
producto 10	2	2	4	3377	523	195	4095	16.38

A continuación, en la Figura 4.1, se presenta un Diagrama de Pareto que ilustra el consumo de materia prima entre los productos seleccionados. Este diagrama revela que una minoría de productos, particularmente el Producto 1 y el Producto 2, representan el 74.8% del total de materia prima utilizada. Este resultado sigue el principio de Pareto, el cual indica que una gran proporción de los efectos proviene de un número limitado de causas. En este caso, un pequeño grupo de productos consume la mayoría de los materiales.

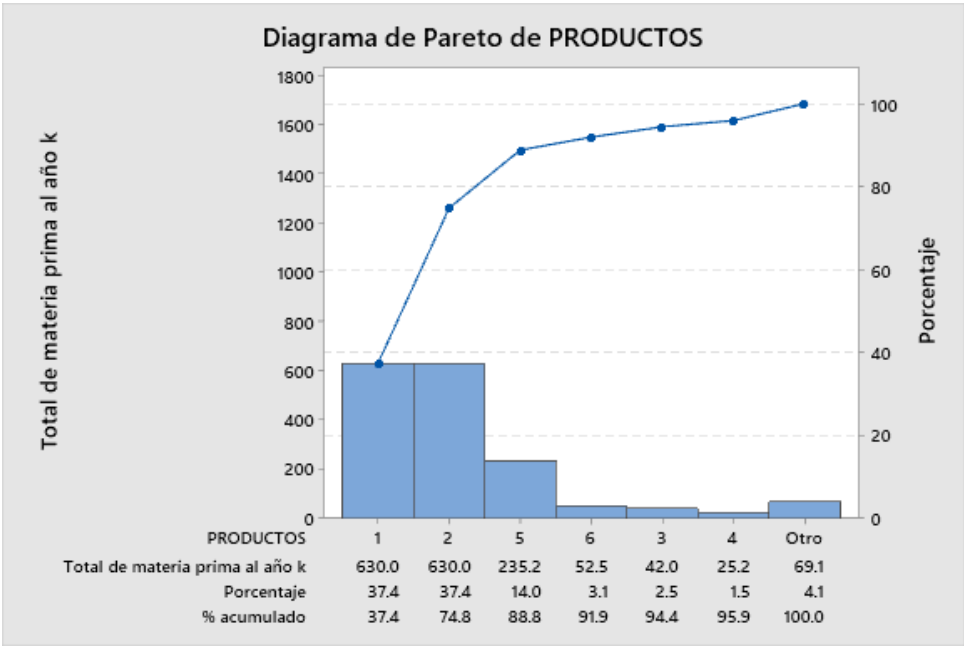


Figura 4.1 Diagrama de Pareto
Fuente: Fuente: Elaboración propia

El uso de esta herramienta permite priorizar los recursos y dirigir los esfuerzos de mejora hacia aquellos productos que presentan el mayor consumo de insumos, maximizando así la eficiencia en la producción. Además, esta estrategia contribuye a reducir costos y minimizar residuos, lo cual es fundamental para mejorar la sostenibilidad operativa y alinearse con principios de manufactura esbelta.

A fin de enfrentar exitosamente este desafío, se ha empleado un enfoque asentado de la metodología SMART para definir y organizar los objetivos del proyecto. Esta metodología permite establecer metas alcanzables específicamente conexos a las necesidades estratégicas del proyecto, lo que garantiza que se prioricen todas las acciones hacia resultadas tangibles. Los objetivos del proyecto se muestran en la Figura 4.2.

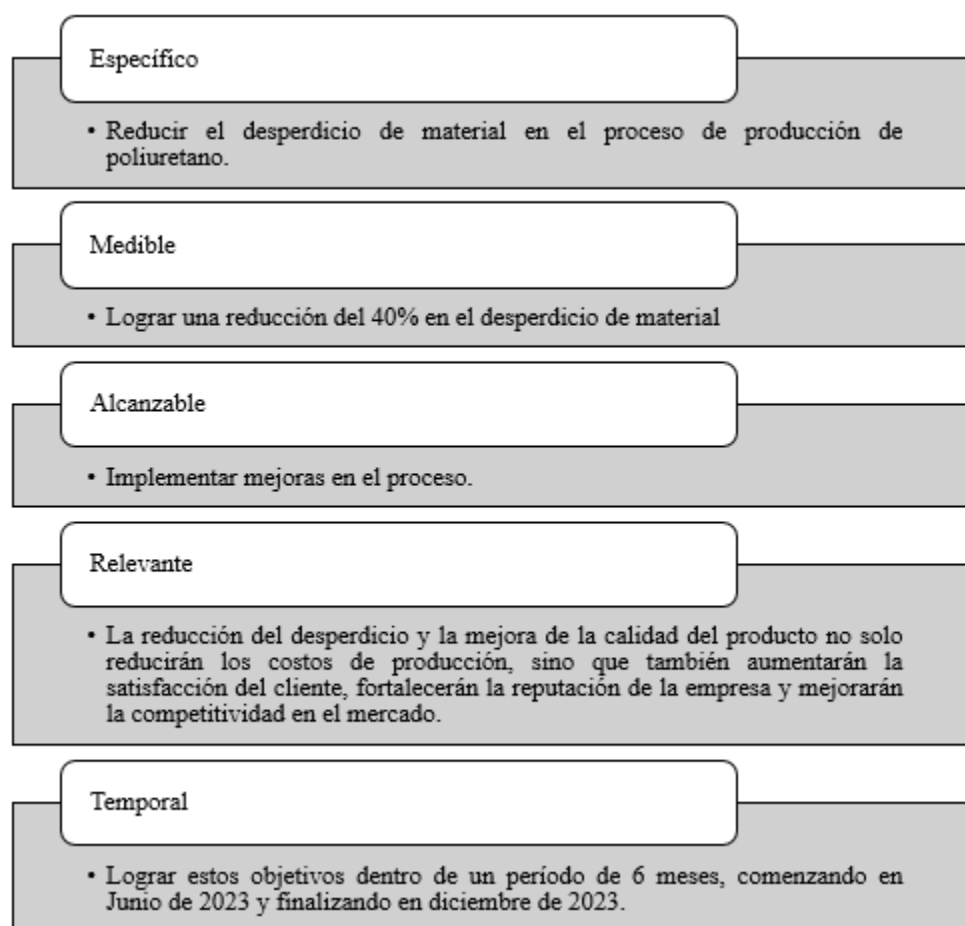


Figura 4.2 Objetivos SMART
Fuente: Fuente: Elaboración propia

4.1.2 Identificación de los Stakeholders

El éxito de cualquier proyecto depende en gran medida de la identificación y gestión efectiva de los stakeholders; es decir, todas aquellas personas, departamentos, y entidades que tienen un interés en el proyecto o la capacidad de influir en su desarrollo y resultados. Por lo tanto, en el contexto del proyecto mencionado con la reducción del desperdicio en la producción de poliuretano en “Empresa de sellos y empaques industriales”, es importante describir quiénes son y diferenciar qué nivel de poder e interés tienen en relación con el proyecto.

Los stakeholders pueden variar desde los empleados de producción que tienen contacto directo en la operación de las máquinas hasta la alta dirección que controla cómo se ejecuta el proyecto. También, los departamentos internos y los proveedores de materias primas

desempeñan un papel crucial en el suministro de insumos y el apoyo a las innovaciones dirigidas. De esta manera, el manejo de los stakeholders es esencial para asegurarse una participación activa y el apoyo necesario, así como alinear a todas las partes implicadas con los objetivos del proyecto. Es fundamental para evitar la resistencia al cambio innecesaria, aumentar la eficiencia de la implementación y asegurarse de que los cambios sean sostenibles.

En la tabla 6 se presenta detalladamente los principales stakeholders identificados para este proyecto y estrategias de manejo para involucrarlas en el proceso de implementación.

Tabla 4.2 Priorización de Stakeholders

Fuente: Elaboración propia

Stakeholders	Poder	Interés	Estrategia de Gestión
Departamento de producción	Alto	Medio	Comunicación frecuente y detallada. Participación en revisión de mejoras y estándares de calidad.
Gerencia de Planta	Alto	Alto	Involucramiento directo en la supervisión, con un canal abierto para retroalimentación.
Empleados de Producción	Bajo	Bajo	Reuniones periódicas y sesiones de retroalimentación para recoger aportes y asegurar compromiso.
Departamento de RR.HH.	Bajo	Medio	Comunicación sobre necesidades de capacitación para apoyar el cambio y su impacto en la cultura organizacional.
Proveedores de Materias Primas	Medio	Bajo	Comunicaciones esporádicas sobre cambios en especificaciones y necesidades de materiales.

4.1.3 Carta Proyecto

La Carta del Proyecto define los elementos fundamentales para llevar a cabo la reducción de desperdicio en la producción de poliuretano, proporcionando claridad sobre los objetivos y recursos necesarios. Este documento constituye una referencia común para todos los stakeholders, asegurando que exista un entendimiento compartido de las metas a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

En la carta se plantea el caso de negocio, explicando cómo el elevado consumo de materia prima en los productos de mayor demanda ha resultado en costos adicionales, incluyendo la contratación de servicios externos para la gestión de desechos. Si este problema no es abordado, los márgenes de utilidad de la empresa seguirán viéndose comprometidos, afectando su competitividad en el mercado.

Los objetivos del proyecto han sido formulados con el método SMART, estableciendo la meta de reducir el desperdicio en un 10% para diciembre de 2023. Además, la carta incluye los recursos asignados y el cronograma de actividades para cada fase de la metodología DMAIC, garantizando que los esfuerzos estén alineados con los objetivos estratégicos y que las mejoras implementadas sean sostenibles.

Tabla 4.3 Carta Proyecto
Fuente: Fuente: Elaboración propia

BB/GB Name :		Update:		Update #
División:	Site:	Project Type:	SiSi Type:	
BU:	Plant:			
Project Title:	Reducción de Desperdicio en la Producción de Poliuretano en Empresa de sellos y empaques industriales			
PROJECT CHARTER				
Business Case / Project Description: (reasoning behind project / relation to business objectives / consequences if project is not done)				
La línea de producción de poliuretano en "Empresa de sellos y empaques industriales " enfrenta desafíos significativos debido alto consumo de material en producto 1 y 2 , este genera costos de producción elevados y algunos adicionales como pago a una empresa externa que se lleve los desechos. Sino se resuelve los márgenes de utilidad son bajos además se pone en juego su competitividad.				
Problems: (SMART: Specific, Measureable, Agreed to, Realistic, Time bound)		Goals: (SMART: Specific, Measureable, Agreed to, Realistic, Time bound)		
Se fabrican tantos 630 kilogramos del producto A y B, de los cuales se desperdician 164 kilogramos, que representan 26%		Reducir el desperdicio de material de lo en un 10% para diciembre de 2023.		
Project Resources		Timeline		

Goal (ending dates)			Actual
Support BB Name:		Kick-off 1 de junio de 2023	
MBB Name:	I.Q. María José Castro Pérez	Define Junio de 2023	
Project Champion:	Ing. Carlos Alberto Flores Vidal	Measure Julio de 2023	
Process Owner:	Lic. Carolina Amador	Analyze Agosto de 2023	
Controlling:		Improve Septiembre a octubre de 2023	
		Control Noviembre a diciembre de 2023	
Team Members:	Efraín (operador principal)	Closure 31 de diciembre de 2023	
Authorized by Project Champion:			
Ing. Carlos Alberto Flores Vidal			Signature

4.2 Medir

La sección Medir aborda de forma cuantitativa el problema identificado durante Definir y establece la línea de base para evaluar el rendimiento actual del proceso de producción de poliuretano.

Si bien en la sección anterior se identificaron los productos con mayor impacto en el consumo de material, no se ha cuantificado la cantidad de desperdicios generados, lo que hace que sea imposible ofrecer una estimación exacta de los costos agregados asociados con la eliminación de desechos. Este paso estandariza la medición de los aspectos claves en cuanto al consumo de materias primas y generar subproductos, lo que es esencial para

detectar el rendimiento real del proceso y proporcionar una línea de base para comparaciones futuras.

Primero, los productos A y B se presentaron con mayor detalle y cada una de las etapas se desglosó en los diagramas de flujo mostrados en la Figura 4.3. Los diagramas de flujo muestran las etapas que implica la producción de cada parte desde la entrega del pedido y el diseño de los moldes hasta el almacenamiento del producto terminado.

Tomar este enfoque ayuda a identificar dónde se produce la pérdida y recopilar datos específicos necesarios para calcular la magnitud de los costos asociados con la eliminación de desechos

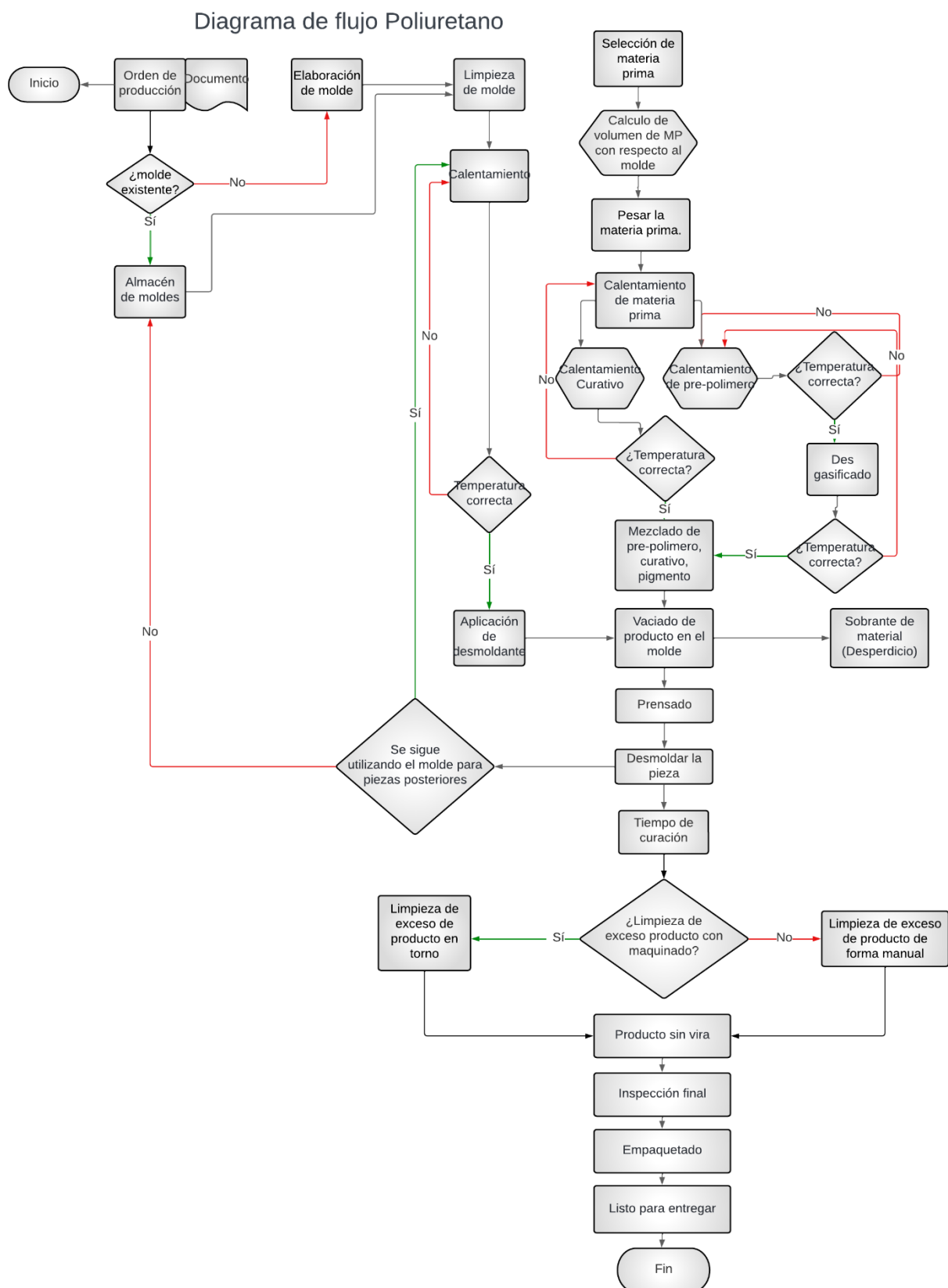


Figura 4.3 Diagrama de flujo del producto A y B
Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.4 y 4.5 se muestra la forma de los productos, estos deben cumplir ciertas características solicitadas por el cliente, quien los utiliza en el proceso de fabricación de papel. Aunque se desconoce en detalle el funcionamiento de estas piezas en dicho proceso, deben cumplir con las siguientes especificaciones:

- Materia: Poliuretano PST-95 A
- Dureza: 95 Shore “A”
- Color: Café

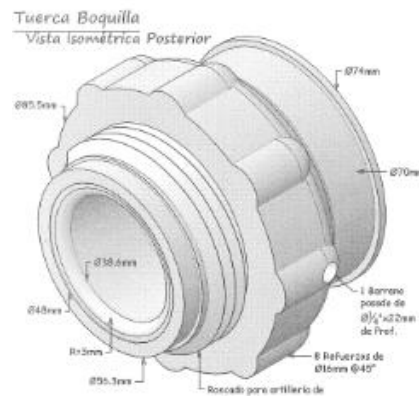


Figura 4.4 Producto A

Fuente: Este dibujo fue proporcionado por cliente X

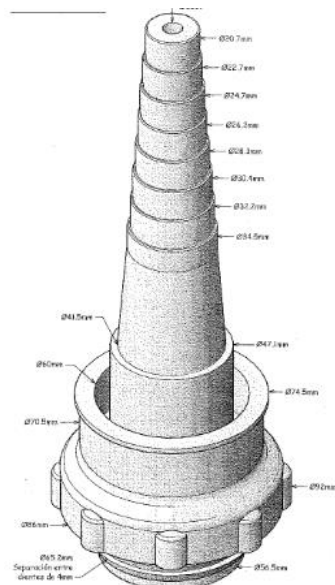


Figura 4.5 Producto B

Fuente: Dibujo proporcionado por usuario

Para evaluar la eficiencia y el uso de recursos en la producción de poliuretano, se identificaron las variables críticas del proceso. En la Tabla 4.4, se agrupan estas variables en tres categorías: Entrada, Proceso y Salida. Cada variable se seleccionó de acuerdo con el flujo de actividades mostrado en la Figura 4.3 y las especificaciones técnicas requeridas para los productos A y B.

Tabla 4.4 Variables del proceso
Fuente: Fuente: Elaboración propia

Variables del proceso de poliuretano	
Entrada	Cantidad de Pre-polimero PST-95 A
	Curativo Moca
	Pigmento
Proceso	Temperatura de pre-polímero
	Temperatura de Curativo
	Tiempo des-gasificado
	Aplicación de desmoldante
	Tiempo de mezclado
	Tiempo de gelado
	Tiempo de prensado
Salida	Peso de la pieza con exceso de materia
	Peso de la pieza sin exceso
	Materia desperdiciada
	Dureza
	Color

4.2.1 Recolección de datos

La recolección de datos en esta fase se realiza mediante un muestreo de conveniencia que abarca 50 piezas de cada producto, A y B, sumando un total de 100 piezas en el análisis. Este tamaño de muestra es adecuado para asegurar que los resultados obtenidos sean representativos y proporcionen una base sólida para los cálculos de capacidad de proceso y análisis de rendimiento. Cada pieza es evaluada en función de su peso, la cantidad de material utilizado y el material excedente.

Para realizar una recolección de datos eficiente y precisa, se creó un formato de registro, el cual se muestra en la Figura 4.6, en esta tabla se documenta diariamente el número de piezas

producidas, el tiempo de producción por pieza, la cantidad de material empleado y el volumen de desperdicio generado. Este formato permite no solo organizar la información de manera clara, sino también detectar variaciones diarias que podrían afectar la consistencia del proceso.

Producto:	Molde:		No. De lote		No. De Piezas		No. Hoja:	
VACIADOS	No. Vaciado		No. Vaciado		No. Vaciado		No. Vaciado	
Jefe de producción:								
Fecha:								
Operador								
Hora:								
Cantidad de pre-polímero PST 95								
Curativo Moca								
Pigmento								
Tiempo de prepa. del molde (min)								
T. del molde (°C)								
T. de pre-polímero (°C)								
T. de curativo (°C)								
Tiempo de des gasificado (min)								
Tiempo de mezclado (min)								
Tiempo de gelado (min)								
Tiempo de prensado (min)								
Tiempo de vaciado (min)								
Tiempo de desmolde (min)								
Tiempo de Post curado (min)								
Peso con vira								
Peso sin vira								
Peso de merma								
Dureza								

Figura 4.6 Hoja de recolección de datos

Fuente: Elaboración propia

En las Tablas 4.5 y 4.6, se muestra el análisis detallado del consumo de materia prima para cada una de las piezas producidas en las categorías de producto A y B. Esta información no solo permite tener una visión general del consumo de materiales, sino que también ofrece una base para calcular los costos asociados al desperdicio en términos de gramos de material no utilizado.

Tabla 4.5 Datos de materia prima consumida del producto A

Fuente: Elaboración propia

DATOS DE ENTRADA (MATERIA PRIMA)		
Materia prima	Cantidad por pieza	Cantidad total
Cantidad de Pre-polímero PST-95 A	305 g	15,250 g
Curativo Moca	45 g	2,250 g
Pigmento	4 g	200 g

Total de materia prima por pieza	354 g	17,700 g
----------------------------------	-------	----------

Tabla 4.6 Datos de Materia prima consumido por pieza del producto B

Fuente: Elaboración propia

DATOS DE ENTRADA (MATERIA PRIMA)		
Cantidad de Pre-polímero PST-95 A	480 g	24000 g
Curativo Moca	70 g	3500 g
Pigmento	6 g	275 g
Total de materia prima por pieza	556 g	27775 g

En las Tablas 4.7 y 4.8, se presenta un desglose de los datos promedio recolectados en el proceso de producción. Estos datos incluyen las temperaturas de los distintos componentes, la dureza del material y el peso de las piezas con y sin excedente. Estos parámetros se monitorean para evaluar la consistencia del proceso y la calidad del producto final.

Tabla 4.7 Datos de las variables del proceso del producto A

Fuente: Elaboración propia

DATOS PROMEDIOS DE LOS DATOS RECOLECTADOS	
No. De pieza total	50
T °C Pre-polímero	89.44
T °C Curativo	113.58
T °C molde	117.32
Dureza	90.998
Perdida de material en gramos	96
Peso de pieza más excedente	254.78
Peso de pieza	252

Tabla 4.8 Datos de las variables del proceso del producto B

Fuente: Elaboración propia

DATOS PROMEDIOS DE LOS DATOS RECOLECTADOS	
No. De pieza total	50
T °C Pre-polimero	89.38
T °C Curativo	133.24
T °C molde	115.22
Dureza	91.198
Perdida de material en gramos	133
Peso de pieza más excedente	422.28
Peso de pieza	416

Estos datos recolectados, se utilizan, para el cálculo de material merma, así como para la realización del mapa de flujo de valor y análisis de capacidad.

4.2.2 Cálculo de material desperdiciado (merma)

El costo de los materiales desperdiciados, o más comúnmente la merma, es crítico para las ineficiencias y costes del proceso. Asimismo, si el desperdicio se identifica y cuantifica, se pueden aplicar estrategias para un desarrollo continuo y el continuo de los recursos su resumen, eliminando los costes de funcionamiento.

A continuación, el proceso y las fórmulas para calcular el desperdicio de los materiales durante la producción de A y B se presentan: Durante la fase de colección de datos, se observó que, después de que la mezcla se vierte al molde, se deja una cantidad significativa de material en el cuenco, ya que, debido a la temperatura o las condiciones físico-químicas, no se puede reutilizar. El poliuretano se cura en el horno. Asimismo, el material excesivo que queda después que se retira la fresa también contribuye al sinnúmero de la merma.

Para obtener el nivel de merma y el impacto subsiguiente, usamos las siguientes ecuaciones:

Ecuación 4.1: Esta fórmula calcula la diferencia entre el peso de la pieza sin exceso y el peso de la pieza con el exceso de material. El resultado representa el material que sobra y no se integra en la pieza final.

$$\begin{array}{l} \textit{Desperdicio excedente} \\ = \textit{peso de la pieza} - \textit{peso de pieza mas excedente} \end{array} \qquad \begin{array}{l} \text{Ecuación} \\ 4.1 \end{array}$$

Ecuación 4.2: Esta ecuación suma la pérdida de material en gramos (que queda en el recipiente de mezclado) y el desperdicio excedente calculado anteriormente, proporcionando una visión completa del total de material desperdiciado por pieza.

$$\begin{array}{l} \textit{Desperdicio total} \\ = \textit{Pérdida de material en gramos} \\ + \textit{desperdicio excedente} \end{array} \qquad \begin{array}{l} \text{Ecuación} \\ 4.2 \end{array}$$

Ecuación 4.2: Esta fórmula calcula el porcentaje de desperdicio con respecto al peso total de la materia prima utilizada para producir una pieza. Este porcentaje es crucial para evaluar la eficiencia del proceso y para compararlo con los estándares de la industria o con metas internas de reducción de desperdicio.

$$\%de\ desperdicio = \frac{Peso\ de\ pieza}{Peso\ de\ materia\ prima\ total} \quad \text{Ecuación 4.3}$$

Con los datos recolectados anteriormente para los productos A y B, se utilizaron las fórmulas presentadas anteriormente para obtener cuánto es el desecho promedio por pieza, en las Tablas 4.9 y 4.10, y cómo se muestra para el producto A y B:

Tabla 4.9 Resumen de resultados promedios de desperdicio producto A por pieza
Fuente: Elaboración propia

Datos Promedios del producto A	
Desperdicio excedente (gramos)	2.78
Total de desperdicio (gramos)	99
% De desperdicio	28%

En el caso del Producto A, se observa que el desperdicio excedente, es decir, el material que no se adhiere adecuadamente al producto y permanece en el molde o en recipiente de mezcla, tiene un valor promedio de 2.78 gramos por pieza. Este valor contribuye a un total de desperdicio de 99 gramos, lo cual equivale a un 28% del total de materia prima utilizada. Este porcentaje indica que existe una oportunidad de reducir el desperdicio para hacer el proceso más eficiente y reducir los costos asociados al uso de insumos.

Tabla 4.10 Resumen de resultados promedios de desperdicio producto B por pieza
Fuente: Elaboración propia

Datos Promedios del producto B	
Desperdicio excedente (gramos)	6.28
Total de desperdicio (gramos)	140
% De desperdicio	25%

Para el Producto B, el desperdicio excedente presenta un valor promedio de 6.28 gramos por pieza, reflejando una mayor cantidad de material no aprovechado en comparación con el Producto A. El total de desperdicio asciende a 140 gramos, lo que representa el 25% de la materia prima empleada en la producción de este producto. Esta cifra es significativa, ya que un cuarto de los materiales usados se pierde en el proceso, subrayando la necesidad de optimizar tanto el manejo como la eficiencia de los insumos.

4.2.3 Mapa de flujo de valor

Durante la recolección de datos, se estableció el formato a utilizar para el registro, detallando el número de piezas producidas con el paso de los días, tiempo para la fabricación de cada pieza, material consumido, material desperdiciado, y demás.

Al tratar con un proceso, es relevante tener un panorama concreto de, para poder elaborar un mapa de flujo de valor, para tomar las mediciones en este proceso, en la tabla 4.11 se analizan los procesos y subprocesos que se hacen para tener una pieza para el producto A y B, con el motivo de que sea más fácil el estudio de tiempos y sea más representativo para el VSM.

Tabla 4.11 Procesos que fueron medidos
Fuente: Elaboración propia

ACTIVADES DEL PROCESO Y SUBPROCESO DE LA PIEZA A Y B	
Proceso	Sub-proceso
Preparación del molde	Selección de molde
	Limpieza
	Aplicación de des-moldante
	Calentamiento del molde
	Subtotal
Preparación de MP	Selección de MP
	Calculo de MP
	Pesar la MP
	Subtotal
Proceso de mezclado	Calentamiento Pre-polímero, Curativo y pigmento
	Des-gasificado del pre-polímero

	Mezclado de MP
	Vaciado de la mezcla al molde y gelado
Moldeado	Prensado
Des-moldado	Retiro del molde, obtención de la pieza
Limpieza	Se limpia la pieza de todo el exceso de material
Curado	Horneado de pieza
Empaquetado	Empaquetado de pieza

En la Tabla 4.12, se presentan las actividades que contribuyen directamente al valor del producto final. Estas tareas son esenciales para cumplir con los estándares de calidad y optimizar el proceso. Por ejemplo, la fase de Preparación incluye el desgaseado del material y la mezcla de los componentes, operaciones que aseguran que el poliuretano tenga una textura homogénea y que esté libre de burbujas de aire, condiciones necesarias para alcanzar la dureza y el acabado requeridos. Asimismo, el Transporte y las Instrucciones detalladas son fundamentales para evitar errores de fabricación y garantizar que cada paso se realice de acuerdo con las especificaciones técnicas del cliente.

Tabla 4.12 Actividades contributivas para ambos productos A y B
Fuente: Elaboración propia

ACTIVIDADES CONTRIBUTIVAS	
Actividad	Descripción
Instrucciones	Indicaciones y especificación para el desarrollo de la pieza
Transporte	Movimiento de la pieza o molde al siguiente proceso
Preparación	Temperaturas, des gasificado, mezclado, vaciado

La Tabla 4.13 recoge las actividades que no contribuyen directamente al valor del producto, las cuales representan oportunidades para reducir tiempos improductivos. Entre estas, el Tiempo Ocioso y los Tiempos de Espera destacan como factores significativos que pueden generar retrasos en la producción. La falta de una supervisión constante y la dependencia de materiales o instrucciones pueden hacer que el operador se encuentre inactivo, lo que a su vez reduce la eficiencia general del proceso. Además, el Transporte sin Valor se origina

cuando los materiales o herramientas son movidos innecesariamente debido a una disposición de equipos y estaciones que no favorece la fluidez del proceso, lo cual se traduce en una pérdida de tiempo y en un desgaste de los recursos humanos.

Tabla 4.13 Actividades no contributivas para ambos productos A y B
Fuente: Elaboración propia

ACTIVIDADES NO CONTRIBUTIVAS	
Actividad	Descripción
Tiempo de ocioso	Falta de supervisión, actitud del operador, toma de decisiones con respecto al trabajo, charlas.
Espera	De materia prima, de molde, falta de instrucciones
Descanso	Cansancio
Necesidades fisiológicas	Ir al sanitario, hidratación
Transporte	Falta de equipos, mala distribución de los equipos

Para visualizar de manera clara la distribución de tiempo entre las actividades contributivas y no contributivas, se creó una representación gráfica en la Figura 4.7. Este análisis del tiempo permite identificar en qué medida las actividades productivas (de valor agregado) y no productivas (sin valor agregado) afectan el proceso de producción. La Figura 10 muestra un desglose de los tiempos promedio para cada categoría de actividad en minutos, permitiendo una evaluación detallada del impacto de cada proceso.

Proceso	Productivo	Contributivas				No contributivas					TOTAL
	Proceso	Instrucciones	Transporte	Medicion	Preparacion	Tiempo de ocioso	Espera	Descanso	Necesidades	Transporte	
Preparación del molde	22	5	3	0	4	6	0	3	0	3	46
Preparación de MP	10	2	2	2	0	4	0	1	0	2	23
Calentamiento	10	-	1	3	1	1	2	-	-	-	18
Desgasificado	7	-	-	-	-	-	-	-	-	1	8
Mezclado	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Vaciado y gelado	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8
Moldeado	30	-	-	-	-	2	-	-	-	-	32
Des-moldado	8	-	1	-	2	1	-	-	-	-	12
Limpieza	5	-	-	-	-	3	-	2	5	-	15
Curado	960	-	-	-	-	-	-	-	-	-	960
Empaquetado	2	-	-	-	-	-	5	2	-	-	9
Total	1063	7	7	5	7	17	7	8	5	6	1123

Figura 4.7 Datos tomando en cuenta los tiempo productivos, no productivos, y contributivo para la pieza A y B, tiempo en minutos

Fuente: Elaboración propia

La Figura 10 ilustra que las actividades de Preparación del Molde y de Curado son los procesos que consumen la mayor parte del tiempo total de producción. Esto puede deberse a la preparación precisa que requiere el molde para recibir el material de poliuretano y al tiempo de curado necesario para que el material adquiriera las propiedades mecánicas adecuadas. Las actividades no contributivas, por otro lado, se concentran principalmente en tiempos de espera y transporte, lo cual sugiere una oportunidad de optimización mediante una reestructuración de la distribución de estaciones de trabajo y una mejora en la organización del flujo de materiales.

la Tabla 4.14 revela que, si bien la mayor parte del tiempo está destinada a actividades productivas y contributivas, los tiempos no contributivos ocupan un porcentaje significativo en ciertos procesos. La reducción de estos tiempos no productivos, especialmente en actividades como la preparación de materias primas, el empaquetado y la limpieza, podría mejorar considerablemente la eficiencia general del proceso. Esta información es clave para las etapas siguientes de mejora en el proyecto DMAIC, donde se implementarán estrategias para reducir el desperdicio de tiempo y optimizar el flujo de trabajo en la producción de los productos A y B.

Tabla 4.14 Resumen de datos de tiempos en segundos del proceso

Fuente: Fuente: Elaboración propia

Proceso	Productivo	Contributivas	No Contributivas
Preparación del molde	10560	5760	5760
Preparación de MP	4800	2880	3360
Proceso	12480	2400	504
Moldeado	14400	0	2
Des-moldado	3840	1440	1
Limpieza	2400	0	4800
Curado	57600	0	0
Empaquetado	960	0	3360

Ahora bien, para realizar el Mapa de Flujo de Valor (VSM), se debe de medir el tiempo Takt muestra el ritmo de producción con respecto a la demanda del cliente y el ciclo de tiempo el cual permite saber el tiempo efectivo para emplear una tarea.

En la ecuación 4.4 se muestra la forma correcta de calcular el tiempo takt

$$Tiempo\ Takt = \frac{tiempo\ de\ producción\ disponible}{Demandan\ del\ cliente} \quad \text{Ecuación 4.4}$$

Para el ciclo de tiempo se utiliza la ecuación 4.5

$$CT = \frac{tiempo\ total\ de\ producción}{Numero\ de\ unidades\ producidas} \quad \text{Ecuación 4.5}$$

La Tabla 4.15 presenta un resumen de los datos de demanda del cliente y del tiempo efectivo de trabajo disponible en la planta de producción. Estos valores son fundamentales para calcular el Tiempo Takt y el Ciclo de Tiempo, métricas clave para evaluar la alineación entre la capacidad de producción y las necesidades del cliente. El Tiempo Takt determina el ritmo de producción que debe seguirse para satisfacer la demanda, mientras que el Ciclo de Tiempo proporciona una medida del tiempo necesario para completar una pieza en cada proceso.

Tabla 4.15 Resumen de datos de demanda
Fuente: Elaboración propia

Datos de demanda		
Demanda del Cliente por semana	40	piezas
Demanda del cliente por día	9	Piezas
Días Laborados	5	días
Día de Trabajo	540	minutos
Tiempo no Productivo	296	minutos

En base a los datos, se puede obtener el tiempo takt con ayuda de la ecuacion 4, entonces tenemos que:

$$Tiempo\ Takt = \frac{540\ minutos}{9\ piezas}$$

$$Tiempo\ Takt = 60\ min/pieza$$

La Tabla 4.16 presenta el tiempo total en segundos y minutos que se invierte en cada proceso de producción en un día de trabajo. Este desglose de tiempos es fundamental para comparar la duración de cada etapa del proceso y para identificar los puntos críticos que podrían beneficiarse de mejoras en términos de eficiencia.

Tabla 4.16 Datos del tiempo total por casa proceso en la producción diaria
Fuente: Elaboración propia

Proceso	Total en seg	Total en min
Preparación del molde	22080	368
Preparación de MP	11040	184
Proceso	15384	256
Moldeado	14402	240
Des-moldado	5281	88
Limpieza	7200	120
Curado	57600	960
Empaquetado	4320	72

Con los datos presentados en la tabla 4.16, se pueden sustituir en la ecuación 5, la cual es para calcular el ciclo de tiempo, ejemplo para el proceso 1 que es preparación del molde, se sabe que el tiempo total de producción es de 368 min o 22080 segundos, y el número de unidades producidas por día es de 9 piezas, entonces se tiene:

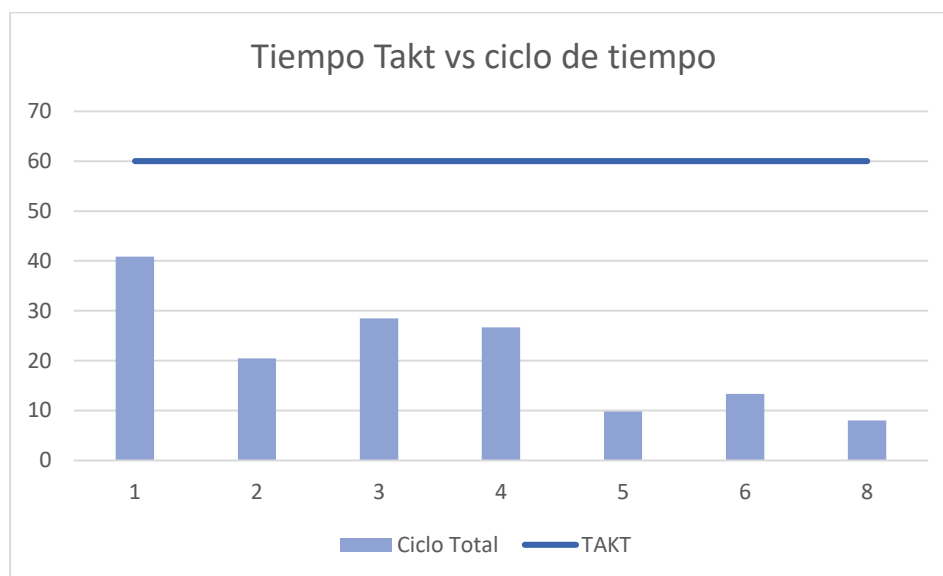
$$CT = \frac{368 \text{ minutos}}{9 \text{ piezas}} = 41 \text{ min por pieza}$$

En la tabla 4.17 se muestran los resultados de los demás procesos

Tabla 4.17 Resultados de ciclo de tiempo para cada proceso
Fuente: Elaboración propia

No. procesos	Descripción	Tiempo en min
1	Preparación del molde	41
2	Preparación de MP	20
3	Proceso	28
4	Moldeado	27
5	Des-moldado	10
6	Limpieza	13
7	Curado	107
8	Empaquetado	8

Con el tiempo takt y los datos obtenidos en la tabla 19 se realiza un análisis detallado de la situación del flujo de proceso, en la gráfica 1 se representa la situación actual de proceso con respecto a tiempos.



Gráfica 4.1 Tiempo Takt vs ciclo de tiempo
Fuente: Elaboración propia

Para comprender la eficiencia de cada etapa del proceso de producción y su alineación con la demanda del cliente, se ha calculado el ciclo de tiempo total por pieza, la capacidad de producción diaria en piezas y el porcentaje de carga para cada operación. La Tabla 4.18 ofrece un resumen de estos parámetros, mostrando cómo cada proceso se desempeña en términos de tiempo y capacidad.

Tabla 4.18 Resumen de datos de capacidad
Fuente: Elaboración propia

Resumen en segundos			
Nombre de la Operacion	Tiempo Ciclo Total por Pieza (j)	Capacidad de producción (pzs diarias) $M = K / J$	Capacidad de producción (% de carga) L / M
Preparacion del molde	2453	13.21	68%
Preparacion de MP	1227	26.41	34%
Procedimiento	1709	18.95	47%
Moldeado	1600	20.25	44%
Des-moldado	587	55.22	16%

Limpieza	800	40.50	22%
Empaquetado	480	67.50	13%

Para una representación visual de cómo fluye el proceso de producción y dónde se presentan cargas o desperdicios, se ha desarrollado un Mapa de Flujo de Valor (VSM). En la Tabla 4.19, se detallan los tiempos de ciclo, la capacidad de producción y el porcentaje de carga necesario en cada uno de los ocho procesos, mostrando el impacto en el rendimiento del sistema.

Tabla 4.19 Resultado del VSM

Fuente: Elaboración propia

Datos de mapa de flujo de valor								
Descripción	Proceso 1	Proceso 2	Proceso 3	Proceso 4	Proceso 5	Proceso 6	Proceso 7	Proceso 8
Tiempo de Ciclo	2453	1227	1709	1600	587	800	6400	480
Capac. de Pzs diarias	13.21	26.41	18.95	20.25	55.22	40.50	5.06	67.50
% Carga necesaria	68%	34%	47%	44%	16%	22%	178%	13%
% Desperdicio de materia (merma) Producto A			28.0%					
% Desperdicio de materia (merma) Producto B			25.0%					

La Tabla 4.19 destaca la capacidad de cada proceso en piezas por día y el porcentaje de carga requerida para satisfacer la demanda. Este análisis, junto con la información visual en la Figura 11, muestra que la mayoría de los procesos operan dentro de parámetros aceptables en términos de carga, excepto en el Proceso 7. Este proceso presenta un porcentaje de carga del 178%, indicando que supera la capacidad disponible y representa un cuello de botella crítico, cabe destacar que aunque este proceso tiene un porcentaje alto, es capaz, ya que, se curan muchas piezas no solamente una.

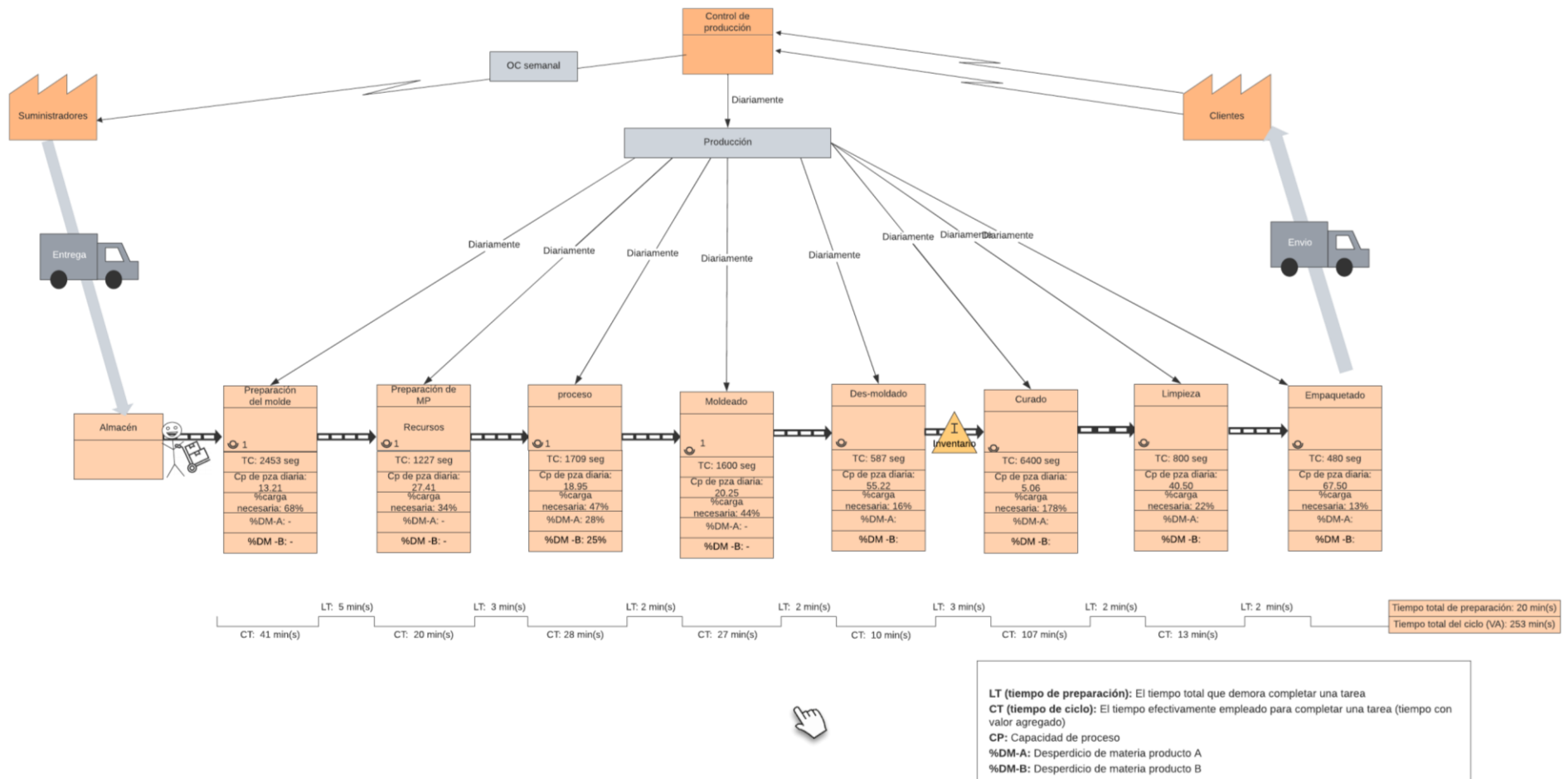


Figura 4.8 Mapa de flujo de valor del proceso de producción para producto A y B
Fuente: Elaboración propia

4.2.4 Análisis de Capacidad

El análisis de capacidad de un proceso es esencial para evaluar su capacidad de cumplir consistentemente con las especificaciones y requerimientos del cliente. En esta sección, se realiza un análisis detallado de capacidad para los productos A y B con enfoque en dos factores clave: el desperdicio de material y la dureza. Esta evaluación es crucial para identificar áreas de mejora en el proceso de producción y para asegurar que la empresa mantenga altos estándares de calidad y eficiencia.

4.2.4.1 Producto A- Desperdicio de material

En estudios anteriores, se determinó que el proceso de producción del producto A presenta un desperdicio de material del 28%, lo cual representa una pérdida de 101.78 gramos por pieza. Este nivel de desperdicio es significativamente alto, considerando que el objetivo ideal para el proceso es no exceder el 10% de pérdida de material, lo cual es un valor considerado aceptable dadas las características del proceso.

Datos y Especificaciones

Para comprender mejor el rendimiento del proceso y determinar la capacidad de producción, se establecieron tres puntos de referencia para el desperdicio de material, representados en la Tabla 4.20 un límite inferior (sin desperdicio, idealmente), un límite superior (10% de desperdicio, considerado aceptable), y un objetivo intermedio de 5%. La intención de estos límites es proporcionar un rango de variabilidad permisible para el desperdicio que permita mantener la eficiencia en la producción.

Tabla 4.20 Datos de % de desperdicio de materia en el producto A en gramos
Fuente: Elaboración propia

Peso de la pieza	Datos en gramos			
	Limite inf	Objetivo	Lim sup	Dato real
	0% de desperdicio	5% de desperdicio	10% de desperdicio	% real de desperdicio
252	0	13	25	140

En esta tabla, se observa cómo el límite inferior corresponde a una situación de cero desperdicios, lo que representa el estado ideal, aunque no siempre alcanzable debido a la complejidad del proceso. El objetivo de 5% y el límite superior de 10% marcan los valores considerados aceptables en términos de pérdida de material. No obstante, el resultado actual (28%) es un claro indicativo de que el proceso necesita optimización, ya que el desperdicio real es significativamente mayor al objetivo establecido.

Para el análisis de capacidad, se empleó el programa Minitab, que proporcionó dos representaciones gráficas claves para evaluar la capacidad del proceso: una gráfica Xbarra-R y una gráfica de normalidad, las cuales se presentan en las Figuras 4.9 y 4.10.

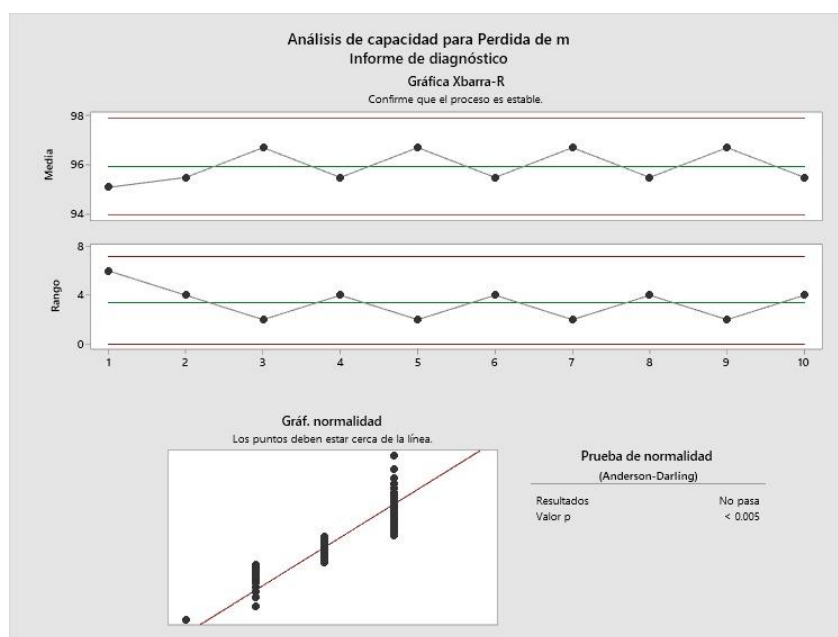


Figura 4.9 Análisis de capacidad con gráficas Xbarra-R y gráfica de Normalidad(producto A)

Fuente: Elaboración propia

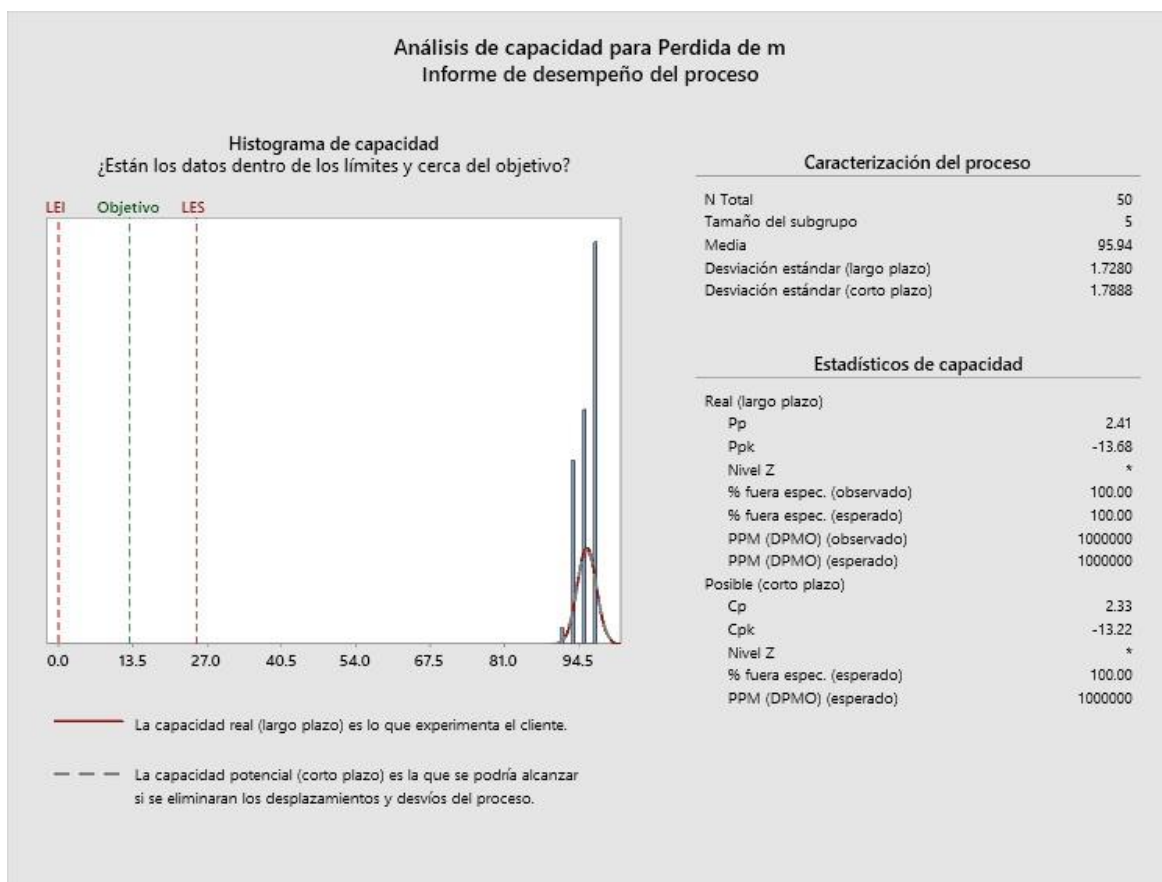


Figura 4.10 Informe de desempeño del proceso, mediante un análisis de capacidad (producto A)

Fuente: Elaboración propia

El Cp obtenido fue de 4.67, un valor extremadamente alto que sugiere que el proceso tiene baja variabilidad y un alto potencial de consistencia. Sin embargo, el Cpk de -20.28 refleja que el proceso está severamente descentrado respecto a los límites de especificación, al punto de que la gran mayoría de las piezas producidas no cumplen con los estándares de calidad. Este valor de Cpk negativo implica una producción altamente ineficiente en términos de cumplimiento de las especificaciones, ya que la media del proceso está completamente fuera del rango deseado. Esta falta de control se traduce en un rendimiento deficiente y en una alta proporción de productos fuera de especificación, que resultan en una considerable cantidad de material desperdiciado.

Toda esta información indica que el proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones deseadas. Esto se representa gráficamente en la Figura 4.11, que muestra la capacidad del proceso para el Producto B, donde también se observa que el proceso está en el nivel más bajo del rango de capacidad.

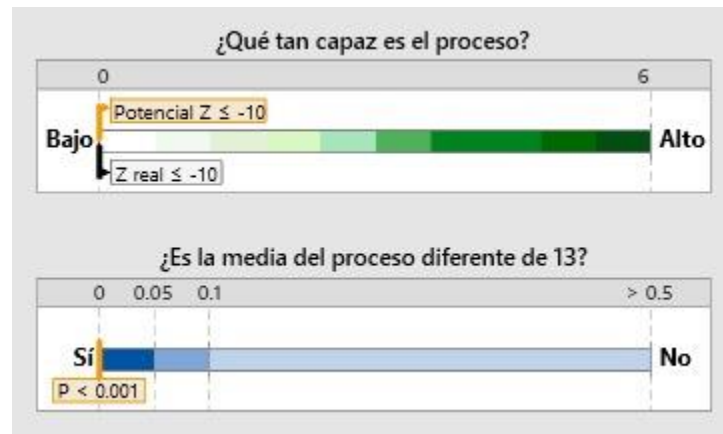


Figura 4.11 Capacidad del proceso producto B
Fuente: Elaboración propia

4.2.4.2 Nivel sigma

Para calcular el nivel sigma de un proceso, se puede utilizar el índice de capacidad del proceso (C_{pk}) y la fórmula correspondiente para convertirlo en el nivel sigma. La relación entre C_{pk} y el nivel sigma (Z) es la siguiente (ecuación 4.6)

$$z = C_{pk} * 3 \quad \text{Ecuación 4.6}$$

En este caso, dado que $C_{pk} = -13.22$:

$$Z = -13.22 * 3$$

$$Z = -39.66$$

Un nivel sigma de -39.66 no es realista ni práctico en términos de calidad del proceso. En cualquier caso, simplemente confirma que el proceso está fuera de control y produce productos no conformes. Este resultado encaja perfectamente con un proceso con un buen potencial teórico, es decir, un alto C_p , pero con una ejecución extremadamente pobre, es decir, un C_{pk} muy bajo y negativo, lo que resulta en una tasa de defectos del 100%.

4.2.4.3 Producto B- Desperdicio de material

Para el producto B, el análisis reveló un desperdicio de material del 25%, lo que equivale a una pérdida de 140 gramos. Este resultado excede el rango aceptable (entre 5% y 10%), lo

cual indica que, al igual que en el producto A, el proceso de producción necesita ajustes significativos para mejorar la eficiencia en el uso del material.

Al igual que con el producto A, se establecieron límites específicos para el desperdicio del producto B. Estos valores se resumen en la Tabla 4.21, proporcionando un marco de referencia que permite comparar el desempeño actual contra los valores ideales y aceptables.

Tabla 4.21 Datos de % de desperdicio de materia en el producto B en gramos
Fuente: Elaboración propia

Peso de la pieza	Datos en gramos			
	Limite inf	Objetivo	Lim sup	Dato real
	0% de desperdicio	5% de desperdicio	10% de desperdicio	% real de desperdicio
416	0	21	42	140

Esta tabla establece que el límite ideal es de cero desperdicios, mientras que el objetivo se define en un 5% y el límite superior en un 10%. El desperdicio actual de 25% muestra que el proceso no se encuentra alineado con las especificaciones, y por tanto, está generando un volumen de desperdicio considerablemente mayor.

El análisis de capacidad se ilustra en las Figuras 4.12 y 4.13 mediante gráficos Xbarra-R y de normalidad, que permiten evaluar la capacidad del proceso de producción para el producto B.

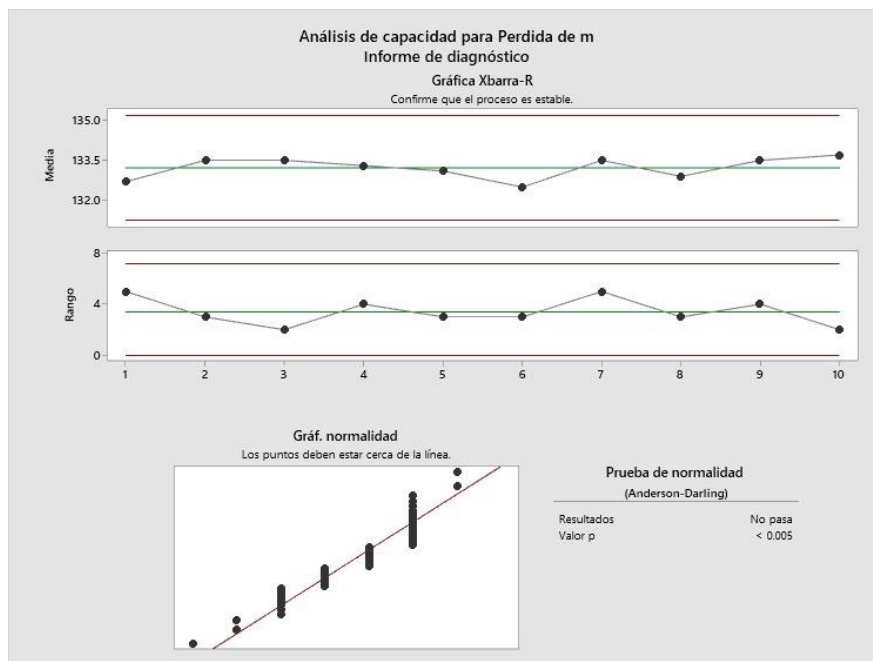


Figura 4.12 Análisis de capacidad con gráficas Xbarra-R y gráfica de Normalidad (producto B)

Fuente: Fuente: Elaboración propia

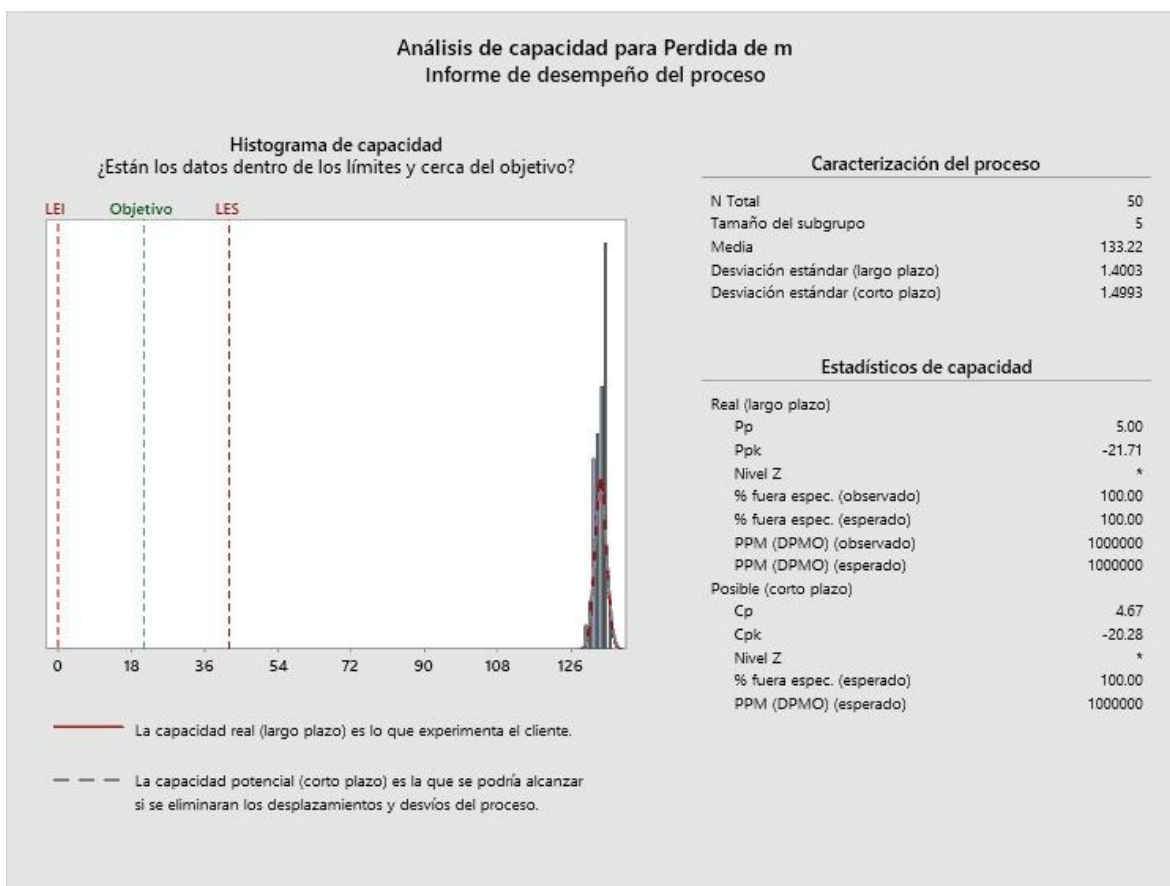


Figura 4.13 Informe de desempeño del proceso, mediante un análisis de capacidad

Fuente: Elaboración propia

El Cp obtenido fue de 4.67, un valor extremadamente alto que sugiere que el proceso tiene baja variabilidad y un alto potencial de consistencia. Sin embargo, el Cpk de -20.28 refleja que el proceso está severamente descentrado respecto a los límites de especificación, al punto de que la gran mayoría de las piezas producidas no cumplen con los estándares de calidad. Este valor de Cpk negativo implica una producción altamente ineficiente en términos de cumplimiento de las especificaciones, ya que la media del proceso está completamente fuera del rango deseado. Esta falta de control se traduce en un rendimiento deficiente y en una alta proporción de productos fuera de especificación, que resultan en una considerable cantidad de material desperdiciado.

En la Figura 4.14 se observa que la capacidad del proceso es muy baja, lo cual reafirma los resultados obtenidos.

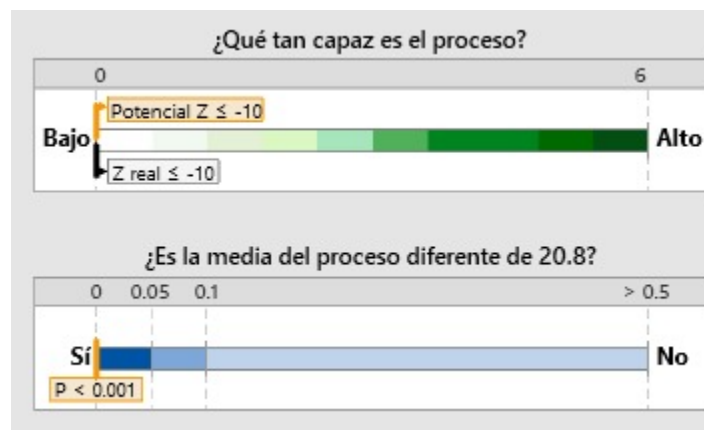


Figura 4.14 Capacidad del proceso producto B
Fuente: Elaboración propia

4.2.4.4 Nivel sigma

En la medición de nivel sigma para el producto B tenemos que $Cpk = -20.28$, siguiendo la ecuación 4, tenemos que

$$Z = -20.28 * 3$$

$$Z = -60.84$$

De igual forma como en el producto A, esto no es un dato realista, por lo cual se confirma que el proceso no tiene capacidad.

4.2.4.5 Dureza

Para evaluar la capacidad del proceso en cuanto a la dureza especificada por el cliente (95 Shore A), se realizó un análisis detallado de los datos obtenidos para ambos productos. La Tabla 26 resume los datos clave del análisis de dureza.

Datos y Especificaciones

En la Tabla 4.22 se presentan los datos recolectados para el estudio de dureza:

Tabla 4.22 Datos de dureza de los productos A y B
Fuente: Elaboración propia

No. de datos	Limite inf	Objetivo	Lim sup	Dato real promedio
100	90	95	100	91

Identificación de la Distribución

Utilizando Minitab, se realizó una prueba de bondad de ajuste para determinar si los datos de dureza siguen una distribución normal, presentados en las Figuras 4.15, 4.16 y 4.17. A través de esta prueba, se encontró que los datos se comportan normalmente, aunque se recomienda una transformación Box-Cox para ajustar cualquier desviación leve.

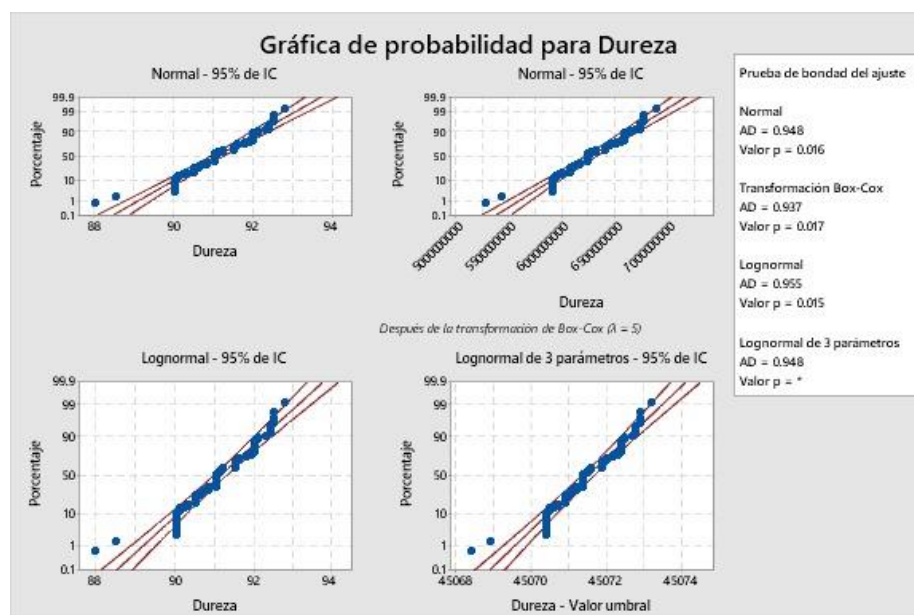


Figura 4.15 Identificación de distribución mediante prueba d bondad de ajuste - Gráficas de probabilidad
Fuente: Elaboración propia

Estadísticas descriptivas

N	N°	Media	Desv.Est.	Mediana	Mínimo	Máximo	Asimetría	Curtosis
100	0	91.098	0.846858	91	88	92.8	-0.532686	1.13242

Figura 4.16 Resumen de datos estadísticos

Fuente: Elaboración propia

Prueba de bondad del ajuste

Distribución	AD	P	LRT	P
Normal	0.948	0.016		
Transformación Box-Cox	0.937	0.017		
Lognormal	0.955	0.015		
Lognormal de 3 parámetros	0.948	*	0.478	
Exponencial	45.063	<0.003		
Exponencial de 2 parámetros	24.900	<0.010	0.000	
Weibull	1.568	<0.010		
Weibull de 3 parámetros	1.157	<0.005	0.074	
Valor extremo más pequeño	1.602	<0.010		
Valor extremo por máximos	3.608	<0.010		
Gamma	0.952	0.018		
Gamma de 3 parámetros	0.991	*	1.000	
Logística	1.032	<0.005		
Loglogística	1.029	<0.005		
Loglogística de 3 parámetros	1.033	*	0.684	

Figura 4.17 Resultados de las pruebas de bondad de ajuste

Fuente: Elaboración propia

Las Figuras 4.15, 4.16 y 4.17 proporcionan un análisis de tipo sobre la distribución de los datos. La figura 19 parece indicar que el comportamiento es aproximadamente normal; sin embargo, considerando la presencia de dos puntos especiales, ambos plantean la hipótesis de que una transformación Box-Cox posible lograría todos los datos se comporten de manera normal. Prueba de Capacidad Con la transformación Box-Cox realizada, una prueba de capacidad utilizando la opción Capability Sixpack del paquete Minitab se llevó a cabo. Tal prueba examina la capacidad y el funcionamiento del proceso de manufactura o producción en términos de dureza. Los resultados se encuentran en la Figura 4.17.

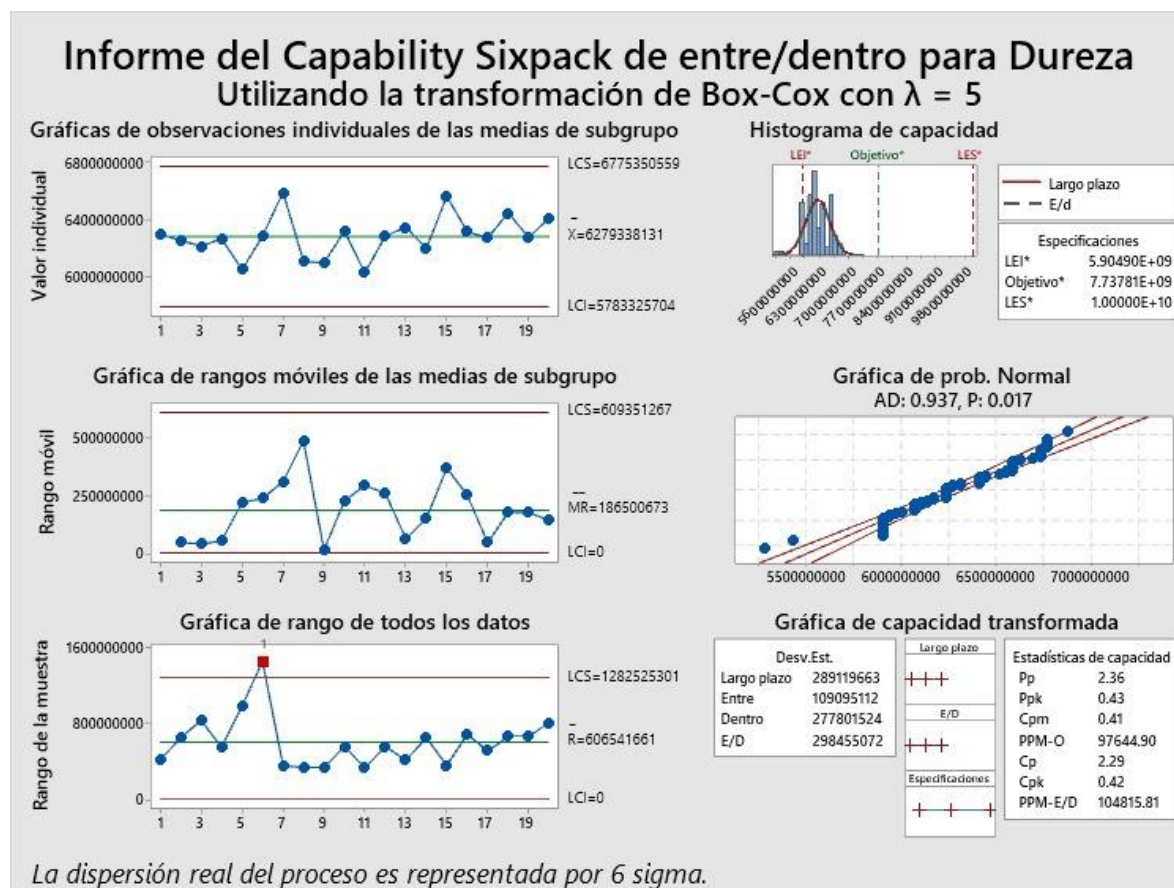


Figura 4.18 Análisis de capacidad para la dureza
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 20, el análisis de capacidad muestra una representación gráfica de los datos recolectados para la dureza de ambos productos. A continuación, se detallan los puntos clave observados en este análisis:

Variabilidad del Proceso (Cp):

El Cp obtenido fue de 2.29, lo cual indica que el proceso de producción tiene una baja variabilidad en relación con los límites de especificación para la dureza. Este valor elevado de Cp implica que el proceso tiene el potencial de cumplir con las especificaciones si estuviera centrado, debido a su capacidad de mantener una dispersión baja y constante.

En términos de calidad, un Cp superior a 1.33 se considera favorable, y un valor de 2.29 sugiere que el proceso tiene un alto nivel de consistencia y que las piezas producidas podrían cumplir con los estándares de dureza si no existiera un problema de centrado.

Centrado del Proceso (Cpk):

El Cpk calculado para la dureza fue de 0.42, lo cual indica que el proceso no está centrado en el objetivo deseado de 95 Shore A. Aunque la variabilidad es baja, el valor bajo de Cpk muestra que el promedio de dureza está desviado hacia el límite inferior, lo cual puede llevar a una proporción considerable de piezas fuera de especificación.

Un Cpk menor que 1.0 refleja que el proceso está desalineado en relación con el valor objetivo, lo que afecta negativamente el cumplimiento de la especificación de dureza en el producto final. Este bajo Cpk sugiere que, a pesar de que el proceso es potencialmente capaz (alto Cp), no cumple con las especificaciones debido a su descentrado.

Distribución de los Datos:

La Figura 20 muestra que los datos de dureza se distribuyen alrededor de la media, pero se observa que varios puntos están fuera de los límites de especificación, especialmente en el lado inferior. Esto confirma que el proceso produce una cantidad significativa de piezas que no cumplen con los estándares de dureza establecidos por el cliente.

La transformación Box-Cox utilizada en este análisis ayudó a reducir la variabilidad y a ajustar los datos hacia una distribución más normal, aunque el proceso en general sigue presentando un problema de centrado.

Proporción de Productos Fuera de Especificación:

En la figura se estima que, en promedio, 108,415.81 partes por millón (ppm) de los productos A y B estarían fuera de las especificaciones de dureza, lo cual es un indicativo de una alta tasa de defectos. Este nivel de defectos sugiere que el proceso actual no es eficiente en términos de cumplimiento de los requisitos de calidad de dureza.

Este nivel de defectos también significa que el proceso no es adecuado para cumplir consistentemente con la especificación de dureza de 95 Shore A, lo que repercute en la calidad final del producto y en la satisfacción del cliente.

Esto se basa en la premisa de que un proceso centrado con una capacidad de 1.0 corresponde a 3 sigma (porque 99.73% de los valores de un proceso normal caen dentro de ± 3 desviaciones estándar).

4.2.4.6 Nivel sigma

Dado que $Cpk = 0.42$ en este caso, se puede calcular el nivel sigma se sustituye la ecuación 4.6 quedando de la siguiente manera:

$$Z = Cpk * 3$$

$$Z = 0.42 * 3$$

$$Z = 1.26$$

Un nivel sigma de 1.26 significa que el proceso está hacia la izquierda de la distribución normal, se coloca lejos de los límites de especificación con una alta variabilidad y baja capacidad efectiva para cumplir con los límites de calidad. Es muy bajo porque los procesos six sigma deberían ejecutarse 4.5 sigma o mejor. Además, se puede inferir el nivel sigma con el número de defectos por millón de oportunidades. Un sigma bajo representa un alto DPMO, donde Sigma 1.26 también promete un DPMO muy alto. Dado, el valor es 108,415.81 defectos por millón.

4.3 Analizar

La fase de análisis en el ciclo DMAIC es clave para desentrañar las causas de fondo que contribuyen a los problemas identificados en las etapas de definición y medición. En este caso, el análisis se centra en las variables de desperdicio de material y dureza en el proceso de producción de poliuretano. El objetivo principal es examinar los datos obtenidos y determinar la raíz de estas irregularidades, colaborando estrechamente con el equipo de trabajo, que incluye al operador a cargo, socios, y el coordinador de producción, quienes brindan sus puntos de vista y experiencia para un diagnóstico más preciso.

Para este análisis, se emplean herramientas como la lluvia de ideas, el diagrama de Ishikawa o de causa y efecto, el método de los Cinco Porqués y la Matriz de Priorización, las cuales ayudan a organizar y profundizar en las posibles causas y a estructurar una solución sistemática y efectiva.

4.3.1 Lluvia de ideas

En primer lugar, se organizó una sesión de lluvia de ideas donde los miembros del equipo compartieron sus observaciones y teorías sobre las causas del desperdicio y la variabilidad

en la dureza del poliuretano. Durante esta reunión, se analizaron los resultados obtenidos en la fase de medición y se debatieron múltiples factores que podrían estar generando estos problemas. La Tabla 4.23 muestra las ideas propuestas por los participantes, clasificados por temas recurrentes.

Tabla 4.23 Lluvia de ideas de posibles causas que generan desperdicio y dureza fuera de especificaciones
Fuente:Elaboración propia

Ideas	
No.	Descripción
1	Personal no capacitado
2	Errores en la formulación química de los productos
3	Mal cálculo del volumen a ocupar en los moldes
4	Falta supervisión
5	Mal diseño de los moldes
6	Análisis y monitoreo de datos
7	Procedimientos de calidad no estandarizados
8	Resistencia al cambio por parte del personal
9	Falta de comunicación abierta y efectiva entre los empleados
10	Procedimientos y procesos no documentados
11	Actitudes complacientes hacia el desperdicio.
12	Ausencia de incentivos para la reducción de desperdicios
13	Desinterés en la mejora continua debido a una cultura organizacional deficiente
14	Ausencia de pruebas piloto antes de la producción en masa
15	Falta de retroalimentación y ajuste basado en resultados de pruebas

Cada uno de estos puntos resalta áreas críticas que afectan el proceso. Por ejemplo, la falta de capacitación del personal resulta en errores operativos frecuentes y en un uso ineficiente de los recursos. A su vez, errores en la formulación química causan una variabilidad en la dureza, y el diseño inadecuado de los moldes lleva a un uso excesivo de material. Otros factores, como la falta de supervisión y los procedimientos de calidad no estandarizados, contribuyen a inconsistencias en la producción. También se detectaron problemas culturales, como la resistencia al cambio y la falta de incentivos para la reducción de desperdicio, que perpetúan prácticas ineficientes.

4.3.2 Elaboración de diagrama de Ishikawa

El Diagrama de Ishikawa o de causa y efecto ayuda a visualizar de manera sistemática las múltiples causas que contribuyen al problema del desperdicio de material y la inconsistencia en la dureza del producto. Este diagrama clasifica las causas en cuatro categorías principales: Método, Mano de Obra, Maquinaria, y Entorno.

- **Método:** Incluye la falta de procedimientos estandarizados y errores en la formulación de productos.
- **Mano de Obra:** Aquí se identificaron la falta de capacitación del personal y la resistencia al cambio.
- **Maquinaria:** Factores relacionados con el diseño de moldes y el control de procesos en las máquinas.
- **Entorno:** Las condiciones ambientales, como la temperatura y humedad en la planta, que pueden influir en la reacción del poliuretano.

Como se puede ver en la Figura 4.18, el diagrama de Ishikawa ofrece una representación comprensiva de todas las múltiples causas que resultan en desperdicio de material y dureza irregular del producto. Si se abordan de la manera sistemática, muchas de estas causas se pueden evitar, lo que se traduce en mejoras significativas del proceso de producción y una disminución en el desperdicio y los resultados deslucidos del producto final.

Este análisis mostró que el desperdicio y la variabilidad en la dureza no dependen de una sola causa, sino de múltiples factores interconectados que afectan el proceso. La identificación de estas causas permite desarrollar estrategias de mejora específicas para cada área, atacando el problema desde varios frentes.

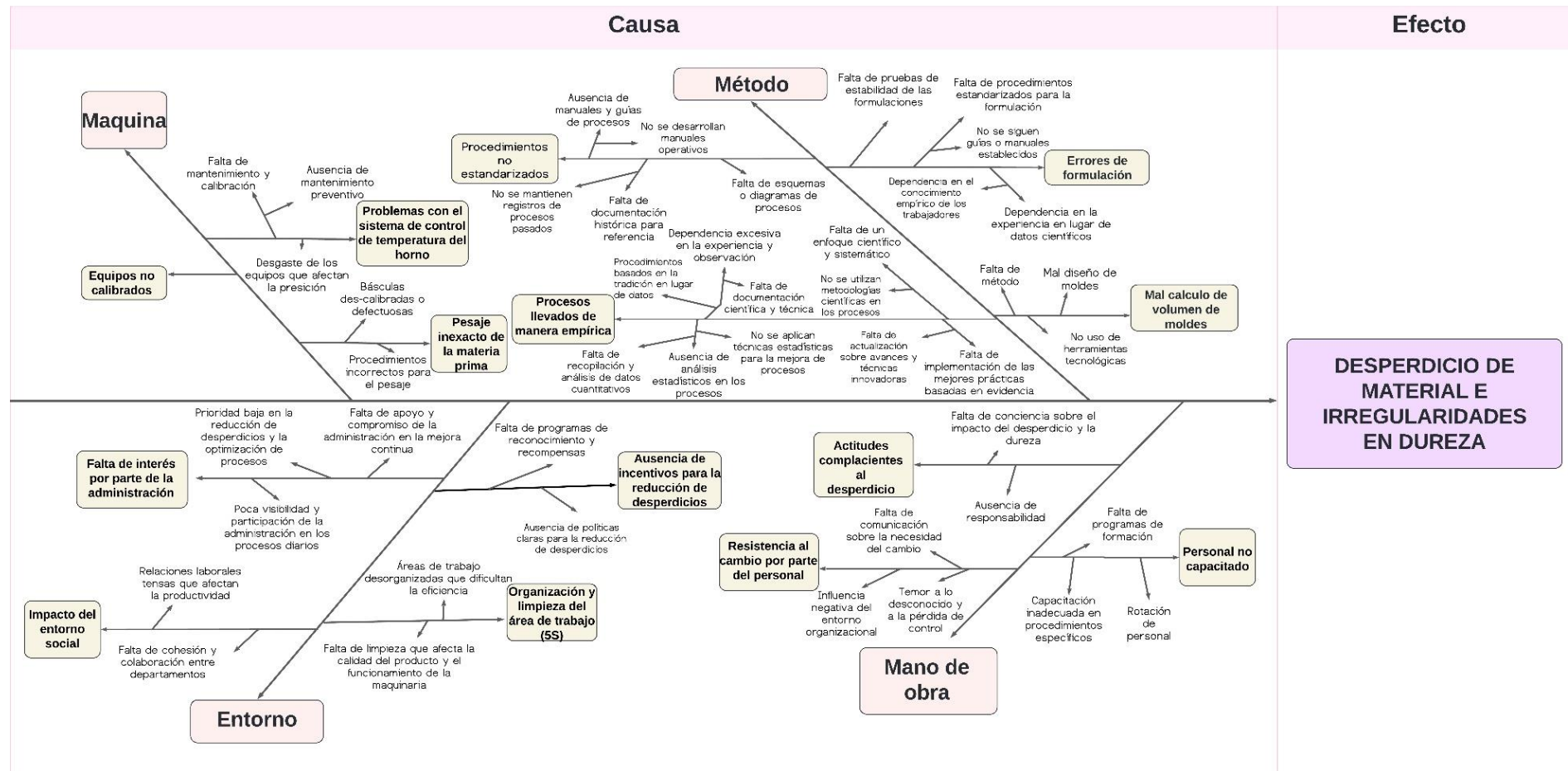


Figura 4.19 Diagrama de Ishikawa (Causa y Efecto)
Fuente: Elaboración propia

4.3.3 Análisis 5 por qué

El análisis de los 5 Porqués se emplea como una herramienta para profundizar en las causas más relevantes que afectan la eficiencia del proceso de producción de poliuretano, específicamente en lo que se refiere al desperdicio de material y a la variabilidad en la dureza del producto. Este análisis ayuda a entender los problemas desde sus raíces, permitiendo definir soluciones eficaces y específicas para cada caso.

Las cinco causas seleccionadas para este análisis son:

1. Errores de formulación química del poliuretano.
2. Mal cálculo del volumen de los moldes.
3. Uso de métodos empíricos en lugar de procesos estandarizados.
4. Falta de procedimientos documentados.
5. Capacitación insuficiente del personal.

Cada una de estas causas se desglosa mediante preguntas sucesivas, de modo que cada "por qué" ayuda a descubrir capas más profundas del problema, facilitando así la identificación de soluciones precisas.

En la tabla 4.24 se estudian los errores en la formulación de los compuestos químicos utilizados en el poliuretano son críticos, ya que impactan directamente la calidad y consistencia del producto. La formulación empírica genera desviaciones en la calidad final de los productos, afectando su dureza y otros parámetros específicos.

Tabla 4.24 5 por qué's Causa 1

Fuente: Elaboración propia

CAUSA 1 - ERRORES DE FORMULACIÓN			
No.	Pregunta	Causa raíz	Evaluación de Posibles Soluciones Posibles Afectaciones

1	¿Por qué hay errores en la formulación del poliuretano?	La formulación se realiza de forma empírica, basada en la experiencia del operador, sin respaldo científico.	Mayor uso de materias primas, estandarizadas que disminución de la calidad del producto y pérdida de confianza del cliente debido a la inconsistencias en el producto.	Desarrollo de fórmulas estandarizadas que consideren variables químicas precisas, con soporte de investigaciones y pruebas para garantizar la consistencia de la mezcla.
2	¿Por qué se realiza de forma empírica?	Porque no existe una metodología documentada ni científica que respalde la formulación.	Inconsistencias en la dureza y rendimiento del poliuretano, lo que afecta la durabilidad del producto final.	Definir una metodología precisa con soporte de expertos en química de polímeros y documentar cada etapa del proceso para facilitar la replicación.

3	¿Por qué no existe una metodología científica?	La empresa no ha invertido en investigación y desarrollo (I+D) para definir las condiciones químicas adecuadas.	Falta de control en los parámetros del producto, lo que lleva a reprocesos y desperdicio de material.	Invertir en un programa de I+D enfocado en optimizar las mezclas, que permita establecer una formulación base adaptada a los productos principales.
4	¿Por qué no se invierte en investigación y desarrollo?	Se prioriza la producción rápida sobre el desarrollo de calidad, considerando el corto plazo.	Impacto negativo en la sostenibilidad del proceso y en la capacidad de satisfacer la demanda con estándares de calidad.	Reorientar parte de los recursos hacia el desarrollo de un plan de mejora continua para mantener la competitividad del producto.
5	¿Por qué se prioriza el corto plazo sobre el desarrollo de calidad?	La cultura organizacional se enfoca en resultados inmediatos, con una visión limitada a la rentabilidad actual.	Reducción de la capacidad de crecimiento y adaptabilidad de la empresa en el mediano y largo plazo.	Cambiar la cultura organizacional mediante capacitaciones que promuevan la calidad y la visión a largo plazo en todas las áreas de la producción.

Este análisis muestra que el problema inicial, "errores en la formulación," deriva de una serie de decisiones estratégicas y culturales que priorizan el corto plazo. Para solucionarlo, es esencial trabajar tanto en la creación de una metodología estandarizada como en un cambio en la mentalidad empresarial hacia la mejora continua.

Los errores en el cálculo del volumen adecuado para los moldes tienen un impacto directo en el desperdicio de material y en la eficiencia de la producción. La falta de precisión en estos cálculos resulta en un sobreuso de poliuretano, elevando los costos de producción, el cual se muestra en la Tabla 4.25.

Tabla 4.25 5 por qué's Causa 2

Fuente: Elaboración propia

Causa 2 mal cálculo de volumen de los moldes				
No.	Pregunta	Causa raíz	Evaluación de Posibles Afectaciones	Posibles Soluciones
1	¿Por qué se presenta un mal cálculo de volumen en los moldes?	El cálculo se realiza empíricamente, sin herramientas precisas de medición.	Aumento de costos de producción, pues el uso excesivo de material representa un gasto innecesario y un impacto ambiental negativo.	Crear un sistema de cálculo estandarizado, incorporando herramientas de medición avanzada como el uso de software 3D para modelado.
2	¿Por qué el cálculo es empírico?	Porque no hay una metodología ni tecnología específica para esta tarea.	Falta de uniformidad en el tamaño y forma de los productos, afectando la satisfacción del cliente.	Definir una metodología basada en investigaciones previas y adquirir herramientas precisas para la medición volumétrica del poliuretano en cada molde.
3	¿Por qué no existe una metodología ni tecnología?	La empresa no ha priorizado la inversión en equipos especializados.	Inconsistencias en el producto final, causando desperdicio de material y costos adicionales.	Planificar la inversión en equipos de medición y técnicas avanzadas que permitan mejorar la precisión en el cálculo de volumen.

4	¿Por qué no se invierte en la tecnología de medición?	Se considera que la experiencia del operador es suficiente para los resultados esperados.	Los operadores toman decisiones subjetivas que incrementan el margen de error en el proceso.	Realizar una capacitación sobre la importancia de la precisión en los cálculos y la efectividad de la tecnología para mejorar los resultados.
5	¿Por qué se considera suficiente la experiencia del operador?	Falta de enfoque en la mejora de procesos como cultura organizacional.	Falta de actualización en técnicas de producción, lo que lleva a una pérdida de competitividad en el mercado.	Iniciar un programa de mejora continua donde se motive a los operadores a utilizar tecnología para optimizar los resultados.

Este análisis demuestra que el error en el cálculo de volumen está ligado a la falta de precisión en el proceso. La implementación de un sistema de medición adecuado puede minimizar el desperdicio y mejorar la eficiencia de la producción.

Causa 3, 4 y 5.

Muchos de los procedimientos en la producción se llevan a cabo de manera empírica, es decir, basados en la experiencia de los trabajadores en lugar de un enfoque estandarizado y documentado. Este método genera variabilidad en el resultado final y aumenta la posibilidad de errores.

En la tabla 4.26 se presenta un análisis detallado de la tercera, cuarta y quinta causa identificadas como responsable de los problemas de desperdicio de materia y las irregularidades en la dureza del producto: los procesos llevados de manera empírica. Este análisis se ha llevado a cabo utilizando el método de los 5 por qué, con el objetivo de llegar a la causa raíz de los problemas y proponer soluciones efectivas. A continuación, se desglosa cada pregunta realizada durante el análisis, la causa raíz identificada, las posibles afectaciones derivadas del problema y las soluciones propuestas para abordar la causa raíz.

Tabla 4.26 5 por qué's Causa 3

Fuente: Elaboración propia

Causa 3-Procesos llevados de manera empírica-				
No.	Pregunta	Respuesta	Evaluación de Posibles Afectaciones	Posibles Soluciones
1	¿Por qué se llevan los procesos de manera empírica?	No existen procedimientos documentados y falta capacitación formal.	Aumento en la variabilidad de la producción y disminución en la calidad del producto final, afectando la satisfacción del cliente.	Documentar y estandarizar cada etapa del proceso para mejorar la calidad y la eficiencia. Crear un manual de operación con detalles de cada procedimiento.
2	¿Por qué no existen procedimientos documentados?	No se ha implementado un sistema formal de documentación en la empresa.	La falta de procedimientos estandarizados dificulta la replicación de la calidad y los procesos eficientes.	Establecer un sistema de gestión de documentos que incluya los pasos necesarios para cada proceso y asegurar su implementación por todo el personal.

3	¿Por qué no se ha implementado un sistema formal de documentación?	No se ha reconocido la importancia de la documentación en la mejora de procesos.	Sin documentación, es difícil corregir errores o capacitar a nuevos empleados de forma adecuada.	Realizar una capacitación para el personal sobre la importancia de la documentación en el mantenimiento de la calidad y en la continuidad del proceso.
4	¿Por qué no se reconoce la importancia de la documentación?	La empresa prioriza resultados rápidos sin enfocarse en la precisión y estandarización.	Impacto negativo en la consistencia del producto final y en la reducción de desperdicio.	Cambiar el enfoque de la empresa hacia la mejora continua y la precisión científica, integrando estos valores en la cultura organizacional.
5	¿Por qué se prioriza la rapidez sobre la precisión?	Falta una cultura de mejora continua orientada a la eficiencia y control de calidad.	Riesgo de pérdida de competitividad y calidad del producto, afectando la sostenibilidad de la empresa a largo plazo.	Desarrollar un programa de mejora continua que motive la precisión en el trabajo y la constante revisión y mejora de los procesos.

El análisis de los 5 Porqués revela que los problemas de desperdicio y falta de consistencia en la dureza del producto derivan de un enfoque empírico, la ausencia de documentación formal, y una falta de inversión en tecnologías y metodologías modernas. Para mitigar estos problemas, es esencial estandarizar los procesos, documentar los procedimientos, e incorporar una cultura de mejora continua. Además, la empresa debe enfocar sus esfuerzos en la capacitación del personal, asegurando que comprendan y apliquen las nuevas metodologías que se implementen.

4.4 Mejorar

En la fase anterior, se realizó un análisis completo y detallado de las causas que afectan el desperdicio de material y las variaciones en la dureza de los productos de poliuretano. Se identificaron varias soluciones que buscan resolver las problemáticas observadas, optimizando tanto la eficiencia del proceso como la calidad del producto final. En esta sección, se evalúan cuidadosamente las soluciones propuestas, priorizando aquellas que son más factibles y que pueden implementarse de manera efectiva para lograr mejoras significativas en el proceso de producción.

4.4.1 Análisis modal de fallos y efectos

El Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF) es una herramienta que permite evaluar y gestionar la calidad en los procesos productivos, enfocándose en detectar, clasificar y priorizar fallas potenciales que puedan surgir en diferentes etapas del proceso. Este análisis es especialmente importante en el departamento de poliuretano, donde se enfrentan desafíos como la precisión en la formulación de los materiales y el cálculo correcto del volumen de los moldes. Estos aspectos impactan directamente en la eficiencia de la producción, la consistencia en la calidad de los productos y, en última instancia, en la rentabilidad general de la empresa.

La Tabla 4.27 muestra los criterios utilizados para evaluar y puntuar los modos de falla en términos de severidad, ocurrencia y capacidad de detección. Cada criterio ayuda a determinar el Número de Prioridad de Riesgo (NPR), el cual es una métrica clave para priorizar las acciones correctivas y asignar recursos de manera efectiva a las áreas que representan un mayor riesgo

Tabla 4.27 Criterios de evaluación para el AMEF
Fuente: Elaboración propia

Criterios de puntuación para la evaluación			
Métrica	Definición	Escala	Interpretación
Severidad (SEV)	Mide la gravedad del efecto de una falla en el proceso o producto final.	1-10 (1: Insignificante, 10: Catastrófico)	1-3: Efecto menor
			4-6: Efecto moderado
			7-8: Efecto mayor

			9-10: Efecto muy severo
			1-2: Muy baja
Ocurrencia (OCU)	Mide la frecuencia con la que se espera que ocurra un modo de falla.	1-10 (1: Muy baja probabilidad, 10: Muy alta)	5-6: Moderada 7-8: Alta 9-10: Muy alta
Detección (DET)	Mide la capacidad de los controles actuales para detectar la falla.	1-10 (1: Alta capacidad, 10: Muy baja)	1-2: Muy alta capacidad 3-4: Alta capacidad 5-6: Moderada capacidad 7-8: Baja capacidad 9-10: Muy baja capacidad
Número de Prioridad de Riesgo (NPR)	Valor calculado para priorizar las acciones correctivas.	$NPR = SEV \times OCU \times DET$	Los modos de falla con un NPR más alto representan un mayor riesgo y deben ser priorizados.

Este criterio permite realizar una evaluación sistemática y objetiva para clasificar y ordenar los problemas más críticos. La combinación de estos factores proporciona una guía clara de dónde enfocar los esfuerzos para mejorar el proceso. A continuación, se ejemplifica cómo se determinan estas métricas:

Ejemplo de Modo de Falla: Cálculo incorrecto de la cantidad de materia prima.

Severidad (SEV): 9, debido a que el efecto de esta falla es muy severo, ya que puede dar lugar a productos fuera de especificación, lo cual afecta la satisfacción del cliente.

Ocurrencia (OCU): 7, indicando que es una falla que ocurre con frecuencia debido a la falta de una fórmula estandarizada.

Detección (DET): 4, mostrando una capacidad de detección moderada mediante la supervisión del proceso.

NPR (Número de Prioridad de Riesgo): Calculado como $SEV \times OCU \times DET = 9 \times 7 \times 4 = 252$.

La Tabla 4.28 sintetiza los modos de falla, efectos, causas y las recomendaciones de acción para distintos pasos clave en el proceso de producción de poliuretano. Los modos de falla se califican según los criterios de Severidad (SEV), Ocurrencia (OCU) y Detección (DET), permitiendo calcular el Número de Prioridad de Riesgo (NPR) para cada falla y orientar así la mejora hacia áreas de mayor impacto.

Tabla 4.28 Análisis de Modo y Efecto de Falla

Fuente: Elaboración propia

Pasos Clave del Proceso	Modos de Falla Potenciales	Efectos de Fallas Potenciales	S E V	Causas Potenciales	O C U	Controles de Ocurrencia	D E T	NP R	Acciones Recomendadas	Acciones Implementadas	SEV _Dep	OC U_ Des	DET _Des	NPR _Des
Cálculo del volumen del molde	Dejar el cálculo a la experiencia del trabajador	Uso excesivo de poliuretano, aumento de costos	8	Falta de fórmula estandarizada	7	Supervisión del proceso de cálculo	4	224	Desarrollar una fórmula estandarizada	-	-	-	-	-
	No medir el volumen exacto del molde	Desperdicio de materiales, variaciones en calidad	9	Falta de tecnologías de medición avanzadas	6	Auditorías del proceso de medición	3	162	Invertir en tecnologías avanzadas de medición	-	-	-	-	-
Formulación del poliuretano	Cálculo incorrecto de la cantidad de materia prima	Variaciones en las propiedades del producto final, incremento de costos	9	Formulación empírica basada en la experiencia	7	Supervisión del proceso de formulación	4	252	Desarrollar una fórmula estandarizada	-	-	-	-	-
	No considerar todas las variables químicas	Productos fuera de especificaciones, impacto negativo en la producción	9	Falta de investigación y desarrollo	5	Capacitación en formulación avanzada	4	180	Implementar programas de investigación y desarrollo	-	-	-	-	-
Desarrollo de procesos	Falta de metodología científica	Procesos ineficientes, variabilidad en la calidad	8	Dependencia de métodos empíricos	6	Auditorías de desarrollo de procesos	4	192	Adoptar metodologías científicas	-	-	-	-	-

Desarrollo de procesos	Falta de procedimientos documentados	Desviaciones no detectadas, falta de consistencia	8	Falta de documentación de procesos	6	Supervisión y de procesos	4	192	Desarrollar y documentar procedimientos estandarizados	-	-	-
Implementación de procesos	Inconsistencias en la implementación	Productos fuera de especificaciones	9	Falta de capacitación en metodologías científicas	7	Supervisión de la implementación	3	189	Capacitar al personal en metodologías científicas	-	-	-
Monitoreo de procesos	Falta de seguimiento y ajustes	Desviaciones no detectadas, impacto negativo en la producción	8	Falta de sistemas de monitoreo	5	Revisiones periódicas del proceso	4	160	Implementar sistemas de monitoreo continuo	-	-	-

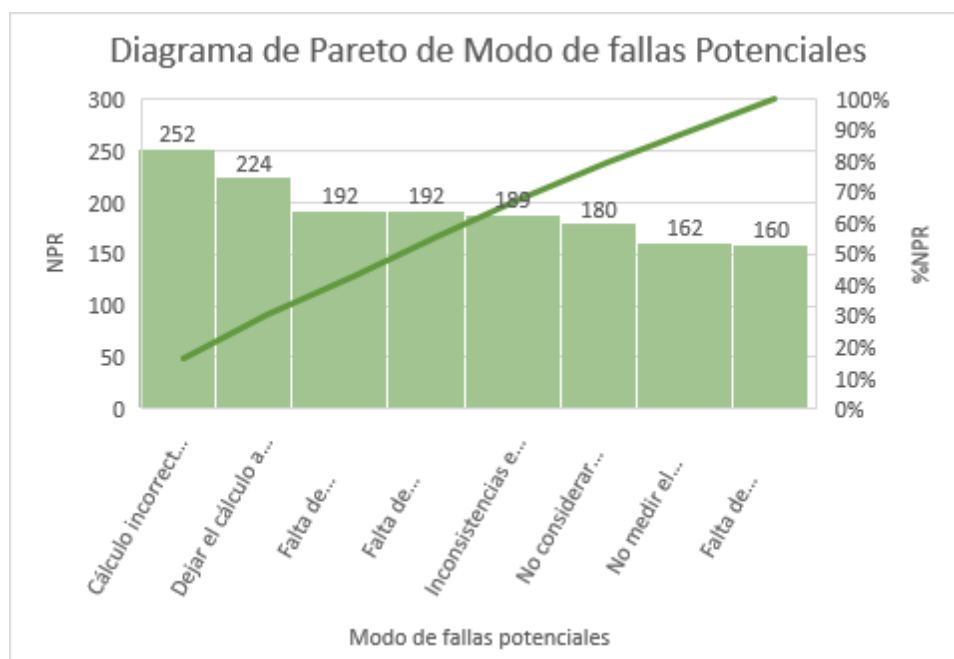
La implementación del AMEF en estos pasos críticos del proceso de producción de poliuretano permite identificar y mitigar los riesgos de manera eficaz, para enfatizar de mejor manera los puntos críticos, se hace un diagrama de Pareto, en donde de una mejor manera se puede analizar cuáles son las fallas más recurrentes y a cuáles se les da prioridad, para ello, En la tabla 4.28, se retoman los datos relevantes del análisis AMEF, para priorizar los efectos de fallas potenciales, el cual se divide en dos fases, la primera parte se saca el porcentaje de NPR de los modos de fallas potenciales, además del % acumulado, posteriormente los NPR del paso clave de proceso, de igual forma se saca porcentaje de la puntuación y el porcentaje acumulado. Para el % de NPR acumlado se ultiza la ecuación 2.2

$$\text{Porcentaje acumulado} = \frac{RPN \text{ Acumulado}}{RPN \text{ Total}} * 100$$

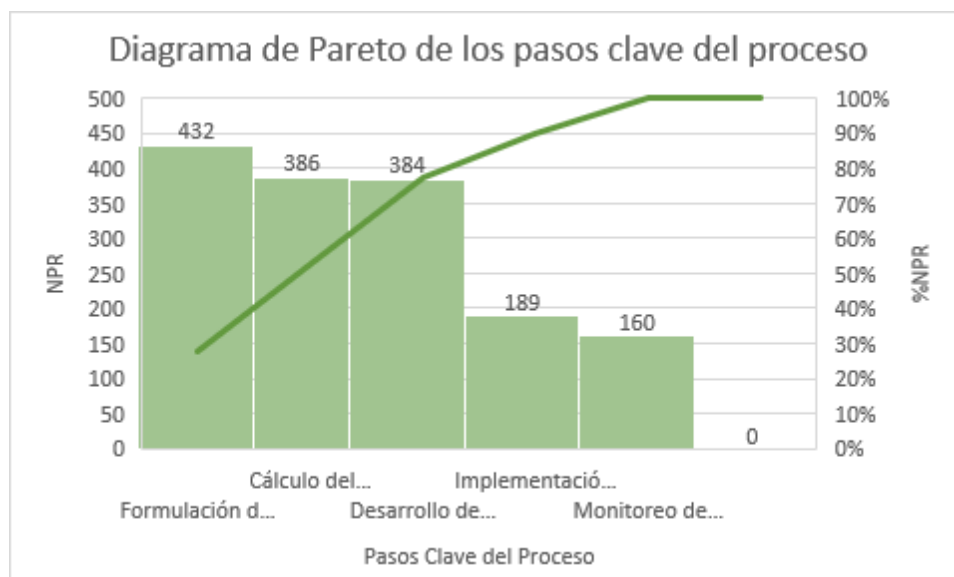
Tabla 4.29 Puntos de mejora
Fuente: Elaboración propia

Pasos Clave del Proceso	Modos de Falla Potenciales (MFP)	NPR (MFP)	% NPR (MFP)	% acumulado de NPR (MFP)	NPR por paso clave del proceso	% NPR por paso clave de proceso	% Acumulado NPR por paso clave de proceso
Cálculo del volumen del molde	Dejar el cálculo a la experiencia del trabajador	224	14%	14%	386	25%	25%
	No medir el volumen exacto del molde	162	10%	25%			
Formulación del poliuretano	Cálculo incorrecto de la cantidad de materia prima	252	16%	41%	432	28%	53%
	No considerar todas las variables químicas	180	12%	53%			
Desarrollo de procesos	Falta de metodología científica	192	12%	65%	384	25%	77%
	Falta de procedimientos documentados	192	12%	77%			
Implementación de procesos	Inconsistencias en la implementación	189	12%	90%	189	12%	90%
Monitoreo de procesos	Falta de seguimiento y ajustes	160	10%	100%	160	10%	100%
TOTAL		1551			1551		

Con los resultados de la tabla 4.29, se procede a realizar dos diagramas de Pareto, en donde se visualiza cuáles son los modos de falla potenciales que tienen mayor impacto, a los cuales se les tiene que dar mayor prioridad para la implementación de mejoras, este se puede visualizar en la gráfica 4.2, y otro en donde se evalúa los pasos clave del proceso, el cual se muestra en la gráfica 4.3, a lo cual es necesario hacer una comparación.



Gráfica 4.2 Diagrama de Pareto de las causas potenciales del AMEF
Fuente: Fuente: Elaboración propia



Gráfica 4.3 Diagrama de Pareto de los Pasos Clave del proceso
Fuente: Elaboración propia

El análisis de los diagramas de Pareto proporciona una guía clara sobre las áreas que requieren atención inmediata para reducir riesgos y mejorar la eficiencia del proceso de producción de poliuretano. A continuación, se presenta un resumen de los resultados obtenidos:

Punto Crítico Principal: La formulación del poliuretano aparece como el área con el NPR más alto, valorado en 432, lo que representa el 28% del NPR total acumulado. Este punto crítico debe recibir atención prioritaria, ya que cualquier mejora en esta área impactará significativamente en la calidad del producto final y en la reducción de desperdicio.

Segunda Prioridad: Los siguientes pasos críticos son el cálculo del volumen de los moldes y el desarrollo de procesos, que tienen NPRs de 386 y 384, respectivamente. La atención a estos pasos es crucial para reducir la variabilidad y aumentar la eficiencia del proceso de producción.

Mejora Continua: Aunque con NPRs más bajos, la implementación y monitoreo de procesos son áreas que también necesitan mejoras sostenidas para garantizar la consistencia y la calidad del producto. Estos pasos cuentan con NPRs de 189 y 160, respectivamente.

Principales Áreas de Enfoque para la Mejora

El análisis de Pareto indica que es fundamental centrar los esfuerzos en la estandarización de cálculos de materias primas y volúmenes de molde, así como en la adopción de metodologías científicas y en la documentación y capacitación del personal. Abordar las fallas en estas áreas críticas generará mejoras significativas en la calidad del producto, la eficiencia del proceso y la rentabilidad global del sistema.

Priorización de Fallas Identificadas

Cálculo Incorrecto de la Cantidad de Materia Prima (NPR = 252, 16%):

Representa el mayor riesgo individual en términos de NPR, con un impacto significativo en la calidad del producto y en los costos de producción. La alta probabilidad de ocurrencia subraya la necesidad urgente de una fórmula precisa y estandarizada.

Dejar el Cálculo del Volumen del Molde a la Experiencia del Trabajador (NPR = 224, 14%):

Con un NPR significativo, esta falla resalta la necesidad de estandarizar los cálculos de volumen para evitar el desperdicio de material y el incremento de costos asociados.

Falta de Metodología Científica y Procedimientos Documentados en el Desarrollo de Procesos (NPR = 192 cada uno, 12%):

Ambas fallas tienen un NPR de 12% y señalan la importancia de implementar metodologías científicas, además de documentar los procedimientos para asegurar la consistencia y optimización del proceso.

No Considerar Todas las Variables Químicas en la Formulación del Poliuretano (NPR = 180, 12%):

Esta falla representa otro 12% del NPR total. El no contemplar todas las variables químicas es una debilidad que afecta directamente las especificaciones del producto, lo que subraya la importancia de una formulación más controlada y detallada.

Inconsistencias en la Implementación de Procesos (NPR = 189, 12%):

Con un NPR del 12%, esta falla sugiere que una adecuada capacitación en metodologías científicas y de control es necesaria para asegurar que los procesos se lleven a cabo correctamente y que se minimicen las variaciones en los resultados.

Este análisis resalta las áreas de mejora que deben abordarse de manera prioritaria para optimizar la calidad y eficiencia del proceso de producción. La implementación de las mejoras enfocadas en los puntos críticos identificados permitirá reducir riesgos, minimizar el desperdicio de materiales, mejorar la consistencia del producto final y optimizar los recursos empleados.

4.4.2 Implementación de mejoras

Se realiza un plan de acción, en la tabla 4.30 detalla las actividades previstas para la mejora de cada una de las causas raíz identificadas en el análisis AMEF, asignando responsabilidades, fechas de inicio y finalización, y definiendo indicadores claros de éxito. Esto asegurará una implementación estructurada y efectiva de las mejoras necesarias para optimizar los procesos de producción de poliuretano.

Tabla 4.30 Plan de acción de mejora
Fuente: Elaboración propia

Causa raíz	Actividad prevista para la mejora	Fecha de inicial	Fecha final	Indicadores de Éxito
Formulación del poliuretano	Realizar investigaciones y pruebas para desarrollar una fórmula precisa y documentada.	01/07/2023	01/11/2023	Reducción del desperdicio de materiales, consistencia en la calidad del producto final
	Desarrollar una fórmula estandarizada	01/10/2023	01/11/2023	
Cálculo del volumen del molde	Adquirir y utilizar herramientas como escáneres 3D y software de modelado para obtener mediciones precisas.	01/10/2023	01/11/2023	Precisión en la medición del volumen de moldes, reducción del desperdicio
	Desarrollar una fórmula estandarizada	01/11/2023	01/12/2023	
Desarrollo de procesos	Adoptar una metodología	01/12/2023	01/01/2024	Procesos eficientes y basados en ciencia, reducción de la variabilidad
	Documentar procedimientos estandarizados	01/11/2023	01/01/2024	
Implementación de procesos	Capacitar al personal	01/01/2024	01/02/2024	Personal capacitado en método, mejora en la implementación
Monitoreo de procesos	Implementar sistemas de monitoreo continuo	01/12/2023	01/01/2024	Detección temprana de desviaciones, mejora continua en la calidad y eficiencia

4.4.2.1 Acción para formulación de poliuretano

A lo largo del documento se ha mencionado que los procesos se llevan de manera empírica, y no hay una formulación basada en un método científico, es por ello que se recurre al primer paso del plan de acción mostrado en la tabla 4.2

4.4.2.1.1 Investigación y pruebas para desarrollar una fórmula precisa

El presente estudio se ha llevado a cabo con el objetivo de investigar el campo de los polímeros de uretano, debido a la variabilidad observada en las definiciones y fórmulas utilizadas por los profesionales del sector. Estas discrepancias no solo abarcan conceptos y aplicaciones, sino también las suposiciones empleadas para simplificar los cálculos, las cuales no son consistentes entre sí.

Aunque las definiciones y fórmulas son adecuadas para su propósito previsto, a menudo son adaptadas y modificadas para casos específicos, lo que genera confusión y mal uso. Además, la falta de presentación y explicación de los conceptos fundamentales originales, las relaciones teóricas y las aplicaciones previstas ha dificultado las evaluaciones y comparaciones adecuadas en el trabajo de campo.

Con el fin de abordar estas dificultades, se ha llevado a cabo una investigación exhaustiva para proporcionar definiciones de términos generalmente aceptadas y listar las fórmulas utilizadas de manera habitual en la industria. En este estudio se presentan los conceptos, suposiciones y modificaciones pertinentes, acompañados de cálculos de ejemplo que ofrecen una mayor claridad.

Este esfuerzo busca estandarizar las prácticas y mejorar la comprensión y aplicación de los polímeros de uretano en el campo profesional, facilitando así la evaluación y comparación de los trabajos realizados.

Es importante destacar que para la elaboración de las piezas realizadas se utiliza los siguientes materiales:

- Imuthane PST 95 A, el cual es un pre polímero de poliuretano que se utiliza principalmente en la fabricación de elastómeros técnicos. Este material se destaca por su excelente resistencia al desgaste, alta resistencia al desgarro y capacidad de soporte de carga. Es un componente clave en la producción de recubrimientos resistentes a la

abrasión, ruedas industriales, y otros productos que requieren durabilidad y alto rendimiento.

- MOCA (4,4'-Methylene-bis(2-chloroaniline)) es una amina específica utilizada como curativo en la producción de poliuretanos. Actúa reaccionando con los grupos isocianato del pre polímero de MDI para formar una estructura reticulada (cross-linked), lo cual mejora las propiedades mecánicas del material final, como la resistencia al desgaste y la durabilidad.

4.4.2.1.2 Definiciones de términos

Para comprender de mejor forma cada una de las fórmulas que se llevarán a cabo, es importante comprender los términos básicos, los cuales se explican a continuación.

Poliuretano

La química de los uretanos utiliza las reacciones de isocianatos orgánicos con compuestos que contienen hidrógenos activos. Cuando isocianatos polifuncionales e intermedios que contienen al menos dos hidrógenos activos por mol se reaccionan en proporciones adecuadas, resulta un polímero que puede producir espumas rígidas o flexibles, elastómeros, recubrimientos, adhesivos y selladores. Un grupo isocianato reacciona con los grupos hidroxilo de un poliol para formar el enlace repetitivo de uretano, de acuerdo con Michael en su manual de poliuretanos (2012), lo cual, Pinto (2010) su artículo comenta que los poliuretanos se producen por la reacción entre isocianatos ($-N = C = O$) con los compuestos de hidrógeno activo ($R - OH$) o ($R - NH_2$), esto representado en la ecuación 4.7.



Nomenclatura química

Monómero: El compuesto químico fundamental que puede someterse a polimerización y formar una cadena polimérica.

Polímero: El compuesto químico formado por polimerización y compuesto esencialmente por unidades estructurales repetitivas. Una cadena polimérica puede formarse a partir del mismo tipo de monómero o de más de un tipo de monómero.

Pre polímero: Un polímero intermedio que no se reacciona hasta la estequiometría completa. Siempre hay un exceso deliberado de grupos activos (por ejemplo, -OH, -NCO) que están disponibles para una reacción posterior para formar el polímero final.

Polímero Reticulado (cross-linked): Un polímero formado solo a partir de unidades de monómero y/o polímero que tienen un promedio de más de dos centros o grupos activos por molécula. Las reacciones entre cadenas pueden formar una red que puede crecer infinitamente en tres dimensiones. Los polímeros reticulados son de tamaño moderado; normalmente son infusibles e insolubles.

Conceptos Matemáticos

Peso Molecular (M): La suma de los pesos atómicos de todos los átomos constituyentes en una molécula. El peso atómico se expresa en relación con el peso arbitrario del oxígeno (O=16).

Los polímeros consisten en moléculas de cadena de diversas longitudes. Cuando se dan, calculan o determinan sus pesos moleculares, se expresan como valores promedio. Estos pesos moleculares promedio se basan en dos conceptos: promedio numérico o promedio ponderado de peso. Los pesos moleculares promedio numérico y ponderado no se pueden usar indistintamente. Son equivalentes solo cuando todas las especies moleculares son las mismas, como en el caso de compuestos puros.

Peso Molecular por Enlace Cruzado (Mnc): Mnc es el peso del polímero por centro activo o grupo que puede formar un enlace cruzado. El valor no representa la media efectiva o aritmética real entre los enlaces cruzados en un polímero tridimensional. Se utiliza simplemente como un método conveniente para comparar la efectividad de los factores de reticulación disponibles.

Peso Equivalente (W): El peso molecular de un compuesto o polímero por función activa para las reacciones consideradas. El peso equivalente se utiliza como un valor promedio para los polímeros.

Equivalente de Hidrógeno: El peso de hidrógeno equivalente a los grupos reactivos de 100 unidades de peso del compuesto o polímero.

Equivalente de Isocianato: El peso del radical isocianato, NCO ($M = 42$), que es equivalente a los grupos reactivos de 100 unidades de peso del compuesto o polímero.

En la tabla 4.31 se encuentra la nomenclatura de los símbolos y abreviaciones usadas en las formulas.

Tabla 4.31 Clave de notación Símbolos y Abreviaciones
Fuente: (Chemical, 2023)

Símbolos y Abreviaciones	Descripción
g	Agentes curativos y de extensión en general
n	Número de moléculas
p	Poliol
q	Agua
v	Prepolímero
D	Porcentaje de isocianatos libres como NCO
E	Peso equivalente
Eg	Peso equivalente del agente curativo o de extensión
Ep	Peso equivalente del polioli
Mw	Peso molecular promedio ponderado
W	Peso
Wg	Peso del agente curativo o de extensión
Wp	Peso del polioli
Wq	Peso del agua
Ws	Peso del isocianato
Wv	Peso del prepolímero
a	Peso fraccional del primer componente
(1 - a)	Peso fraccional del segundo componente

4.4.2.1.3 Formulas

Peso de un Agente Reactivo o Curativo Necesario

Para obtener un producto reticulado a partir de un pre polímero de isocianato lineal, con un peso molecular predeterminado por enlace cruzado, de acuerdo con el manual de poliuretanos de Szycher (2012), se obtiene la ecuación 2

Dado

$$(W_g) = \frac{E_g * W_v * D}{100(42)} \quad \text{Ecuación 4.8}$$

Donde:

W_g = es el peso del agente reactivo o curativo necesario

E_g = Es el peso equivalente del agente reactivo o curativo

W_v = Es el peso del pre polimero

D = Porcentaje de isocianatos libre como NCO

Para Calcular el Peso fraccional de los Componentes de Imuthane PST-95 A y MOCA, se utiliza la siguiente formula, la cual es proporcionada por el proveedor Coim Group (2023), donde la ecuación 3 es para saber el peso fraccional de curativo y la 4 para el pre-polimero.

$$a = \frac{W_g}{100 + W_g} \quad \text{Ecuación 4.9}$$

Donde:

a = Peso fraccional del primer componente (agente curativo)

W_g = es el peso del agente reactivo o curativo necesario

100 = unidades de peso del compuesto o polímero

$$1 - a = x \quad \text{Ecuación 4.10}$$

Donde:

$1 - a$ = Peso fraccional del segundo componente (pre – polimero)

x = resultado

Es importante considerar las variables químicas, ya que, no considerar alguna de ellas tiene como efecto es no cumplir con las especificaciones, además de que no tendría las propiedades como elastómero.

4.4.2.2 Acción para calcular el volumen de los moldes

Para obtener una determinación precisa del volumen de los moldes en la fabricación de componentes industriales, es fundamental realizar cálculos exactos que aseguren la calidad y eficiencia del proceso de producción. La precisión en este cálculo afecta directamente tanto a la calidad de las piezas producidas como a la optimización de materiales y recursos, ya que un error en el volumen podría causar problemas como vacíos o deformaciones en las piezas.

El volumen adecuado de material necesario para llenar el molde impacta tanto en costos como en la logística de producción. SolidWorks, una herramienta de diseño asistido por computadora (CAD), permite crear modelos detallados en 3D de los moldes y calcular propiedades físicas como el volumen, ayudando a los diseñadores a verificar que sus modelos cumplan con los estándares antes de pasar a la fase de fabricación.

A continuación, se presenta una guía detallada para calcular el volumen de los moldes en SolidWorks a partir de un diseño en 2D de AutoCAD, facilitando así la conversión de un plano 2D en un modelo 3D.

Proceso Paso a Paso para Calcular el Volumen del Molde

Paso 1: Preparación del Dibujo en AutoCAD

- Abrir el archivo de AutoCAD (formato DWG) que contiene el diseño del molde.
- Asegurarse de que el dibujo esté limpio, eliminando capas innecesarias y verificando que todas las líneas y polilíneas estén conectadas y cerradas correctamente.
- Guardar el archivo DWG en una ubicación accesible para importarlo a SolidWorks.

Paso 2: Importación del Archivo 2D a SolidWorks

- Iniciar SolidWorks y seleccionar Archivo > Abrir.
- Seleccionar el tipo de archivo DWG o DXF en el cuadro de diálogo y abrir el archivo DWG guardado.

- En el asistente de importación, elegir "Importar a un nuevo croquis" para convertir el dibujo 2D en un croquis de SolidWorks, asegurándose de que las unidades y escalas sean correctas.

Paso 3: Conversión del Croquis 2D en un Modelo 3D

- Crear una nueva pieza en SolidWorks (Archivo > Nuevo > Pieza).
- Insertar el croquis importado en el plano deseado y asegurarse de que esté correctamente alineado y cerrado.
- Usar las herramientas de SolidWorks, como Saliente/Base Extruir para extruir el croquis en una forma 3D o Saliente/Base Revolución para revolver el croquis alrededor de un eje y generar el modelo 3D.

Paso 4: Cálculo del Volumen del Modelo 3D

- Seleccionar el cuerpo 3D y acceder a la pestaña Evaluar en la barra de herramientas de SolidWorks.
- Hacer clic en Propiedades de masa, donde se mostrará el volumen del molde junto con otras propiedades físicas relevantes, como el centro de gravedad y el área superficial.

Paso 5: Guardado y Documentación del Modelo

- Guardar el modelo 3D creado en SolidWorks para futuros usos y referencias.

Este proceso facilita la obtención de un cálculo exacto del volumen del molde y permite optimizar la producción industrial. En las Figuras 4.19 y 4.20, se muestran los resultados de volumen de los productos A y B en SolidWorks. Aunque SolidWorks ofrece opciones para seleccionar el material y realizar simulaciones, el tipo específico de polímero que utilizamos no se encuentra en el catálogo de materiales de este software. No obstante, se ha optado por utilizar únicamente el dato de volumen del material y complementar el cálculo con una fórmula para determinar la cantidad exacta de material necesario.

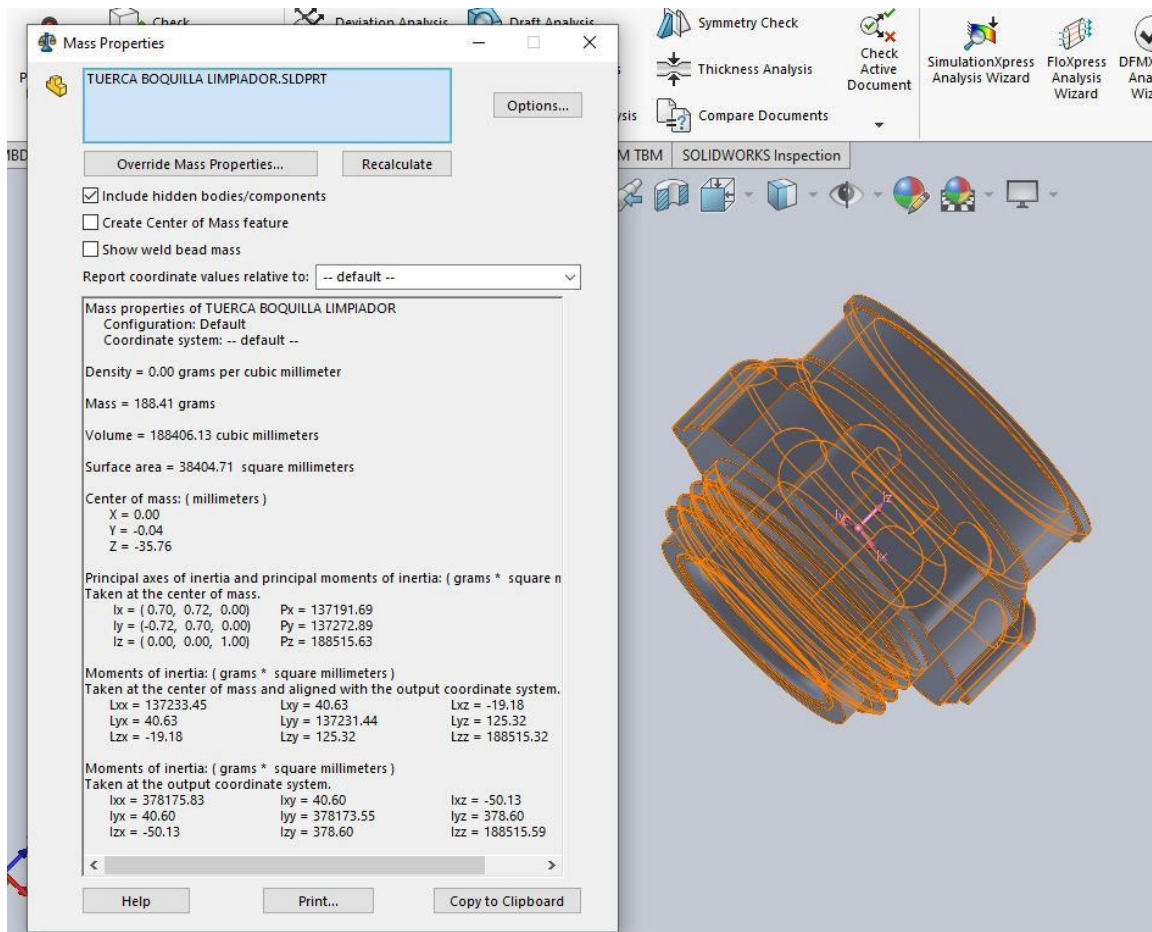


Figura 4.20 Resultados del producto A en SolidWork®
 Fuente: Elaboración propia

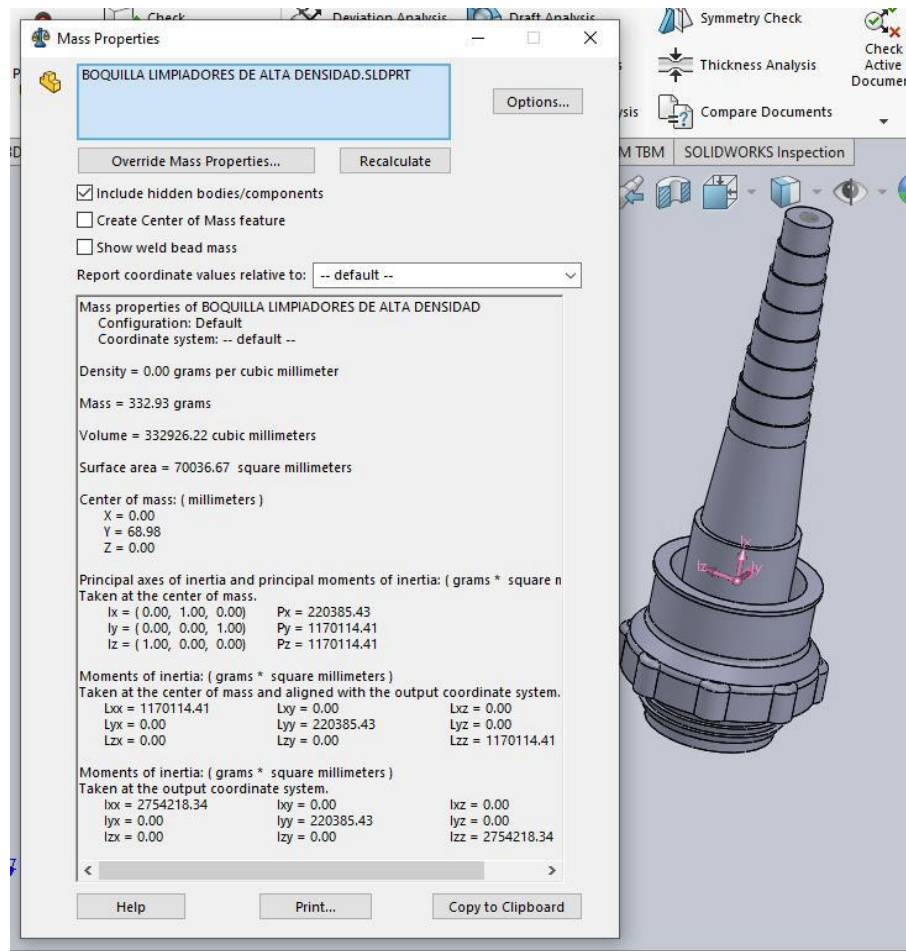


Figura 4.21 Resultados del producto B en SolidWork®
Fuente: Elaboración propia

Se ha decidido utilizar únicamente el dato del volumen del material, complementándolo con una fórmula específica. Esto permite calcular con precisión la cantidad de material necesaria para llenar el molde y producir las piezas con las especificaciones requeridas, reduciendo así el desperdicio de material. La Ecuación 4.11 presenta la fórmula correcta para determinar la cantidad exacta de material necesaria.

$$Total\ de\ material = V * \rho$$

Ecuación 4.11

Donde:

$V = volumen\ del\ molde$

$\rho = \text{densidad de material}$

En el punto anterior y este se ha realizado una hoja de cálculo en Excel, ayuda a realizar los cálculos de consumo de material en una forma más fácil y práctica, la cual se muestra en la figura 4.21.

CÁLCULO DE VOLUMENES			
ÁREA SEGUN SOLIDWORKS		cm^3	PROPORCIONAR DATOS
DENSIDAD	1.25	g/cm^3	
VOLUMEN DE MATERIAL			
SIN MERMA	0	g	
%MERMA CONSIDERADA	5.0%		PROPORCIONAR DATOS
VOLUMEN TOTAL DE MATERIAL	0.00	g	
CÁLCULO DE MATERIAL DE POLIURETANO			
NCO	5.08		PROPORCIONAR DATO
TEORIA	95		
PESOS EQUIVALENTE	133.5		
% de curativo	15.3325		
% pre-polimero	0.8671		
% de curativo	0.1329		
	1.0000		
Cantidad de pre-polimero	0	g	
Cantidad de curativo	0	g	
TOTAL DE MATERIAL	0	g	
Pigmento	0	g	
TOTAL CON PIGMENTO	0	g	

Figura 4.22 Hoja de cálculo para el cálculo de consumo de material
Fuente: Elaboración propia

4.4.2.3 Implementación de la causa 1 y 2

Una vez realizadas con éxito las acciones correspondientes a las causas 1 y 2, los resultados obtenidos deben complementarse para crear una metodología unificada, ya que ambas causas están interrelacionadas. Esto significa que, sin la implementación correcta de una, la otra no tendrá éxito. Por ello, en este punto se desarrollará una nueva metodología para utilizar de forma correcta lo desarrollado anteriormente. Una vez implementada, se realizará una medición para determinar su efectividad.

En cuanto a las acciones para las causas 3, 4 y 5, estas no pueden implementarse hasta obtener los resultados de las dos primeras. Por lo tanto, se les dará continuidad más adelante. Basándose en el diagrama de flujo presentado en la Figura X (ubicada en la fase de medir), se desarrollará una nueva estructura con algunas modificaciones.

Analizando el diagrama, se observa que las acciones se refieren a las primeras etapas del proceso antes de comenzar con la producción de las piezas, lo cual lleva a implementarlas de la siguiente manera:

1. Recepción del reporte de ventas:

- La información se transfiere al departamento de producción, donde se genera la orden de producción. En este caso, los moldes ya existen y no requieren diseño, por lo que se procede a buscarlos en el almacén y se llevan al departamento de poliuretano. Aquí se puede cometer un error si no se verifica la existencia del plano en 2D de AutoCAD.

2. Verificación del plano en 2D:

- Es crucial verificar la existencia del plano en 2D de AutoCAD para tener la información correcta a través del programa SolidWorks, lo cual se realiza en el departamento de maquinados.

3. Actualización de datos:

- Una vez verificada y actualizada la información mediante el programa, los datos y el molde se trasladan al departamento de poliuretano.

4. Preparación del molde:

- El encargado de poliuretano limpia los moldes y los prepara para el horneado, asegurándose de que alcancen la temperatura adecuada.

5. Cálculo de la materia prima:

- Se procede a calcular la cantidad de materia prima necesaria para producir una pieza, utilizando las fórmulas presentadas anteriormente y desarrollando otras nuevas, siguiendo esta cronología:
 - ❖ Calcular el total de material requerido, se utiliza la ecuación 4.11
 - ❖ Calcular el total de materia requerido, se hace con la ecuación 4.12

Total de material requerido

$$= Total\ de\ material + (\%de\ desperdico \\ * total\ de\ material)$$

Ecuación
4.12

- ❖ Calcular la cantidad de materia prima que se va utilizar, para ello es necesario las formulas 2, 3 y 4, conjuntando las formulas y ecuación, se realiza una formula en específico para poder saber la cantidad específica de materia prima se va a consumir.

Curativo se tiene desarrolla una formula, la cual se presenta en la ecuación 4.13

Cantidad de curativo

$$= a * total\ de\ material\ requerido$$

Ecuación
4.13

Donde:

$$a = Peso\ fraccional\ del\ primer\ componente\ (agente\ curativo)$$

Pre-polímero se tiene desarrolla una formula, la cual se presenta en la ecuación 4.14

Cantidad de pre – polimero

$$= (1 - a) * total\ de\ material\ requerido$$

Ecuación 4.14

Para el cálculo de total de pigmentación que se requiere según el peso de pre-polímero ecuación 4.15

$$Total\ de\ pigmento = \frac{5g * total\ de\ pre - polimero}{1000g}$$

Ecuación 4.15

6. Pesado de la materia prima:

- Con los resultados obtenidos, se procede a pesar la materia prima.

7. Preparación de la materia prima:

- Se calienta la materia prima y se somete a un proceso de vacío para eliminar burbujas de aire del pre-polímero.

8. Mezcla de las materias primas:

- Se mezclan las materias primas siguiendo el método de vaciado al molde.

9. Prensado del molde:

- Se realiza el prensado del molde, llevando a cabo el proceso de moldeo de las piezas.

10. Desmolde:

- Las piezas se desmoldan y se someten a un post-curado en hornos.

11. Limpieza y empaquetado:

- Se limpia el material excedente de las piezas, se empaquetan y se preparan para la entrega.

Esta metodología estructurada asegura un proceso eficiente y preciso.

4.4.2.3.1 Producto A

Una vez establecida la metodología, es importante llevarla a cabo en cada uno de los productos. En este punto, se implementará en el Producto A. Durante todo el proceso de investigación y estudio, es crucial retomar desde el punto 5, donde se presentarán los cálculos correspondientes para posteriormente medir el proceso que se lleva a cabo.

Se comienza recopilando los datos necesarios para el desarrollo de los cálculos, los cuales se presentan en la Tabla 4.32.

Tabla 4.32 Datos para el desarrollo de los cálculos
Fuente: Elaboración propia

Simbolo	Nomenclatura	Datos
V	<i>volumen del molde</i>	188.40 cm^3
ρ	<i>densidad de material</i>	1.26 ^g / cm^3
E_g	<i>peso equivalente del agente reactivo o curativo</i>	133.5
W_p	<i>peso del pre polimero</i>	95
D	<i>Porcentaje de isocianatos libre como NCO</i>	5.08

Nota: en el dato del volumen se realizó una conversión ya que el SolidWork, nos dio el dato en mm^3 y es necesario que este dato este en cm^3 .

Basándose en los datos de la tabla 36, lo primero que se debe saber es la cantidad de material a ocupar

Cálculos

Total de material:

$$Total\ de\ material = V * \rho$$

$$Total\ de\ material = 188.40\ cm^3 * 1.26\ g/cm^3$$

$$Total\ de\ material = 237\ g$$

Total, de material requerido:

Con el resultado obtenido se procede a considerar un cierto porcentaje de desperdicio lo ideal que este porcentaje sea del 5%, a continuación, se hace el respectivo calculo considerando el %

$$Total\ de\ material\ requerido$$

$$= Total\ de\ material + (\%de\ desperdico * total\ de\ material)$$

$$Total\ de\ material\ requerido = 237\ g + (5\% * 237\ g)$$

$$Total\ de\ material\ requerido = 237\ g + 11.85\ g$$

$$Total\ de\ material\ requerido = 248.82\ g \approx 249\ g = 250\ g$$

Se toma la decisión de que el resultado se cierre a un consumo total de material requerido de 250 g.

Cálculo del peso fraccional de los componentes:

Ahora bien, para el cálculo de la materia prima, es importante recordar que todo se basa a partir del peso del agente curativo, teniendo lo siguiente

$$(W_g) = \frac{E_g * W_v * D}{100(42)}$$

$$(W_g) = \frac{133.5 * 95 * 5.08}{100(42)}$$

$$(W_g) = 15.3397$$

Con este dato procedemos a realizar el cálculo del peso fraccional de los componentes, en este caso del Imathune PST 95 A (Pre-polímero) y MOCA(Curativo)

- Curativo

$$a = \frac{W_g}{100 + W_g}$$

$$a = \frac{15.3397}{100 + 15.3397}$$

$$a = 0.1329$$

- Pre-polimero

$$1 - a = x$$

$$1 - 0.1329 = 0.8671$$

Cantidad de curativo y pre-polímero:

Con los resultados obtenidos de las ecuaciones, se toman en cuenta el total de material requerido y peso fraccionario para componentes, así saber la cantidad exacta de material prima de cada componente tenemos:

$$\text{Cantidad de curativo} = a * \text{total de material requerido}$$

$$\text{Cantidad de curativo} = 0.1329 * 250 \text{ g}$$

$$\text{Cantidad de curativo} = 33.22 \text{ g}$$

$$\text{Cantidad de pre - polimero} = (1 - a) * \text{total de material requerido}$$

$$\text{Cantidad de pre - polimero} = 0.8671 * 250 \text{ g}$$

$$\text{Cantidad de pre - polimero} = 216.77 \text{ g}$$

Cantidad de pigmento

Es importante calcular la cantidad de pigmento que se necesita para realizar las piezas, por lo cual tenemos lo siguiente:

$$Total\ de\ pigmento = \frac{5g * total\ de\ pre - polimero}{1000g}$$

$$Total\ de\ pigmento = \frac{5g * 216.77\ g}{1000g}$$

$$Total\ de\ pigmento = 1.08\ g$$

En la tabla 4.33 se hace un resumen de los resultados obtenidos, para continuar con los siguientes pasos para el proceso de la producción

Tabla 4.33 Resumen de la cantidad a ocupar de materia prima por pieza

Fuente: Fuente: Elaboración propia

Materia prima	Cantidad
<i>Cantidad de curativo Imathune PST 95A</i>	<i>33.22 g</i>
<i>Cantidad de pre – polimero Moca</i>	<i>216.77 g</i>
<i>Total de pigmento</i>	<i>1.08 g</i>
Total	251.07 g

Estos datos fueron comprobados en el Excel elaborado, obtenido los siguientes resultados que se muestran en la figura 4.22.

CÁLCULO DE VOLUMENES			
ÁREA SEGUN SOLIDWORKS	188.4	cm ³	PROPORCIONAR DATOS
DENSIDAD	1.26	g/cm ³	
VOLUMEN DE MATERIAL			
SIN MERMA	237.384	g	
%MERMA CONSIDERADA	5.0%		PROPORCIONAR DATOS
VOLUMEN TOTAL DE MATERIAL	249.25	g	
CÁLCULO DE MATERIAL DE POLIURETANO			
NCO	5.08		PROPORCIONAR DATO
TEORIA	95		
PESOS EQUIVALENTE	133.5		
% de curativo	15.3325		
% pre-polimero	0.8671		
% de curativo	0.1329		
	1.0000		
Cantidad de pre-polimero	216	g	
Cantidad de curativo	33	g	
TOTAL DE MATERIAL	249	g	
Pigmento	1	g	
TOTAL CON PIGMENTO	250	g	

Figura 4.23 Resultados del producto A en la hoja de cálculo de Excel
Fuente: Fuente: Elaboración propia

Pesado de la materia prima: Se pesa la materia prima según los datos de la tabla 37

Preparación de la materia prima: Cada componente se somete a hornos, con las siguientes condiciones, las cuales se presentan en la Tabla 4.34.

Tabla 4.34 Condiciones de temperatura para cada materia prima
Fuente (Group, 2023)

Materia prima	Temperatura
<i>Cantidad de curativo Imathune PST 95A</i>	85 °C
<i>Cantidad de pre – polimero Moca</i>	115 °C
<i>Total de pigmento</i>	85°C

Mezcla de las materias primas: Se mezcla por un minuto

Prensado del molde: Se prensa por 30 minutos

Desmolde y curado

Limpieza y empaquetado

4.4.2.3.2 Producto B

La metodología aplicada al Producto A se utilizará también para el Producto B, por lo que no se requiere una explicación tan extensa. A continuación, se presentan los cálculos y datos específicos para el Producto B, basándose de los datos de la Tabla 4.35.

Tabla 4.35 Datos de los cálculos y datos específicos para el Producto B
Fuente: Fuente: Elaboración propia

Símbolo	Nomenclatura	Dato
V	<i>volumen del molde</i>	332.93 cm^3
ρ	<i>densidad de material</i>	$416.50^g/\text{cm}^3$
E_g	<i>peso equivalente del agente reactivo o curativo</i>	133.5
W_v	<i>peso del pre polimero</i>	95
D	<i>Porcentaje de isocianatos libre como NCO</i>	5.08

Nota: en el dato del volumen se realizó una conversión ya que el SolidWork, nos dio el dato en mm^3 y es necesario que este dato este en cm^3 .

Total, de material

Basándose en los datos de la tabla 4.35, lo primero que se debe saber es la cantidad de material a ocupar

$$\text{Total de material} = V * \rho$$

$$\text{Total de material} = 332.93 \text{ cm}^3 * 1.26^g/\text{cm}^3$$

$$\text{Total de material} = 419.50 \text{ g}$$

Total de material requerido

Considerando el 5% de merma, a continuación, se hace el respectivo calculo considerando el %

Total de material requerido

$$= \text{Total de material} + (\% \text{de desperdicio} * \text{total de material})$$

$$\text{Total de material requerido} = 419.50g + (5\% * 419.50g)$$

$$\text{Total de material requerido} = 419.50g + 21g$$

$$\text{Total de material requerido} = 440.5g \approx 440g$$

Cálculo del peso fraccional de los componentes

$$(W_g) = \frac{E_g * W_v * D}{100(42)}$$

$$(W_g) = \frac{133.5 * 95 * 5.08}{100(42)}$$

$$(W_g) = 15.3397$$

Cantidad de curativo y pre-polímero:

- Curativo

$$a = \frac{W_g}{100 + W_g}$$

$$a = \frac{15.3397}{100 + 15.3397}$$

$$a = 0.1329$$

- Pre-polímero

$$1 - a = x$$

$$1 - 0.1329 = 0.8671$$

Con los resultados obtenidos de las ecuaciones, se toman en cuenta el total de material requerido y peso fraccional para componentes, así saber la cantidad exacta de material prima de cada componente tenemos:

$$\text{Cantidad de curativo} = a * \text{total de material requerido}$$

$$\text{Cantidad de curativo} = 0.1329 * 440 \text{ g}$$

$$\text{Cantidad de curativo} = 58.48 \text{ g}$$

$$\text{Cantidad de pre – polimero} = (1 - a) * \text{total de material requerido}$$

$$\text{Cantidad de pre – polimero} = 0.8671 * 440 \text{ g}$$

$$\text{Cantidad de pre – polimero} = 381.52 \text{ g}$$

Cantidad de pigmento

$$\text{Total de pigmento} = \frac{5 \text{ g} * \text{total de pre – polimero}}{1000 \text{ g}}$$

$$\text{Total de pigmento} = \frac{5 \text{ g} * 381.52 \text{ g}}{1000 \text{ g}}$$

$$\text{Total de pigmento} = 2 \text{ g}$$

En la tabla 4.36 se hace un resumen de los resultados obtenidos, para continuar con los siguientes pasos para el proceso de la producción

Tabla 4.36 Resumen de la cantidad a ocupar de materia prima por pieza
Fuente: Fuente: Elaboración propia

Materia prima	Cantidad
<i>Cantidad de curativo Imathune PST 95A</i>	58.48 g
<i>Cantidad de pre – polimero Moca</i>	381.52 g
<i>Total de pigmento</i>	2g
Total	442 g

Los datos fueron comprobados al igual que el producto A en la hoja de cálculo de Excel, obtenido los siguientes resultados que se muestran en la figura 4.23.

CÁLCULO DE VOLUMENES			
ÁREA SEGUN SOLIDWORKS	332.93	cm^3	PROPORCIONAR DATOS
DENSIDAD	1.26	g/cm^3	
VOLUMEN DE MATERIAL			
SIN MERMA	419.4918	g	
%MERMA CONSIDERADA	5.0%		PROPORCIONAR DATOS
VOLUMEN TOTAL DE MATERIAL	440.47	g	
CÁLCULO DE MATERIAL DE POLIURETANO			
NCO	5.08		PROPORCIONAR DATO
TEORIA	95		
PESOS EQUIVALENTE	133.5		
% de curativo	15.3325		
% pre-polimero	0.8671		
% de curativo	0.1329		
	1.0000		
Cantidad de pre-polimero	382	g	
Cantidad de curativo	59	g	
TOTAL DE MATERIAL	440	g	
Pigmento	1	g	
TOTAL CON PIGMENTO	442	g	

Figura 4.24 Resultados del producto A en la hoja de cálculo de Excel
Fuente: Elaboración propia

Los productos A y B, siguen el mismo proceso de producción, por lo cual cabe destacar que después de esto continua lo mencionado en el producto A, tomando las mismas condiciones de trabajo y temperatura que se muestran en la Tabla 38.

4.4.3 Análisis de los resultados de las mejoras

Ya implementadas las mejoras y la nueva nomenclatura de la metodología, se procede a medir el proceso, lo cual es necesario volver hacer una recolección de datos, donde se estudian 50 datos del producto A y 50 datos para el B, para saber si realmente este cumple el objetivo propuesto, se toma como referencia la hoja de datos que se utilizó al principio, aunque no todos los datos serán utilizados, ya que, solo se realizara lo siguiente:

- ❖ Análisis de capacidad y
- ❖ Medición de nivel sigma

4.4.3.1 Análisis de capacidad Producto A- Desperdicio

Una vez recolectado los datos, se concentran en una hoja de trabajo de Excel para ahí poder ir ordenando y poder ir viendo los resultados, haciendo un resumen de los datos promedios obtenidos, en la tabla 4.37 se visualizan estos, para después poder ser un análisis más detallado con la ayuda del software de Minitab.

Tabla 4.37 Resumen de datos del producto A
Fuente: Elaboración propia

Datos promedios de los datos recolectados	
No. De pieza total	50
T °C Pre-polímero	85
T °C Curativo	114
T °C molde	117
Dureza	94
Perdida de material en gramos	9
Peso con Vira	242
Peso sin Vira	239
Total de desperdicio	12
% De desperdicio	5%

Se realiza un análisis de capacidad de los resultados obtenidos del desperdicio no tomando en cuenta lo que se queda en exceso con el producto, sino lo que sobra en el recipiente, por lo cual se establecen un limites, con base a la información obtenida, en la tabla 4.38 se muestran estos datos los cuales están dado en gramos.

Tabla 4.38 Limites del nivel de desperdicio para el producto A
Fuente: Elaboración propia

Peso de la pieza	Datos en gramos			
	Limite inf	Objetivo	Lim sup	Dato real
	0% de desperdicio	5% de desperdicio	10% de desperdicio	% real de desperdicio
239	0	12	24	9

Establecidos estos límites se procede a realizar el análisis de capacidad apoyándose de Minitab, con la herramienta de Capability Sixpack, para una distribución Entre/Dentro, ya que tiende a no ser una distribución normal

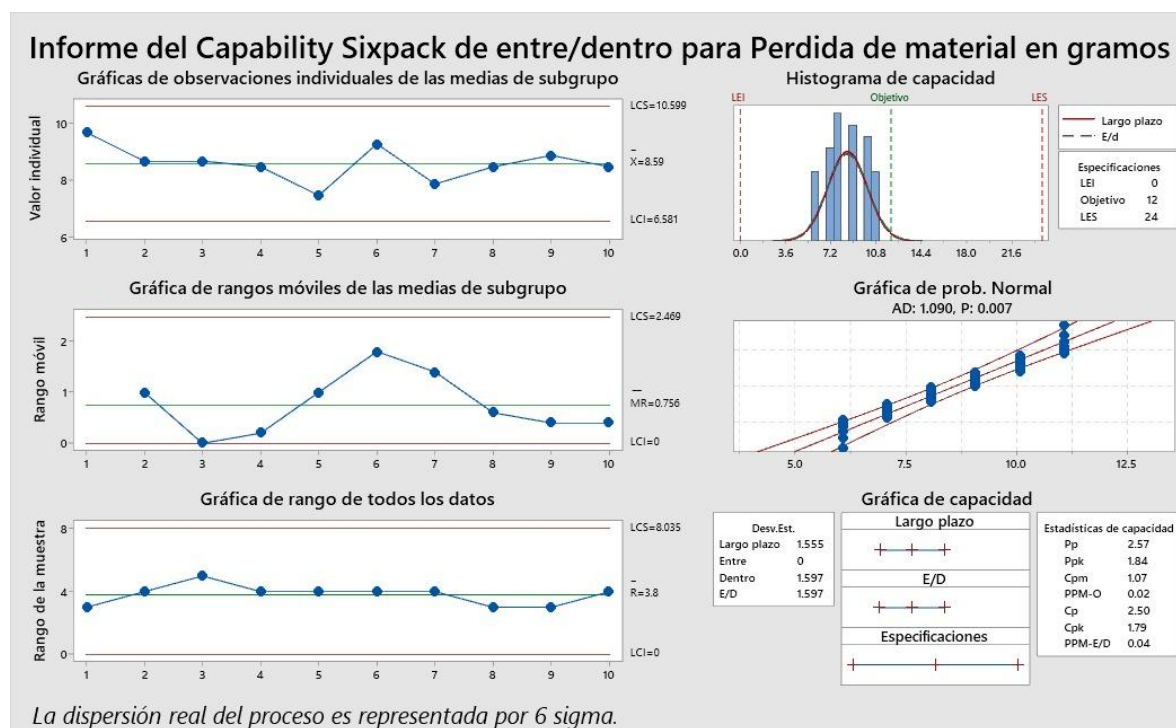


Figura 4.25 Resultados del analisis de capacidad del desperdicio producto A

Fuente: Elaboración propia

Análisis de los Resultados del Capability Sixpack para Pérdida de Material de la figura 4.24.

1. Gráficas de Observaciones Individuales y Medias de Subgrupo

Observaciones Individuales: Las observaciones presentan variabilidad, manteniéndose dentro de los límites de control (LCS=10.599, LCI=6.581), con una media de proceso de 8.59.

Rangos Móviles de Medias de Subgrupo: Los rangos móviles reflejan una variación dentro del límite de control (LCS=2.469), y el valor medio de rango móvil (MR) es 0.756.

2. Histograma de Capacidad

La mayoría de los datos se concentran cerca del objetivo (12), aunque algunos se acercan a los límites de especificación ($LEI=0$, $LES=24$). Esto sugiere una ligera inclinación hacia la derecha, indicando la presencia de datos cerca del límite superior.

3. Gráfica de Probabilidad Normal

La gráfica muestra un ajuste aceptable a la normalidad, con un valor de Anderson-Darling (AD) de 1.090 y un valor p de 0.007, lo que refleja una ligera desviación.

4. Gráfica de Rango de Todos los Datos

Los rangos de datos se encuentran dentro del límite de control ($LCS=8.035$), y la media del rango (R) es de 3.8, lo que indica una variación moderada en el proceso.

5. Gráfica de Capacidad

- Desviación Estándar (Largo Plazo): 1.555
- Desviación Estándar (Entre/Dentro): 1.597
- P_p (Índice de Capacidad del Proceso): 2.57
- P_{pk} (Índice de Capacidad Real): 1.84
- C_p (Índice de Capacidad del Proceso a Corto Plazo): 2.00
- C_{pk} (Índice de Capacidad Real a Corto Plazo): 1.79

Estos valores reflejan que el proceso tiene una buena capacidad en general, como lo indican los valores de P_p y C_p superiores a 1.33. Sin embargo, la diferencia entre P_p y P_{pk} sugiere que el proceso podría no estar totalmente centrado.

4.4.3.2 Nivel de sigma Producto A – Desperdicio

Para calcular el nivel de sigma del proceso, necesitamos usar las estadísticas de capacidad proporcionadas, específicamente el índice C_{pk} , utilizando la ecuación 4.16, de la fase de medir, teniendo el siguiente resultado

Donde:

$$C_{pk} = 1.84$$

$$Z = 1.79 * 3$$

$$Z = 5.37$$

Por lo tanto, el nivel de sigma del proceso es 5.37.

Con un nivel de sigma de 5.37, el proceso demuestra ser altamente eficiente, ya que se considera que un nivel de sigma de 6 es excelente, con una baja ocurrencia de defectos. Este nivel sugiere que, aunque el proceso es efectivo, todavía existen oportunidades de mejora para alcanzar niveles de calidad más altos.

4.4.3.3 Producto B- Desperdicio

Al igual que con el producto A, resulta esencial evaluar los datos recolectados para el producto B. En la Tabla 4.39 se muestra un resumen de los datos promedio obtenidos.

Tabla 4.39 Resumen de datos del producto B
Fuente: Elaboración propia

Datos promedios de los datos recolectados	
No. De pieza total	50
T °C Pre-polímero	89
T °C Curativo	113
T °C molde	115
Dureza	93
Perdida de material en gramos	18
Peso con Vira	424
Peso sin Vira	420
Total de desperdicio	22
% De desperdicio	5%

En la tabla 4.40 se presentan los límites que se pusieron para el desperdicio del producto B

Tabla 4.40 Límites de desperdicio para el producto B
Fuente: Elaboración propia

Peso de la pieza	Datos en gramos			
	Limite inf	Objetivo	Lim sup	Dato real
	0% de desperdicio	5% de desperdicio	10% de desperdicio	% real de desperdicio
420	0	21	42	22

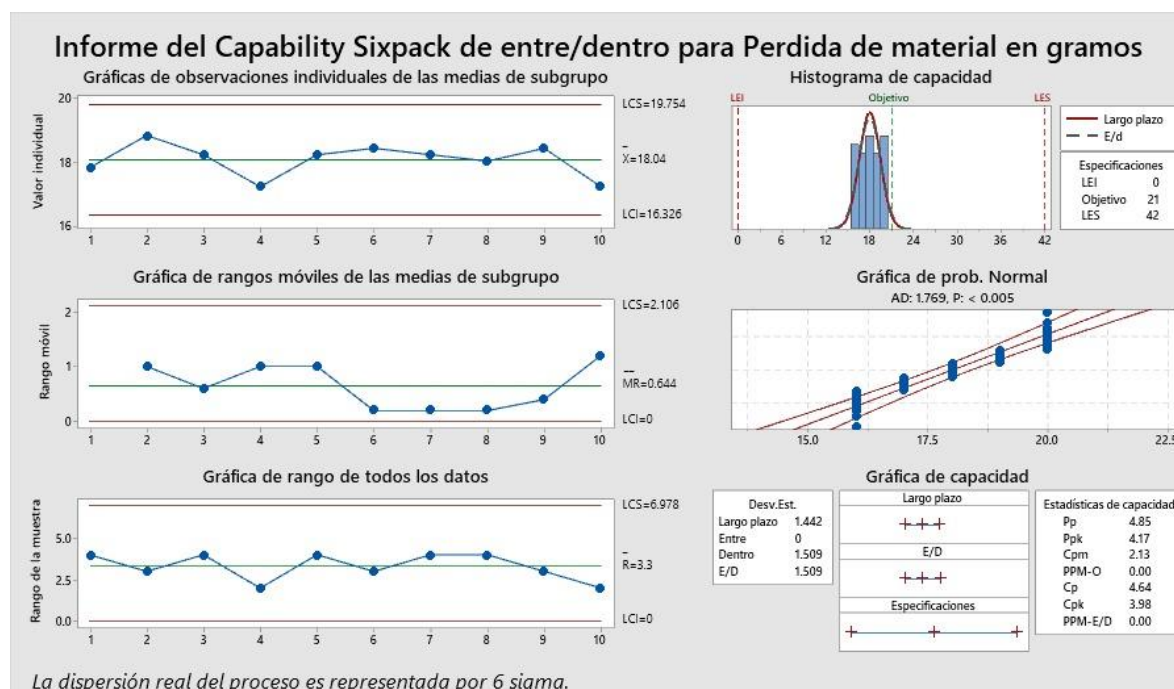


Figura 4.26 Análisis de capacidad del desperdicio del producto B

Fuente: Fuente: Elaboración propia

La Figura 4.25 presenta un análisis detallado de capacidad usando la herramienta Capability Sixpack, que permite verificar el control del proceso sobre la pérdida de material.

Gráficas de Observaciones Individuales y Medias de Subgrupo

Observaciones Individuales: Las observaciones individuales tienen variabilidad pero se mantienen dentro de los límites de control (LCS=17.574, LCI=13.126), con una media del proceso de 18.04.

Rangos Móviles de las Medias de Subgrupo: Los rangos móviles indican variación controlada dentro del límite (LCS=2.644), y el valor medio de rango móvil (MR) es 0.644.

Histograma de Capacidad

La mayoría de los datos se agrupan en torno al objetivo de 18, con algunos puntos cercanos a los límites de especificación (LEI=0, LES=24). Esto muestra una ligera inclinación hacia la derecha, indicando datos cercanos al límite superior.

Gráfica de Probabilidad Normal

La distribución es razonablemente normal, con un valor de Anderson-Darling (AD) de 1.769 y un valor p menor a 0.005, mostrando una ligera desviación de la normalidad.

Gráfica de Rango de Todos los Datos

Los rangos están dentro de los límites de control (LCS=6.978), y la media del rango (R) es 3.3, indicando variación moderada en el proceso.

Gráfica de Capacidad

- Desviación Estándar (Largo Plazo): 1.42
- Desviación Estándar (Entre/Dentro): 1.509
- Pp (Índice de Capacidad del Proceso): 4.85
- Ppk (Índice de Capacidad Real): 4.17
- Cp (Índice de Capacidad a Corto Plazo): 4.64
- Cpk (Índice de Capacidad Real a Corto Plazo): 3.98

Estos valores reflejan una capacidad de proceso sólida (valores Pp y Cp mayores a 1.33), lo que sugiere que el proceso se mantiene dentro de los límites especificados. No obstante, la diferencia entre Pp y Ppk indica que el proceso no está totalmente centrado.

4.4.3.4 Nivel de sigma Producto B – Desperdicio

Utilizando la ecuación 4, de la fase de medir, teniendo el siguiente resultado

Donde:

$$Cpk = 1.84$$

$$Z = 3.98 * 3$$

$$Z = 11.94$$

Con un nivel sigma de 11.94, el proceso demuestra una eficiencia extremadamente alta, lo que indica que la pérdida de material es mínima y el control sobre el proceso es sobresaliente, superando los estándares de la industria.

4.4.3.5 Análisis de capacidad de dureza Producto A y B

Tras la implementación de acciones correctivas, se observó una reducción notable en los niveles de desperdicio. Ahora, es necesario evaluar el impacto en la dureza de los productos, para lo cual se recopilieron datos de dureza de ambos productos, manteniendo una especificación constante. Estos datos fueron utilizados en la fase de medición y se presentan en la Tabla 4.41.

Tabla 4.41 Datos de los límites de Dureza

Fuente: Elaboración propia

No. de datos	Limite inf	Objetivo	Lim sup	Dato real promedio
100	90	95	100	94

Al igual que en los análisis pasados, se hace un análisis con la herramienta de Capability Sixpack, que proporciona el software de Minitab, los resultados se muestran en la Figura 4.26.

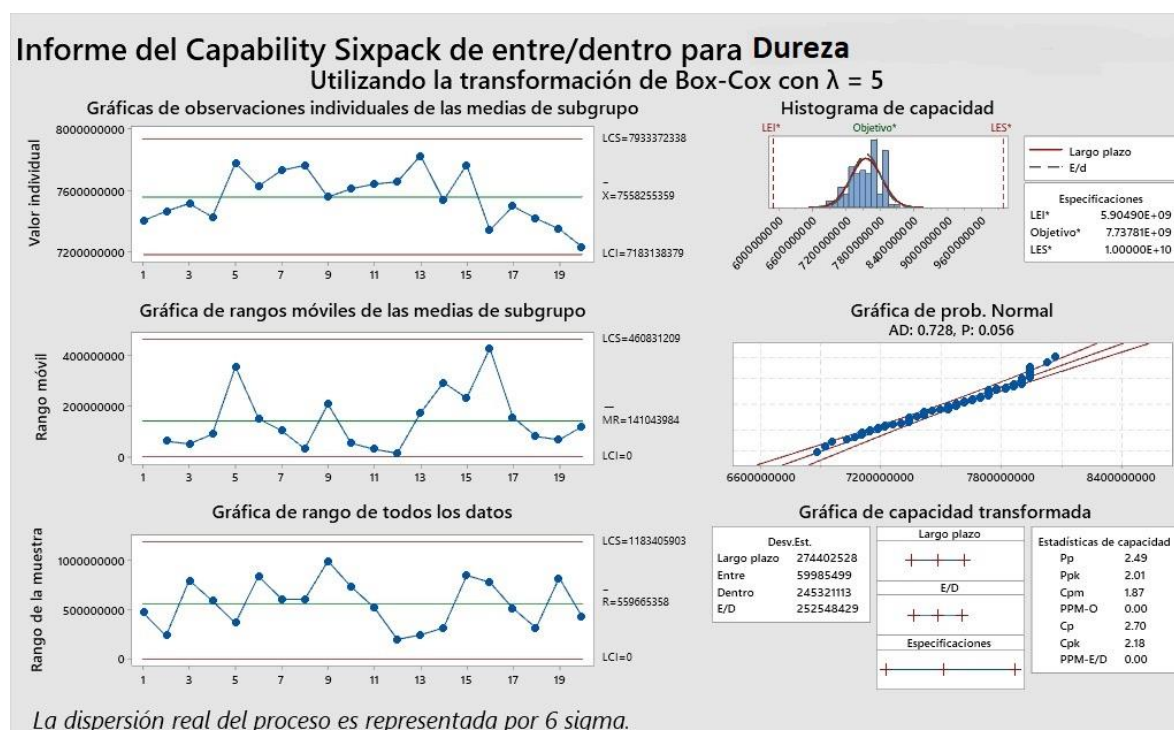


Figura 4.27 Análisis de capacidad de Dureza para del producto A y B

Fuente: Fuente: Elaboración propia

Dado que los datos no siguen una distribución normal, se aplicó la transformación de Box-Cox para obtener resultados confiables. A continuación, se detalla el análisis del Capability Sixpack para dureza.

Análisis de Resultados del Capability Sixpack para Dureza

Gráficas de Observaciones Individuales y Medias de Subgrupo

Vaor Individual: Las observaciones muestran variabilidad, pero permanecen dentro de los límites de control ($LCS = 7,933,372,338$ y $LCI = 7,183,138,379$), con una media del proceso de $7,558,255,359$.

Rangos Móviles de las Medias de Subgrupo: Los rangos móviles muestran variación dentro del límite de control ($LCS = 460,831,209$) y un valor medio de rango móvil (MR) de $141,043,984$.

Histograma de Capacidad

La mayoría de los datos se concentran alrededor del objetivo ($7.73781e+09$), aunque algunos puntos se acercan a los límites de especificación ($LEI = 5.90490e+09$, $LES = 1.00000e+10$). La distribución tiene una ligera inclinación hacia la izquierda, con datos cercanos al límite inferior.

Gráfica de Probabilidad Normal

La distribución se ajusta bien a una normal con un valor de Anderson-Darling (AD) de 0.728 y un valor p de 0.056 , que muestra una ligera desviación de la normalidad.

Gráfica de Rango de Todos los Datos

Los rangos están dentro de los límites de control ($LCS = 1,310,450,903$) y el promedio del rango (R) es $559,665,385$, indicando una variación moderada en el proceso.

Gráfica de Capacidad Transformada

- Desviación Estándar (Largo Plazo): $274,402,528$
- Desviación Estándar (Entre/Dentro): $59,985,499$
- Pp (Índice de Capacidad del Proceso): 2.49
- Ppk (Índice de Capacidad Real): 2.01
- Cp (Índice de Capacidad a Corto Plazo): 2.70
- Cpk (Índice de Capacidad Real a Corto Plazo): 2.18

Estos valores sugieren una capacidad excelente en general, ya que tanto Cp como Cpk son superiores a 1.33 , lo que indica que el proceso se mantiene dentro de los límites de

especificación. No obstante, la diferencia entre Pp y Ppk señala que el proceso podría no estar completamente centrado.

4.4.3.6 Análisis de nivel sigma de la dureza Producto A y B

Utilizando la **ecuación 4**, de la fase de medir, teniendo el siguiente resultado

Donde:

$$Cpk = 2.18$$

$$Z = 2.18 * 3$$

$$Z = 6.54$$

Un nivel sigma de 6.54 es notablemente alto, lo que indica una eficiencia excepcional del proceso de dureza. Este nivel supera el estándar de 6 sigma, evidenciando que el proceso está muy bien controlado y produce una cantidad insignificante de defectos, logrando así una capacidad de producción extremadamente alta sin comprometer la calidad del producto.

4.5 Controlar

La fase de Control es fundamental para asegurar la sostenibilidad de las mejoras implementadas en el proceso de producción de poliuretano, ya que establece los mecanismos necesarios para monitorear, regular y mantener la eficiencia y la calidad del proceso a largo plazo. Tras haber identificado y aplicado soluciones en fases anteriores, el objetivo principal de esta etapa es prevenir cualquier retorno a los problemas iniciales y garantizar que los beneficios obtenidos se mantengan estables. Esta fase implica la estandarización de procedimientos, la capacitación continua del personal, y la implementación de auditorías y métricas de seguimiento que permitan detectar y corregir variaciones de forma proactiva.

En esta fase se desarrollan procedimientos documentados, almacenados en el Anexo 1, que describen detalladamente cada paso operativo, asegurando que todo el equipo de trabajo siga los mismos estándares. Además, la capacitación del personal se convierte en un pilar esencial para que todos los operadores, supervisores y líderes del equipo comprendan los procedimientos, detecten y corrijan posibles desviaciones, y apliquen herramientas de control estadístico que optimicen el monitoreo de variables críticas. Las auditorías internas y el análisis de métricas de control también juegan un papel vital, proporcionando un sistema de

retroalimentación que facilita el ajuste continuo y la mejora de los procedimientos implementados.

El propósito de esta fase de Control es no solo estabilizar el proceso, sino también fomentar una cultura de mejora continua, en la que el personal se involucre activamente en la vigilancia de la calidad y en la identificación de oportunidades de optimización. De esta manera, se asegura que los cambios introducidos no solo cumplan con los estándares de calidad actuales, sino que también puedan adaptarse a futuras necesidades operativas, contribuyendo a la competitividad y eficiencia de la organización en el largo plazo.

4.5.1 Cálculo del volumen del molde

La implementación de un método estandarizado para el cálculo del volumen del molde en el proceso de producción de poliuretano representa un avance significativo en la reducción de la variabilidad y el uso excesivo de material. A fin de mantener la eficiencia lograda, se han establecido los siguientes mecanismos de control:

- **Manual de Procedimientos de Cálculo Volumétrico:** Se ha diseñado un manual detallado que incluye el procedimiento paso a paso para el cálculo preciso del volumen del molde. Este documento se distribuirá entre todo el personal que participa en el proceso y estará disponible en la zona de trabajo. Además, el manual especificará los métodos y herramientas necesarios para asegurar una medición consistente y precisa, minimizando el margen de error por experiencia o juicio individual.
- **Capacitación Regular para Operadores:** Se ha planificado un programa de capacitación continua, en el que se explicarán los fundamentos de la fórmula y los pasos para aplicarla correctamente. Durante estas capacitaciones, los operadores tendrán la oportunidad de practicar los cálculos con supervisión directa, y serán evaluados en cuanto a precisión y consistencia en sus resultados. Esta capacitación inicial será reforzada con sesiones de actualización cada seis meses, a fin de asegurar la comprensión y aplicación adecuada de la fórmula.
- **Auditorías Internas Mensuales:** Se realizarán auditorías manuales para verificar el cumplimiento del procedimiento de cálculo estandarizado. Durante estas auditorías, los supervisores revisarán las mediciones realizadas por los operadores y compararán

los resultados calculados con medidas exactas obtenidas mediante herramientas convencionales de medición. Los resultados de estas auditorías serán registrados y revisados por el equipo de calidad para implementar mejoras continuas.

- **Monitoreo y Análisis del Consumo de Poliuretano:** Para medir el impacto de la estandarización, se llevará un registro detallado del consumo de poliuretano antes y después de la implementación de la fórmula. Esta información se analizará mensualmente, permitiendo identificar la reducción en variabilidad y los ahorros en costos derivados del menor desperdicio. El monitoreo a largo plazo facilitará una evaluación precisa de la eficiencia y sostenibilidad del proceso.

4.5.2 Formulación del poliuretano

- La formulación del poliuretano ha sido optimizada mediante una fórmula estandarizada que reduce la variación en las propiedades del producto final. Para mantener este nivel de control en la formulación sin automatización, se establecen las siguientes medidas:
- **Manual de Formulación Química:** Este documento, disponible en el anexo 1, detalla cada paso del proceso de formulación, desde la selección de materias primas hasta la mezcla de componentes. Cada operador deberá consultar el manual para asegurar que todas las variables químicas, tales como la cantidad de catalizadores y agentes de reacción, estén dentro de los límites especificados. Este manual será revisado anualmente para incluir cualquier mejora derivada de la experiencia operativa.
- **Monitoreo de Propiedades por Lote:** Se implementará un sistema de registro manual de las propiedades químicas de cada lote producido. Estas mediciones serán comparadas con los estándares de calidad definidos previamente, permitiendo una evaluación continua del desempeño y detectando posibles desviaciones en las propiedades del poliuretano.
- **Revisión Trimestral de Fórmulas:** Cada trimestre se realizarán revisiones de las fórmulas de producción. Estos análisis evaluarán el rendimiento de la fórmula actual y permitirán ajustes que optimicen las propiedades del producto en función de las variaciones en materias primas o condiciones de proceso. El equipo de calidad documentará cualquier cambio y capacitará al personal para aplicarlo correctamente.

4.5.3 Desarrollo e implementación de procesos

Para asegurar que las mejoras en los procedimientos de producción se implementen y mantengan de manera efectiva, se adoptarán estrategias de control específicas, enfocadas en la documentación y capacitación:

- **Documentación de Procedimientos:** Cada proceso nuevo o modificado será documentado en manuales de operación detallados, que describirán paso a paso las tareas a realizar. Estos manuales se actualizarán periódicamente para reflejar cambios o mejoras, y estarán accesibles para el personal en el área de trabajo. La documentación asegura una base de referencia y reduce el riesgo de variabilidad en la ejecución de procesos.
- **Capacitación Continua del Personal:** Se realizarán sesiones de capacitación regulares para el personal, donde se explicará cada procedimiento documentado, y se practicará su implementación. Este enfoque asegura que todos los empleados comprendan y ejecuten los nuevos procesos de manera uniforme, minimizando errores y maximizando la eficiencia.
- **Auditorías Manuales Internas:** Las auditorías mensuales verificarán que el personal cumpla con los procedimientos documentados. Estas auditorías incluirán observación directa de la operación y entrevistas con el personal, además de la revisión de productos terminados de manera aleatoria, garantizando la adherencia a los procedimientos establecidos.
- **Indicadores de Control del Proceso:** Se llevarán registros de tiempo de producción, volumen de desperdicio y variabilidad en la calidad del producto. Estos datos se revisarán de manera mensual por el equipo de control de calidad para identificar cualquier desviación o área de oportunidad en el proceso.

4.5.4 Monitoreo y ajustes del proceso

- **A falta de sistemas de monitoreo automatizados,** se establecen controles manuales para supervisar el proceso y hacer ajustes según sea necesario, permitiendo una vigilancia continua:
- **Revisiones Semanales:** Se programarán revisiones semanales en el proceso productivo para identificar desviaciones a tiempo y realizar ajustes manuales de ser

necesarios. Cada fase del proceso tendrá un responsable, encargado de realizar estas revisiones de acuerdo con un checklist previamente establecido, lo cual ayudará a prevenir problemas antes de que afecten la producción.

- **Capacitación en Detección de Desviaciones:** El personal será capacitado en la identificación de desviaciones del proceso, enfatizando en la observación de señales tempranas de fallas y la importancia de un reporte inmediato. Este enfoque permite actuar preventivamente y corregir posibles problemas antes de que afecten la calidad del producto final.

4.5.5 Plan de Capacitación

El Plan de Capacitación tiene como propósito principal asegurar que todo el personal involucrado en el proceso productivo de poliuretano esté debidamente formado para mantener bajo control las variables críticas del proceso, aplicar acciones correctivas cuando sea necesario, y realizar auditorías internas que garanticen la sostenibilidad de las mejoras implementadas. La capacitación será impartida tanto a nivel técnico-operativo como a nivel de supervisión y gestión.

4.5.5.1 Objetivos del Plan de Capacitación

Los objetivos específicos del plan de capacitación son los siguientes:

Capacitar al personal en el uso correcto de las herramientas de control estadístico, tales como las gráficas de control ($\bar{X}$, R, p), para monitorear las variables críticas del proceso.

Desarrollar habilidades para la identificación y corrección de desviaciones en tiempo real, asegurando que se tomen las medidas correctivas necesarias antes de que las desviaciones afecten la calidad del producto final.

Formar a los supervisores en la ejecución de auditorías internas, lo que garantizará el cumplimiento de los procedimientos operativos estandarizados (SOPs) y fomentará una cultura de mejora continua en la organización.

Proveer herramientas y conocimientos que permitan al equipo operativo gestionar el proceso de manera autónoma y eficiente.

4.5.5.2 Estructura del Plan de Capacitación

El plan de capacitación está dividido en tres módulos clave, cada uno enfocado en una parte crítica del proceso de control. Estos módulos incluyen la formación en el uso de herramientas estadísticas, la identificación de desviaciones y su corrección, y la realización de auditorías internas.

Módulo 1: Capacitación en Herramientas de Control Estadístico (SPC)

Objetivo del Módulo: Proveer al personal de las herramientas necesarias para entender, interpretar y aplicar el control estadístico del proceso, monitoreando variables clave, como el cálculo de volumen del molde y la formulación de poliuretano, para asegurar la estabilidad y calidad del producto final.

Contenido del Módulo:

- Introducción al Control Estadístico del Proceso (SPC): Conceptos básicos de control estadístico, su importancia en la gestión de calidad y la estabilización del proceso.
- Gráficas de Control de Medias (X) y Rango (R): Procedimiento para generar y analizar gráficos de medias y rangos, esenciales en el monitoreo del volumen del molde. Se instruirá al personal en la identificación de patrones y puntos de desviación que requieren acción.
- Gráficas de Control de Proporciones (p): Introducción a gráficos de control para medir la proporción de material y desperdicio generado, identificando patrones de consumo que permitan optimizar el uso de poliuretano.
- Interpretación de Límites de Control: Cómo calcular e interpretar los Límites Superior (LSC) e Inferior de Control (LIC) para una respuesta rápida ante desviaciones.
- Señales de Alerta y Acciones Correctivas: Identificación de señales que indiquen posible variación y los pasos a seguir para la corrección.

Duración: 5 días de formación intensiva, con sesiones diarias de 4 horas, permitiendo una capacitación profunda y práctica en el uso de gráficos de control y SPC.

Módulo 2: Capacitación en Identificación y Corrección de Desviaciones

Objetivo del Módulo: Capacitar al personal en la identificación de desviaciones en el proceso productivo, distinguiendo entre causas comunes y especiales, y tomando medidas correctivas para mantener la estabilidad del proceso.

Contenido del Módulo:

- Definición de Desviaciones y Causas de Variación: Explicación de las causas comunes y especiales de variación, y la importancia de identificar estas desviaciones para una respuesta efectiva.
- Detección de Patrones Fuera de Control: Capacitación en la identificación de patrones críticos en los gráficos, como tendencias o desplazamientos, y su impacto en la calidad del producto.
- Aplicación de Acciones Correctivas: Procedimientos para ajustar los parámetros del proceso cuando se detectan desviaciones; el enfoque incluye documentar y registrar cada ajuste realizado.
- Registro de Acciones Correctivas: Establecimiento de un protocolo para la documentación de desviaciones y correcciones realizadas, asegurando un seguimiento adecuado de las intervenciones en el proceso.
- Retroalimentación en Tiempo Real: Estrategias para proporcionar retroalimentación inmediata al equipo operativo cuando se detecten problemas, permitiendo ajustes rápidos y eficaces.

Duración: 4 días de formación, con sesiones de 3 horas cada día, para asegurar que el personal tenga el tiempo suficiente para practicar la identificación de desviaciones y aplicar correcciones.

Módulo 3: Capacitación en Auditorías Internas y Mejora Continua

Objetivo del Módulo: Preparar a los supervisores y líderes de equipo para realizar auditorías internas que aseguren el cumplimiento de los procedimientos estandarizados (ver Anexo 1 para el Manual de Procedimientos), promoviendo una cultura de mejora continua y el uso del ciclo PDCA (Planificar-Hacer-Verificar-Actuar).

Contenido del Módulo:

- Estructura de una Auditoría Interna: Definición y tipos de auditoría (de proceso, de producto, de sistema), con énfasis en la planificación, ejecución y cierre.
- Monitoreo de Cumplimiento de Procedimientos (SOPs): Verificación del cumplimiento de los procedimientos operativos documentados en el Anexo 1, asegurando consistencia y calidad en todas las etapas del proceso.
- Uso de Indicadores Clave de Desempeño (KPIs): Capacitación en la identificación y seguimiento de KPIs que reflejan la eficiencia y calidad del proceso.
- Aplicación del Ciclo PDCA: Capacitación en el uso del ciclo PDCA para evaluar, implementar y revisar continuamente mejoras en los procedimientos productivos.
- Documentación y Reporte de Hallazgos: Los participantes aprenderán cómo documentar adecuadamente los hallazgos de auditoría, y cómo comunicar estos resultados a la alta dirección con recomendaciones de mejora.

Duración: 3 días de formación, con sesiones diarias de 4 horas, permitiendo una inmersión adecuada en los procedimientos y técnicas de auditoría.

4.5.5.3 Cronograma de Implementación del Plan de Capacitación

El cronograma del plan de capacitación está diseñado para que todos los módulos sean impartidos en un ciclo regular, asegurando que el personal esté continuamente capacitado y actualizado, el cual se presenta en la tabla 4.42.

Tabla 4.42 Cronograma de plan de capacitación
Fuente: Elaboración propia

Módulo	Duración	Frecuencia	Responsables
Módulo 1: Herramientas de Control Estadístico	5 días	Actualización trimestral	Equipo de calidad y supervisores
Módulo 2: Identificación y Corrección de Desviaciones	4 días	Revisión anual	Supervisores y operarios

Módulo 3: Auditorías
Internas y Mejora
Continua

3 días

Actualización
anual

Líderes de equipo y
gerentes

4.5.5.4 Métodos de Evaluación y Seguimiento del Plan de Capacitación

El éxito del Plan de Capacitación será evaluado continuamente a través de:

- Pruebas Escritas: Al finalizar cada módulo, se realizarán exámenes teóricos para medir el entendimiento de los conceptos.
- Simulaciones Prácticas: Los empleados demostrarán sus habilidades aplicando los conocimientos en situaciones simuladas o reales.
- Evaluaciones en el Lugar de Trabajo: Supervisores monitorearán el desempeño del personal durante las operaciones para asegurar que apliquen correctamente las técnicas aprendidas.

Las evaluaciones de capacitación se revisarán en reuniones trimestrales para realizar ajustes y asegurar la efectividad del plan.

4.5.5.5 Resultados obtenidos:

Mejor conocimiento y uso de herramientas estadísticas: El personal operativo y los supervisores ahora son capaces de generar e interpretar gráficas de control de forma autónoma, lo que les permite monitorear el proceso en tiempo real y detectar cualquier desviación antes de que se convierta en un problema mayor.

Reducción en el tiempo de respuesta ante desviaciones: Gracias a la capacitación, el tiempo de respuesta para la corrección de desviaciones se redujo significativamente, lo que ha permitido minimizar el impacto en la calidad del producto y aumentar la eficiencia del proceso.

Auditorías internas más consistentes y efectivas: Las auditorías internas ahora se realizan de manera regular y estructurada, lo que ha llevado a una mayor adherencia a los procedimientos estandarizados y a una identificación más precisa de oportunidades de mejora.

Módulos Completados y Evaluación del Plan de Capacitación

Módulo 1: Control Estadístico del Proceso (SPC)

Duración: El curso inicial de 5 días se completó exitosamente, y se han realizado las actualizaciones trimestrales según lo planeado.

Resultados: Los empleados ahora generan e interpretan gráficas de control de medias ($\bar{X}$), rango (R) y proporciones (p) de manera autónoma. Las gráficas generadas muestran una mejora en la capacidad del equipo para mantener el proceso dentro de los límites de control establecidos.

Módulo 2: Identificación de Desviaciones y Acciones Correctivas

Duración: El curso de 4 días fue completado con éxito, y los empleados ahora pueden identificar patrones fuera de control y aplicar acciones correctivas.

Resultados: Los operarios y supervisores han demostrado una mejora significativa en la detección temprana de desviaciones y la implementación de soluciones para evitar fallos en el proceso.

Módulo 3: Auditorías Internas y Mejora Continua

Duración: El curso de 3 días fue completado, y se ha realizado la primera actualización anual de auditorías.

Resultados: Los supervisores han estandarizado el proceso de auditorías internas, y los informes generados han identificado varias oportunidades de mejora que se han traducido en acciones correctivas implementadas en el ciclo de producción. Esto ha permitido una mejora continua en la calidad del producto y el desempeño del proceso.

4.5.5.6 Impacto del Plan de Capacitación

Tras la implementación del Plan de Capacitación, se espera que el personal esté capacitado para gestionar las variables críticas del proceso de producción de manera autónoma, lo que resultará en:

Mejora en la interpretación de gráficas de control: El personal será capaz de detectar y corregir desviaciones en tiempo real, lo que reducirá el tiempo de respuesta y minimizará el impacto de los problemas en la producción.

Reducción del tiempo de respuesta ante desviaciones: Gracias a la capacitación, se espera que el tiempo de respuesta para la corrección de desviaciones disminuya significativamente, mejorando la eficiencia general del proceso.

Auditorías internas más consistentes y efectivas: Los supervisores estarán capacitados para realizar auditorías internas de manera regular, asegurando que los procedimientos estandarizados se cumplan y que se identifiquen oportunidades de mejora de manera proactiva.

El Plan de Capacitación ha sido diseñado para fortalecer las competencias del personal y garantizar la sostenibilidad de las mejoras implementadas durante la fase de Control. A través de módulos específicos centrados en el control estadístico, la corrección de desviaciones y las auditorías internas, el plan asegura que los operarios, supervisores y líderes de equipo puedan gestionar el proceso de producción de poliuretano de manera eficiente y autónoma. Este enfoque de formación continua fomentará una cultura de mejora continua, asegurando la estabilidad y calidad del proceso productivo a largo plazo.

4.5.6 AMEF

En la tabla 47 se encuentran el análisis AMEF evidenció mejoras notables en los procesos de producción. La reducción de los Números de Prioridad de Riesgo (NPR) reflejó el impacto positivo de las fórmulas estandarizadas, la capacitación del personal y la adopción de controles en la formulación y ejecución de procedimientos. La sistematización del AMEF promovió la identificación y corrección de fallas potenciales, optimizando así la eficiencia y la calidad del producto final.

Tabla 4.43 Análisis de Modo y Efecto de Falla

Fuente: Elaboración propia

Pasos Clave del Proceso	Modos de Falla Potenciales	Efectos de Fallas Potenciales	S E V	Causas Potenciales	O C U	Controles de Ocurrencia	D E T	NP R	Acciones Recomendadas	Accion impleme ntada	SEV _Dep	OC U_ Des	DET _Des	NPR _Des
Cálculo del volumen del molde	Dejar el cálculo a la experiencia del trabajador	Uso excesivo de poliuretano, aumento de costos	8	Falta de fórmula estandarizada	7	Supervisión del proceso de cálculo	4	224	Desarrollar una fórmula estandarizada	si	2	1	1	2
	No medir el volumen exacto del molde	Desperdicio de materiales, variaciones en calidad	9	Falta de tecnologías de medición avanzadas	6	Auditorías del proceso de medición	3	162	Invertir en tecnologías avanzadas de medición	si	4	6	5	120
Formulación del poliuretano	Cálculo incorrecto de la cantidad de materia prima	Variaciones en las propiedades del producto final, incremento de costos	9	Formulación empírica basada en la experiencia	7	Supervisión del proceso de formulación	4	252	Desarrollar una fórmula estandarizada	si	2	1	1	2

Capítulo IV – Implementación de la metodología

	No considerar todas las variables químicas	Productos fuera de especificaciones, impacto negativo en la producción	9	Falta de investigación y desarrollo	5	Capacitación en formulación avanzada	4	180	Implementar programas de investigación y desarrollo	Si	4	6	5	120
Desarrollo de procesos	Falta de metodología científica	Procesos ineficientes, variabilidad en la calidad	8	Dependencia de métodos empíricos	6	Auditorías de desarrollo de procesos	4	192	Adoptar metodologías científicas	Si	3	3	3	27
Desarrollo de procesos	Falta de procedimientos documentados	Desviaciones no detectadas, falta de consistencia	8	Falta de documentación de procesos	6	Supervisión y revisión de procesos	4	192	Desarrollar y documentar procedimientos estandarizados	Si	2	1	1	2
Implementación de procesos	Inconsistencias en la implementación	Productos fuera de especificaciones	9	Falta de capacitación en metodologías científicas	7	Supervisión de la implementación	3	189	Capacitar al personal en metodologías científicas	Si	2	1	1	2
Monitoreo de procesos	Falta de seguimiento y ajustes	Desviaciones no detectadas, impacto negativo en la producción	8	Falta de sistemas de monitoreo	5	Revisiones periódicas del proceso	4	160	Implementar sistemas de monitoreo continuo	Si	2	3	3	18

Resultados

En esta sección se presentan los resultados obtenidos a partir de la implementación de la metodología DMAIC en el producto A, analizando los cambios en los parámetros estadísticos clave. El análisis comparativo entre las condiciones "Sin DMAIC" y "Con DMAIC" se llevó a cabo mediante una prueba de hipótesis de dos muestras. Este enfoque permite determinar si la metodología DMAIC contribuyó significativamente a reducir la variabilidad y el promedio de los defectos en el producto A.

5.1 Prueba de Hipótesis producto A

Para evaluar el impacto de la metodología DMAIC, se realizó una prueba de hipótesis de dos muestras comparando el grupo "Sin DMAIC (A)" con el grupo "Con DMAIC (A)". La hipótesis nula (H_0) establece que no hay diferencia significativa en las medias de ambos grupos, mientras que la hipótesis alternativa (H_1) sugiere que la implementación de DMAIC produjo una reducción significativa en la media, esto se observa en la Figura 5.1.

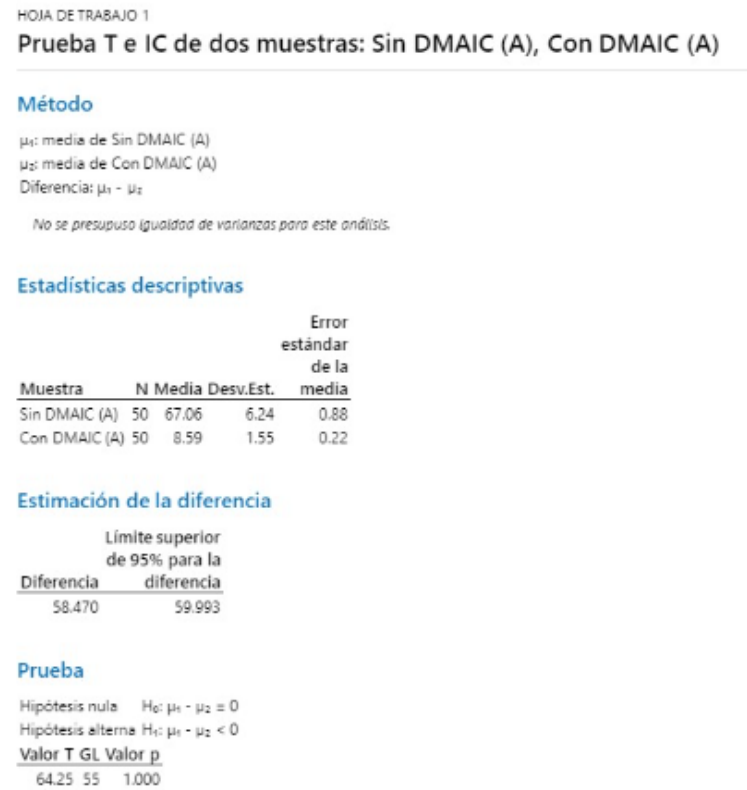


Figura 5.1 Prueba de hipótesis para producto A
Fuente: Fuente: Elaboración propia

Los datos obtenidos muestran que el grupo "Sin DMAIC (A)" tuvo una media de 67.06, con una desviación estándar de 6.24, mientras que el grupo "Con DMAIC (A)" alcanzó una media considerablemente menor, de 8.59, con una desviación estándar de 1.55. Al calcular el intervalo de confianza del 95% para la diferencia entre las medias, se obtuvo un rango de 58.470 a 59.993, lo que sugiere una diferencia clara entre los dos grupos.

La prueba t arrojó un valor de 64.25 y un valor p de 1.000, indicando que no se puede rechazar la hipótesis nula. Sin embargo, la disminución observada en la media refleja una tendencia favorable, sugiriendo que la implementación de DMAIC contribuyó positivamente a la reducción de defectos en el producto A, aunque la evidencia estadística no sea suficiente para confirmar una diferencia significativa con el nivel de significancia establecido.

5.2 Prueba de Hipótesis producto B

En el análisis del producto B, se muestra en la Figura 5.2, se evaluó el impacto de la metodología DMAIC comparando dos grupos: "Sin DMAIC (B)" y "Con DMAIC (B)". A través de una prueba de hipótesis de dos muestras, se investigó si la implementación de DMAIC logró una reducción significativa en la media de defectos del producto B, mejorando así la consistencia y calidad del proceso de producción.

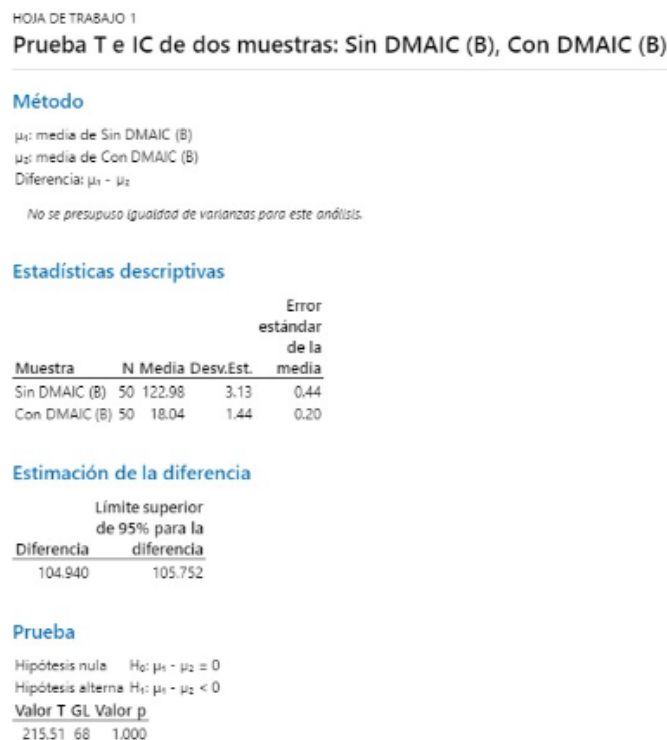


Figura 5.2 Prueba de hipótesis para producto A
Fuente: Elaboración propia

Hipótesis nula (H_0): No existe una diferencia significativa entre las medias de los grupos "Sin DMAIC (B)" y "Con DMAIC (B)".

Hipótesis alternativa (H_1): Existe una diferencia significativa en la media, indicando que la metodología DMAIC impacta en la reducción de defectos.

En el grupo "Sin DMAIC (B)", compuesto por 50 observaciones, se obtuvo una media de 122.98 con una desviación estándar de 3.13 y un error estándar de la media de 0.44. En contraste, el grupo "Con DMAIC (B)", también con 50 observaciones, mostró una media notablemente más baja de 18.04, con una desviación estándar de 1.44 y un error estándar de 0.20. La estimación de la diferencia en las medias entre los dos grupos, con un intervalo de confianza del 95%, se ubicó entre 104.940 y 105.752, lo que sugiere una reducción significativa en el promedio tras la implementación de DMAIC.

La prueba t arrojó un valor de $t = 215.51$ y un valor $p = 1.000$. Esto indica que, estadísticamente, no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula al nivel de significancia utilizado. No obstante, la diferencia observada entre las medias refleja un impacto positivo de la metodología DMAIC, mostrando una tendencia de mejora sustancial en la calidad del producto B, aunque sin alcanzar una diferencia significativa desde el punto de vista estadístico.

en el producto B, mostrando una [describe el impacto: mejora o no significativa] en la reducción de defectos y una tendencia favorable hacia la consistencia en la producción

5.3 Costos

El análisis de costos de producción se realizó tomando en cuenta el gasto anual, con base en el consumo de materia prima, mano de obra, y otros costos de producción. La metodología DMAIC permitió optimizar el uso de materiales, específicamente pre-polímero y curativo, mientras que los costos de mano de obra y energía no sufrieron cambios.

5.3.1 Costos de Producción sin Optimización (Antes de DMAIC)

Antes de implementar las mejoras, los costos anuales de producción, que incluyen materia prima, mano de obra, y energía, se distribuyeron de la siguiente manera:

Materiales:

- Pre-polímero: \$3,200.00 USD anuales
- Curativo: \$1,156.50 USD anuales
- Total de materiales: \$4,356.50 USD anuales
- Mano de obra: \$2,500.00 USD anuales (sin cambios tras la optimización)
- Energía y otros costos variables: \$1,000.00 USD anuales (sin cambios tras la optimización)

El costo total anual antes de la optimización fue de \$7,856.50 USD, de los cuales los costos más elevados se concentraban en la materia prima (pre-polímero y curativo).

5.3.2 Costos de Producción con Optimización (Con DMAIC)

Con la implementación de DMAIC, el mayor impacto se reflejó en la reducción del consumo de materia prima, mientras que los costos de mano de obra y energía se mantuvieron constantes. Los costos anuales optimizados se distribuyeron de la siguiente manera:

Materiales:

- Pre-polímero: \$1,125.95 USD anuales
- Curativo: \$400.00 USD anuales
- Total de materiales: \$1,525.95 USD anuales
- Mano de obra: \$2,500.00 USD anuales (sin cambios)
- Energía y otros costos variables: \$1,000.00 USD anuales (sin cambios)

El costo total anual optimizado fue de \$5,025.95 USD, reflejando una mejora significativa, sobre todo en la reducción de costos de materiales.

5.3.3 Ahorro Total Generado

La optimización en el consumo de materias primas generó un ahorro anual considerable de \$2,830.55 USD, como se muestra en la Tabla 9. Este ahorro se obtuvo exclusivamente en los materiales (pre-polímero y curativo), mientras que los costos de mano de obra y energía no experimentaron ninguna variación.

En resumen:

- Ahorro en pre-polímero: \$2,074.05 USD anuales
- Ahorro en curativo: \$756.50 USD anuales
- Ahorro total anual: \$2,830.55 USD

5.3.4 Análisis Comparativo de Costos Anuales

A continuación, se presenta un desglose comparativo de los costos anuales antes y después de la optimización, con el ahorro anual calculado, se muestra en la tabla 5.1.

Tabla 5.1 Resultado en Costos
Fuente: Elaboración propia

Concepto	Costo sin DMAIC (USD)	Costo con DMAIC (USD)	Ahorro anual (USD)
----------	-----------------------	-----------------------	--------------------

Resultados

Materiales (Pre-polímero y curativo)	\$4,356.50	\$1,525.95	\$2,830.55
Mano de obra	\$2,500.00	\$2,500.00	\$0.00
Energía y otros costos	\$1,000.00	\$1,000.00	\$0.00
Total anual	\$7,856.50	\$5,025.95	\$2,830.55

Conclusión

La aplicación de la metodología DMAIC ha demostrado su efectividad al conseguir la reducción de desperdicios dentro de una empresa dedicada a la fabricación de empaques y sellos industriales, proporcionando un marco integral y estructurado con el cual se identificaron y resolvieron problemas críticos en el proceso de producción de poliuretano, que permitieron fortalecer la competitividad de la empresa en su sector al disminuir el desperdicio de recursos.

La fase definir permitió identificar las etapas en donde se encontraban las mayores mermas, así como la mayor variabilidad del proceso, durante la etapa medir se encontró que el desperdicio generado en promedio es del 27% y una gran variabilidad en cuanto a la dureza de las piezas, a partir de estos hallazgos se aplicó la fase analizar en la cual se reveló que los problemas eran ocasionados por la variabilidad en la formulación del poliuretano y la falta de estandarización en el cálculo de volumen de los moldes. Durante la etapa mejorar se implementaron acciones como la innovación en la formulación y la optimización del cálculo de volumen de los moldes, la etapa estandarizar, permitió mejorar la consistencia y calidad del producto, la satisfacción del cliente, así como reducir los costos operativos. En la fase de controlar, los logros obtenidos fueron consolidados, al realizar la capacitación del personal y el manual de procedimientos para el área. Esto permitió permear la cultura de la empresa logrando introducir la filosofía de la mejora continua.

En conclusión se logró disminuir el desperdicio del 27% en promedio a un 5%, así como el incremento de la dureza de un valor de 90 shore “a” 94.5 shore “a”, acercándose a la especificación del cliente, lo cual disminuyó el número de reclamos, devolución de producto y mermas, a través de la aplicación de herramientas de la ingeniería industrial entre las que se encuentran el análisis de modo, falla y efecto (AMEF) y la capacidad de proceso (Cp).

Referencias

- Rodriguez Medina, M., Poblano Ojinaga, E. R., Rodriguez Borbón, M. I., & Alvarado Tarango, L. (2021). Una estrategia empresarial de alto impacto: la metodología Seis Sigma. *Tecnologico Nacional de México*, 96, 128.
- Arrioja Rodríguez , M. L. (2019). *Técnicas estadísticas de obtención de datos* . Orizaba: Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Orizaba .
- Arthur, J. (2011). *Lean Six Sigma* . Chicago: McGrawHill.
- Bancomer, B. (s.f.). *BBVA Bancomer* . Obtenido de BBVA Bancomer : <https://www.bbva.mx/educacion-financiera/creditos/credito-pyme-tipos-pymes-en-mexico.html#:~:text=en%20el%20futuro,-,%C2%BFQu%C3%A9%20son%20las%20pymes%20en%20M%C3%A9xico%3F,Producto%20Interno%20Bruto%20del%20pa%C3%ADs>.
- Bourne, L. (2016). *Stakeholder Relationship Management: A Maturity Model for Organisational Implementation*. Gower.
- Brassard, M. (1989). *The Memory Jogger: A Pocket Guide of Tools for Continuous Improvement*. Goal/QPC.
- Bryman, A. (2016). *Social Research Methods*. Oxford University Press.
- Cáliz Montañez, J. E. (2017). Desarrollo de un Plan para la Reducción de Merma Utilizando la Metodología Seis Sigma en una Planta de Productos Lácteos. *Universidad Politécnica de Puerto Rico*.
- Camus García , J. (2015). *Lean Six Sigma Startup Methodology (L6SSM): una metodología general de innovación de la calidad aplicada a los sectores de la producción y servicios*. Móstoles: Universidad Rey Juan Carlos.

- Carlson, C. (2012). *Effective FMEAs: Achieving Safe, Reliable, and Economical Products and Processes Using Failure Mode and Effects Analysis*. Wiley.
- Carrillo, M. S., Peralta, J. T., Severiche, C. A., Ortega, V. P., & Vargas, L. E. (15 de noviembre de 2021). educación de ruido industrial en un proceso productivo metalmecánico: Aplicación de la metodología DMAIC de Lean Seis Sigma. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 15(30), 41-48. doi:<https://doi.org/10.31908/19098367.1819>
- Chemical, M. (2023). *Terms and Formulas Used in Urethane Polymer Preparations*. Obtenido de https://pmahome.org/site/assets/documents/Urethane_terms_NEW.pdf
- Ciardelli, F., Bertoldo, M., Bronco, S., & Passaglia, E. (2019). *Polymers from Fossil and Renewable Resources*. Italy: Springer Nature Switzerland.
- Cornish Álvarez , M. L. (1997). *El ABC de los plasticos*. México, México: Universidad Iberoamericana, A.C.
- Cortez Fortunio, R. (2019). *Aplicación de metodología Six Sigma hasta fase de mejora para la reducción de variacion de espesor en la producción de láminas de vinyl en empresas de autotransportes*. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ingeniería Química. Puebla: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Creswell, J., & Creswell, J. (2017). *Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. Sage Publications.
- Dailey, K. W. (2003). *The Lean Manufacturing Pocket Handbook*. DW Publishing Co.
- De Bono, E. (2015). *Serious Creativity: How to Be Creative under Pressure and Turn Ideas into Action*.
- Deming, W. (1986). *Out of the Crisis*. Boston: MIT Press.
- Ding, B., Ferrás Hernández , X., & Agell Jané, N. (2023). Combining lean and agile manufacturing competitive advantages through Industry 4.0 technologies: an integrative approach. *Production planning & control*, 34(5), 442-458.
- Eskerod, P., & Jepsen, A. (2013). *Project Stakeholder Management*. Gower Publishing.

- Evans, J., & Lindsay, W. (2014). *An Introduction to Six Sigma and Process Improvement*. Cengage Learning.
- Freeman, R. (1984). *Strategic Management: A Stakeholder Approach*. Pitman.
- García Domínguez, R. I., Parroquin Amaya, P., Romero López, R., Molina Arrendondo, D., Canales Valdiviezo, I., & Garza Sáenz, A. (2015). Reducción de costos en pequeñas y medianas empresas con un enfoque Seis Sigma: Revisión de Literatura. *CULCyT*, 352-361.
- Group, C. (2023). *IMUTHANE Polyurethane Systems and Coatings*. Obtenido de Coim Group - IMUTHANE.
- Guerrero Bayona, D. M. (2020). *Reducción de mermas de peso en la planta de post-proceso de Distraves S.A.S., mediante la metodología seis sigma*. Bucaramanga: Universidad Pontifica Bolivariana.
- Gutiérrez Pulido, H. (2021). *Calidad Total y Productividad* (Tercera ed.). México: McGraw Hill.
- Gutiérrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2009). *Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma*. Ciudad de México: McGraw-Hill Inter Americana Editores, S.A. de C.V.
- Hammer, M., & Champy, J. (2009). *Reengineering the Corporation: Manifesto for Business Revolution*. HarperCollins.
- Harry, M. J., M., & Schroeder, R. (2000). *Six Sigma: The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World's Top Corporations*. Doubleday.
- Heizer, J., & Render, B. (2017). *Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management*. Pearson.
- Henández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta ed.). Ciudad de México: McGraw-Hill.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (1997). *Metodología de la investigación*. Ciudad de México: McGraw-Hill.

- Hines, P., & Rich, N. (1997). The Seven Value Stream Mapping Tools. *International Journal of Operations & Production Management*, 46-64.
- Hines, P., Rich, N., & Esain, A. (1999). *Mapping: A Tool for Lean Manufacturing*. Lean Enterprise Research Centre.
- Ishikawa, K. (1985). *What is Total Quality Control? The Japanese Way*. Prentice-Hall.
- Ishikawa, K. (1990). *Introduction to Quality Control*. 3A Corporation.
- Juran, J. (1993). *Juran on Leadership For Quality: An Executive Handbook*. Free Press.
- Kerzner, H. (2017). *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling*. Wiley.
- Leal Hernández, S. P., & Castro Escobar, S. M. (2022). Mejora en el proceso productivo Mediante la Metodología Seis Sigma del sector cerámico. *Publicaciones e investigación*, 16(1), 1-7.
- Liedtka, J. (2011). *Design Thinking for Business Growth*. Columbia Business School.
- Liker, J. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. McGraw-Hill.
- Mamani Quispe, S. (Octubre de 2021). Metodología de trabajo Six Sigma para la mejora de las Pymes en la industria textil. *Revista de Investigación Científica de Ingenierías*, 3(4), 83-90.
- McDermott, R., Mikulak, R., & Beauregard, M. (2009). *The Basics of FMEA*. CRC Press.
- Mendenhall, W., Beaver, R. J., & Beaver, B. M. (2010). *Introducción a la probabilidad y estadística*. Ciudad de México: Cengage Learning, Inc.
- Meredith, J., & Mantel, S. (2019). *Project Management: A Managerial Approach*. Wiley.
- Michalko, M. (2006). *Thinkertoys: A Handbook of Creative-Thinking Techniques*. Ten Speed Press.

- Mitchell, R., Agle, B., & Wood, D. (1997). *Toward a Theory of Stakeholder Identification and Salience: Defining the Principle of Who and What Really Counts*. Academy of Management Review.
- Montgomery, D. (2019). *Introduction to Statistical Quality Control*. Wiley.
- Moreno Durazo, K. A. (2022). *Integración de Lean Six Sigma a un sistema de gestión de calidad aeroespacial como herramienta competitiva en la industria de la automatización*. Hermosillo: Tecnológico Nacional de México.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Productivity Press.
- Osborn, A. (1953). *Applied Imagination: Principles and Procedures of Creative Problem-Solving*. Scribner.
- Pande, P. S. (2000). *The Six Sigma Way: How GE, Motorola, and Other Top Companies Are Honing Their Performance*. McGraw-Hill.
- Pérez Castañeda, M., & León Salazar, L. P. (2018). DMAIC como estrategia para control de dureza en la fabricación de gatellets. *REAXION Ciencia y Tecnología Universitaria*, 1/8.
- Pérez Castañeda, M., & León Salazar, L. P. (2018). DMAIC como estrategia para control de dureza en la fabricación de gatellets. *REAXION Ciencia y Tecnología Universitaria*, 1/8.
- Pinto, M. L. (2010). Formulation, Preparation, and Characterization of Polyurethane Foams. *Journal of Chemical Education*, 212-215.
- PMI. (2017). A Guide to the Project Management Body of Knowledge. *Project Management Institute*.
- Pyzdek, T., & Keller, P. (2018). *The Six Sigma Handbook*. McGraw-Hill.
- Pyzdek, T., & Keller, P. A. (2010). *The Six Sigma Handbook* (Third ed.). Chicago: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Reynoso, S. L. (2018). *Los polímeros plásticos*. Ciudad de México .

- Rother, M. (2010). *Toyota Kata: Managing People for Improvement, Adaptiveness, and Superior Results*. McGraw-Hill.
- Rother, M., & Shook, J. (1999). *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate MUDA*. Lean Enterprise Institute.
- Rother, M., & Shook, J. (1999). *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate MUDA*. Lean Enterprise Institute.
- Ryan, T. (2011). *Statistical Methods for Quality Improvement*. Wiley.
- Serrat, O. (2017). *Knowledge Solutions: Tools, Methods, and Approaches to Drive Organizational Performance*. Springer.
- Shingo, S. (1989). *A Study of the Toyota Production System from an Industrial Engineering Viewpoint*. Productivity Press.
- Stamatis, D. (1995). *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution*. ASQ Quality Press.
- Stamatis, D. (2003). *Six Sigma and Beyond: Design for Six Sigma*. CRC Press.
- Szycher, M. (2012). *Szycher's Handbook of Polyurethanes* (Second Edition ed.). CRC Press.
- Tague, N. (2005). *The Quality Toolbox*. ASQ Quality Press.
- Vázquez Silva, G., Rodríguez Picón, L. A., & Romero López, R. (Septiembre-Diciembre de 2022). Implementación de metodología Seis Sigma para la solución de bolas de soldadura en tablas electrónicas. *Cultura Científica y Tecnológica*, 19(3), 41-54.
- Wilson, L. (2010). *How to Implement Lean Manufacturing*. Chicago: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Yin, R. (2018). *Case Study Research and Applications: Design and Methods*. Sage Publications.

ANEXOS

Anexo 1

LOGO DE LA EMPRESA	DOCUMENTACION DE PROCEDIMIENTOS	PRO-POL-01
		Fecha: 25/01/2024
	PROCESO DE PRODUCCION DE POLIURETANO	Versión: 1.0
ÍNDICE Introducción Objetivo Alcance Procedimiento 1: Selección, cubicación y formulación de material 1.1 Selección del pre-polímero 1.2 Volumen de moldes 1.3 Formulación del material 1.4 Determinación de consumo de material Procedimiento 2: Proceso de producción del poliuretano 2.1 Preparación de moldes 2.1.1 Moldes con alma metálica 2.1.2 Moldes sin alma metálica 2.2 Preparación de materia prima 2.3 Desgasificado 2.4 Mezclado 2.5 Vaciado en caliente		

2.6 Post curado del producto

2.7 Detallado de pieza

2.8 Medición de dureza y revisión física del producto

Recomendaciones

Anexos

Introducción

El presente Manual de Procedimientos de Producción de Poliuretano tiene como propósito ser una guía clara y específica que garantice la óptima ejecución de las diversas actividades involucradas en el proceso de fabricación de poliuretano. A través de una serie de pasos ordenados y detallados, este manual busca asegurar la eficiencia y calidad en todas las fases del proceso, promoviendo el desarrollo de un control de calidad riguroso tanto durante la producción como en la revisión del producto terminado.

Este manual abarca desde la selección del material adecuado de acuerdo con las especificaciones de los clientes, la formulación del producto, hasta el desarrollo de procedimientos y formatos que permitirán la creación de bases de datos y controles de calidad. Cabe destacar que este documento se actualizará conforme se presenten cambios en la ejecución de los procedimientos, en la normativa vigente, o en la estructura organizativa de la empresa.

Objetivo

Este manual tiene como objetivo ser una herramienta eficaz para la instrucción y capacitación del personal, estableciendo los procedimientos adecuados que deben seguirse para garantizar la eficiencia en la producción de poliuretano, reduciendo desperdicios y asegurando la calidad del producto final.

Alcance

Este manual está dirigido al departamento de producción y su aplicación es obligatoria en el día a día de los operadores encargados del proceso de fabricación de poliuretano. Los procedimientos descritos deben ser implementados rigurosamente para garantizar los mejores resultados en términos de eficiencia, seguridad y calidad.

PROCEDIMIENTO 1: Selección, cubicación y formulación de material

1.1 Selección del pre-polímero

La primera fase del proceso productivo de poliuretano es la selección del pre-polímero adecuado. Es fundamental identificar la familia y el tipo de pre-polímero que se utilizará, de acuerdo con las necesidades específicas del cliente y las características que el producto final debe cumplir. Para ello, se deben revisar cuidadosamente las fichas técnicas de los pre-polímeros, que contienen información crítica sobre propiedades mecánicas, físicas y químicas. En caso de dudas, es recomendable consultar al proveedor del material.

1.2 Volumen de moldes

La cubicación de los moldes, que anteriormente se realizaba mediante cálculos manuales, ha sido optimizada con la implementación de SolidWorks, un software especializado en diseño asistido por computadora (CAD). Este programa permite obtener el volumen exacto del molde, lo que facilita el cálculo de la cantidad de material necesario, reduciendo el margen de error y minimizando el desperdicio de pre-polímero.

SolidWorks no solo permite obtener resultados más precisos, sino que también reduce significativamente el tiempo necesario para preparar los moldes, eliminando la necesidad de descomponer los mismos en figuras geométricas para realizar cálculos volumétricos.

1.3 Formulación del material

Una vez seleccionado el pre-polímero y el curativo, se procede con la formulación del material. El cálculo del porcentaje de curativo se realiza utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de curativo} = \frac{NCO * \% \text{Estequiometria del curativo} * \text{Peso específico}}{4202} \quad (2)$$

es importante tener presente los siguientes datos:

- % de disocianato (NCO) que contiene el material que nos proporciona el proveedor, es importante estar muy pendiente de este dato, ya que, aunque sea el mismo pre-polímero cambia el % de NCO.
- % Estequiometria del curativo.
- Peso del curativo. (Esto depende del tipo de curativo que se utilizara, por ende es importante considerar el peso equivalente)

Cabe mencionar que el % de curativo obtenido es para un 100% de pre-polímero, es por ello que se realiza otras fórmulas donde se sacan los porcentajes reales del pre-polímero y curativo, para posteriormente sacar el peso específico que se utilizara de cada uno.

$$\% \text{ de pre - polimero} = \frac{100}{100 + \% \text{ de curativo}} \quad (3)$$

$$\% \text{ de curativo} = \frac{\% \text{ de curativo}}{100 + \% \text{ de curativo}} \quad (4)$$

1. Determinación de consumo de material

El último paso del primer procedimiento, es calcular el consumo de material con base a las formulas desarrolladas anteriormente y el área del molde. Entonces tenemos los siguiente:

$$\text{total de material} = V * \rho \quad (5)$$

Donde:

V: es el volumen del molde

ρ : es la densidad del pre-polimero (este dato se obtiene de las fichas técnicas, lo más común es de 1.25 g/cm³).

Posteriormente se calcula el total de pre-polímero y total de curativo:

$$\text{Total de Pre-polímero} = \text{total de material (5)} * \% \text{ de prepolimero (6)}$$

$$\text{Total de Curativo} = \text{total de material (5)} * \% \text{ de curativo (7)}$$

Nota: los numero que se encuentran a lado de la descripción representa número de formula.

Para el cálculo de total de pigmentación que se requiere según el peso de pre-polímero se hace la siguiente regla de tres:

$$\text{Total de pigmento} = \frac{5g * \text{total de pre - polimero}}{1000 g}$$

También se puede utilizar el programa el Excel

Tabla 0.1 Cálculo de material

Fuente: Elaboración propia

CÁLCULO DE VOLUMENES		
ÁREA SEGUN SOLIDWORKS		cm^3 PROPORCIONAR DATOS
DENSIDAD	1.25	g/cm^3
VOLUMEN DE MATERIAL SIN MERMA	0	g
%MERMA CONSIDERADA	5.0%	PROPORCIONAR DATOS
VOLUMEN TOTAL DE MATERIAL	0.00	g

CÁLCULO DE MATERIAL DE POLIURETANO		
NCO	5.08	PROPORCIONAR DATO
TEORIA	95	
PESOS EQUIVALENTE	133.5	
% de curativo	15.3325	

% pre-polimero	0.8671
% de curativo	0.1329
	1.0000

Cantidad de pre-polimero	0	g
Cantidad de curativo	0	g
TOTAL DE MATERIAL	0	g
Pigmento	0	g
TOTAL CON PIGMENTO	0	g

PROCEDIMIENTO 2: Proceso de producción del poliuretano

2.1 Preparación de moldes

La preparación de moldes es un paso crítico en el proceso de producción de poliuretano. Existen diferentes métodos según si los moldes tienen alma metálica o no.

2.1.1 Moldes con alma metálica

La preparación de moldes con alma metálica requiere un proceso de limpieza minucioso. Se desgasta ligeramente la superficie del alma metálica utilizando una esmeriladora para eliminar impurezas, y luego se procede a limpiarla con solventes como tolueno, thinner o acetona. El proceso de limpieza es clave para garantizar una adhesión exitosa durante el vulcanizado.

Para mejorar la adhesión, se aplica una capa de Chemlok 219 como imprimante, seguida de una capa de adhesivo Chemlok 213, aplicándolo de manera uniforme con una pistola o brocha. Finalmente, el molde se somete a una temperatura de entre 120 °C y 130 °C para activar el adhesivo.

2.1.2 Moldes sin alma metálica

En el caso de los moldes sin alma metálica, se realiza una limpieza con tolueno utilizando brocha o trapo, dependiendo del diseño del molde. Posteriormente, se aplica un desmoldante y se precalienta el molde en horno o prensa a una temperatura de entre 110 °C y 120 °C.

2.2 Preparación de materia prima

El pre-polímero y el curativo se pesan según los cálculos realizados en el Procedimiento 1, y se calientan a las temperaturas especificadas en las fichas técnicas. El pigmento se agrega al pre-polímero una vez que ha alcanzado la temperatura deseada, asegurándose de que se homogenice correctamente.

2.3 Desgasificado

El pre-polímero se desgasifica en una cámara de vacío, equipada con vacuómetro y mirilla para monitorear el proceso. Este paso es esencial para eliminar las burbujas de aire atrapadas en el material. Si el pre-polímero pierde temperatura durante el desgasificado, debe ser recalentado antes de continuar.

2.4 Mezclado

El mezclado se realiza de manera manual o con un equipo de revoluciones controladas. Este proceso debe completarse en un tiempo de entre 45 segundos y un minuto, con movimientos en forma de ocho para evitar la formación de burbujas.

2.5 Vaciado en caliente

El vaciado del poliuretano se realiza en caliente, con el material centrado en el molde o de manera lateral según su tamaño. El tiempo de curado varía entre 15 y 30 minutos, dependiendo del tamaño del molde.

2.6 Post curado del producto

El post curado es necesario para estabilizar las propiedades del poliuretano. El producto se somete a un horno, siguiendo las recomendaciones de la ficha técnica del pre-polímero utilizado.

2.7 Detallado de pieza

El detallado se realiza mediante desvirado o maquinado, eliminando el exceso de material para obtener un acabado estético.

2.8 Medición de dureza y revisión física del producto

La dureza del producto se mide con un durómetro, asegurando que cada pieza cumpla con los estándares de calidad.

RECOMENDACIONES

Área de trabajo y equipos

Bomba de vacío:

Se requiere que se tenga un desplazamiento positivo que puede ser de 33 (ft³/min). La potencia del motor debe de ser mínimo de 1 o 1 1/2 HP (caballos).

Si la potencia de la bomba es menor a la recomendada, se puede tardar más tiempo en desgasificar el material, corriendo el riesgo de que el material no quede desgasificado en su totalidad y se presenten burbujas en el producto terminado.

Cámara de vacío

La cámara de vacío debe ser de metal de $\frac{1}{4}$ de pulgada de espesor, para que no se deforme la misma con el vacío que se generara, también debe contar con una válvula de alivio, un vacuómetro este es para medir el vacío que genera la bomba y una mirilla de cristal o acrílica de 10-20 milímetros, para poder observar la desgasificación del material, ya que los materiales no tienen un tiempo mínimo o máximo de desgasificación, esto debe ser visual.

Esta también deberá contar con un foco en el interior o bien con una lámpara que permita visualizar el interior de la cámara.

Hornos para calentamiento:

Deben ser eléctricos con su ventilador para recircular el aire, lo más importante es que los hornos mantengan una temperatura homogénea dentro del mismo con una diferencia de $+ 5^{\circ}\text{C}$, el horno también debe tener un respiradero por donde se puedan monitorear la temperatura con un termómetro independiente al controlador del horno.

El tamaño del horno va en función del tipo de pieza que se vaciara o de la cantidad de piezas que se deseen meter en el mismo.

Se requiere mínimo de 2 hornos, 1 para calentar el material y el otro para calentar los moldes, ya que el material y los moldes se calientan a diferentes temperaturas

Registradores de temperatura

Se requiere de un termómetro de preferencia que sea digital, con sus respectivos termopares, para que el chequeo de la temperatura sea más exacto que con la pistola de infrarrojo, los dos termopares que más se emplean:

- De superficie: Este es para checar la temperatura de los moldes.
- De Inmersión: Este es para checar la temperatura de los líquidos.

Mesa de calentamiento

Estas mesas de calentamiento son para fundir los curativos que se encuentran en estados sólidos ejemplo: MOCA, TMP, POLY G, TIPA, MCDEA, IMACURE, 1,4 BUTANODIOL.

Hay que tener cuidado de no dejar que los curativos se sobrecalienten demás ya estando en estado líquido, ya que esto ocasionara problemas:

- Al evaporarse el material tendremos problemas en la relación de mezcla.
- Al quemar el material este nos ocasionara problemas en la pieza terminada.
- Los vapores que se desprenden afectan nuestra salud.

Agitadores

Los agitadores pueden ser metálicos o de plástico (de preferencia metálicos), para realizar el mezclado de los materiales que puede ser manual en forma de ochos o con un equipo de revoluciones de velocidad variable controlada de unas 300 a 400 R.P.M.

- Es muy importante, si el mezclado es manual, que sea en forma de 8 para que no se le genere demasiada burbuja a la mezcla.
- Si el mezclado es con el equipo de revoluciones, es muy importante considerar el aguaitador adecuado, para que no se le genere demasiada burbuja.

Moldes

Los moldes para la fabricación de pieza de poliuretano pueden ser de aluminio, acero, resina epóxica. La característica principal que se requiere es que soporte temperaturas mayores a 100°C y que la mantenga, también que no desprenda ningún tipo de impurezas.

Los moldes antes de ser usado por primera vez, se recomienda poner desmoldante y meterlos al horno durante 8-12 horas. Esto es para que se les forme la primera película de silicón y permita que no se adhiera el poliuretano en el molde (que se peguen).

Recipientes para mezclado

Los recipientes que se pueden utilizar son de polipropileno o de metal, hay que tomar en cuenta que las temperaturas del material estarán entre 70-120°C

Cilindro de nitrógeno 99.5%

El cilindro de nitrógeno de 99.5% de pureza, es recomendado para tapar las cubetas del material cuando no se haya usado todo el material en su totalidad, este se aplica por una de las boquillas de la cubeta, para que quede una atmosfera inerte, la cual nos ayudara a que el material no capte humedad.

Almacenamiento

Se recomienda mantener los recipientes (cubetas, galones o latas perfectamente cerrados para evitar la polimerización de los productos por efectos de la humedad que puedan absorber).

Limpiar las espátulas o agitadores con thinner

Mantener un espacio de trabajo limpio

Equipo de seguridad recomendado

Guantes de látex (rojos o verdes) o nitrilos, resistentes a químicos.

Guantes de carnauba o de algún textil. –

Mascarilla contra vapores orgánicos y filtros contra vapores orgánicos

Recomendaciones de salud.

Evitar en la medida de lo posible la inhalación de los vapores generados por los productos a trabajar.

Evitar el contacto con la piel, ya que para limpiarse se utilizaría thinner y es un producto agresivo para la misma. Trabajar en un área ventilada.

ANEXOS**Anexo 1- Información de pre-polímeros y curativos**

Para tener un resultado exitoso en nuestro producto es necesario poder identificar cual es el fin de su uso y las condiciones a las que se somete (esta información debe ser proporcionada por nuestros clientes), a partir de la información dada se utiliza como base para que nosotros podamos recomendar el tipo de poliuretano que se adapta mejor a las condiciones de trabajo a las que se somete el producto.

Aunque el proceso de producción del poliuretano se es muy parecido o casi igual para cualquier tipo de pre-polímero no es así, esto depende mucho de acuerdo a las especificaciones que se nos son requeridas, es por ello que es importante poder identificar bien los tipos de pre-polímeros, y los resultados que nos puedan proporcionar.

En esta sección de manual de producción de poliuretano se explicará detalladamente los polímeros que se trabajan en Empaquetaduras y Hules Industriales de Córdoba, S.A. de C.V. (EHUICO).

Existen dos tipos de familias de pre-polímeros, los cuales son:

- Tolueno Diisocianato (TDI)
- Metilendifenil Diisocianato (MDI)

Estos dos pre-polímeros se subdividen de acuerdo a base éter o éster. De acuerdo a los datos técnicos proporcionados por nuestro proveedor, tenemos la siguiente información.

Pre-polímeros a base de TDI-Éter

Los pre-polímeros a base de TDI-Éter funcionan perfectamente en aplicaciones que requieren unas buenas características generales mecánicas y físicas. Se caracterizan por una buena resistencia a la abrasión y a la tracción, un buen funcionamiento a baja temperatura, una buena resiliencia, una buena resistencia al hidrólisis (agua, ácido y base) y a los microorganismos. Tienen poca viscosidad y son fáciles de utilizar. Con estos sistemas, contamos con una amplia gama de durezas (de 80 Shore A a 80 Shore D) para satisfacer una gran variedad de aplicaciones. Los pre-polímeros a base de TDI-PPG ofrecen, por un coste menor, buenas propiedades físicas, resistencia a la hidrólisis y mantienen la elasticidad a baja temperatura.

Pre-polímeros a base de TDI-Éster

Los pre-polímeros a base de TDI-Ester presentan unos resultados destacables: resistencia al desgarrar; buenas propiedades dinámicas; gama de durezas de 80 a 95 Shore A. Se recomiendan principalmente en aplicaciones que requieren una buena resistencia a las incisiones y/o en contacto con hidrocarburos y disolventes; estos sistemas también funcionan perfectamente en rodillos de imprenta, gracias a su bajo nivel de deformación remanente a la compresión.

Pre-polímeros a base de MDI-ÉTER

En ambientes calurosos y húmedos, los sistemas MDI-Éter permiten limitar los daños provocados por la hidrólisis y los ataques químicos de ácidos o bases. Según el nivel de resultados requerido, se han desarrollado versiones PTMEG y PPG. Algunas pueden ser compatibles para el moldeo de piezas en contacto con productos alimentarios secos o húmedos (sin aditivo, ni catálisis). La gama PTMEG está particularmente indicada para aplicaciones como las juntas hidráulicas, los hidrociclones, o las correas dentadas. La gama PPG desarrolla una baja deformación remanente a la compresión, podemos encontrar estos sistemas en la fabricación de sistemas de protección para muelles o moldes de hormigón.

Pre-polímeros a base de MDI-ÉSTER

Los sistemas a base de MDI-Ester ofrecen una excelente resistencia a la abrasión, al desgarrar y son muy resistentes a las agresiones químicas (hidrocarburos, aceites, disolventes.). Es la elección perfecta para aplicaciones como telas de tamizado, rasquetas, PIG, placas, revestimientos de equipos vibratorios.

Familia de
materiales

TDI	PPG	Estos materiales tienen la característica de ser resistentes a la hidrolisis (Humedad, contacto con agua)	Se encuentra la serie PPT (80 A, 90 A, 95 A, 65 D Y 75 D). Se encuentra la serie 32 (32-80 A, 32-85 A, 32-90, 32-95 A, 32-75 D).
	PTMG		Se encuentra la serie PHP (80 A, 85 A, 70 A, 70 D, 75 D Y 80 D). Se encuentra la serie PET (80 A, 85 A, 91 A, 95 A, 60 D, 70 D, 75 D). Se encuentra la serie 22 (22-83 A, 22-90 A Y 22-95 A).
	POLIESTER	Estos materiales tienen la característica de ser resistentes a los químicos (Derivados del hidrocarburo)	Imutanes PST -95 A, 90A, 85A, 80A Y 70 A Versathane A9, A85, A8 y A 7QM Imuthanes 12-90, 12-80 y 13-90

			Versathane D-6
Policaprolactona		Material con propiedades intermedias entre un poliéster y poliéter	Imuthane 42-60
MDI	PPG	Estos materiales tienen la característica de ser resistentes a la hidrolisis (Humedad, contacto con agua)	Se encuentra 37-95 A.
	PTMG		Se encuentra la serie 27. Los cuáles van de una dureza 80 A hasta una 58 D
	POLIESTER	Estos materiales tienen la característica de ser resistentes a los químicos (Derivados del hidrocarburo)	Se encuentran los materiales de la serie 17 Los cuáles van de una dureza 80 A hasta una 95 A

Anexo 2