



FACULTAD DE POSGRADOS

**TEMA: IMPLEMENTACIÓN DE LEAN SIX SIGMA PARA LA REDUCCIÓN DE
VARIABILIDAD DE GRAMAJES Y PRODUCTOS NO CONFORMES EN LA
PRODUCCIÓN DE LAMINAS DE POLICARBONATO**

Docente: Rafael Graña Salgado

Integrantes:

Carlos Andres Churuchumbi Chachalo

2024

TABLA DE CONTENIDOS

Resumen	1
Abstract	2
Introducción	3
<i>El Problema</i>	4
<i>Formulación del problema:</i>	5
Revisión de literatura y trabajos relacionados	6
<i>Lean Six Sigma</i>	6
<i>Herramientas Lean Six Sigma</i>	8
<i>DMAIC</i>	11
<i>Despliegue de la Función de la Calidad</i>	12
<i>Control Estadístico de Procesos</i>	13
Método	17
<i>Justificación de la Metodología</i>	17
<i>Diseño</i>	18
Análisis	21
<i>Detalles del análisis</i>	21
<i>Resultados</i>	33
<i>Discusión</i>	37
Conclusiones	40
Recomendaciones	41
Referencias	43
Anexos	45

TABLA DE FIGURAS

Figura 1 – Resultados Tamaño de Muestra – Fuente: Registros de la empresa- Elaboración Propia	21
Figura 2. QFD de Producto de Lamina de Policarbonato. – Elaboración Propia	25
Figura 3 - SIPOC del Proceso de Elaboración de Placas de Policarbonato - Fuente Empresa	26
Figura 4 - Informe R&R ANOVA – Elaboración Propia	27
Figura 5 - Evaluación del sistema de medición – Elaboración Propia	28
Figura 6 - Diagrama Causa Efecto - Elaboración Propia.....	29
Figura 7 - Analisis de Varianza de Varias Fuentes - Fuente: Datos dela empresa - Elaboración Propia	30
Figura 8 - Variación de Caudales de Aire vs Gramaje - Elaboración Propia	31
Figura 9 - Semaforización de Barometros - Elaboración Propia	32
Figura 10 - KPI de Control para Caudal de Aire - Elaboración Propia	32
Figura 11 - Grafica de Control XbarraR de Caudal de Aire - Elaboración Propia	33
Figura 12 - Comparación de Capacidad Antes y Despues de Mejoras - Fuente: Datos dela empresa - Elaboración Propia	34
Figura 13 - Histograma de Gramaje de Policarbonato por grupos - Fuente: Datos dela empresa - Elaboración Propia	36

TABLA DE TABLAS

Tabla 1 - Condiciones Adecuada para el proceso	36
Tabla 2 - Resultados de comparación Antes y Después	37

Resumen

Este estudio aborda los cambios en los parámetros y la generación de productos no conformes en la línea de Láminas de policarbonato de la empresa Seteco. Estos problemas afectan al producto, ya que aumentan los gastos de fabricación y la reducción de la eficiencia productiva. Este estudio plantea la implementación de la estrategia Lean Six Sigma, con énfasis en el enfoque DMAIC, como herramienta para identificar y eliminar las causas fundamentales de los problemas mencionados. Estudios previos han aplicado Lean Six Sigma en el sector del plástico, pero no han abordado específicamente las fluctuaciones en el peso de las láminas de policarbonato durante su fabricación se abordan en este estudio. La implementación de las medidas propuestas ha generado diversos beneficios: un incremento en la eficacia del proceso productivo, una notable disminución de errores por cada millón de unidades fabricadas, un ahorro sustancial mensual en insumos y una reducción de productos que no cumplen con los estándares establecidos. Estos avances conllevan a una optimización en el aprovechamiento de los recursos, una disminución en los gastos operativos y un perfeccionamiento en la calidad del producto final.

Palabras Claves: Lean Six Sigma, DMAIC, Policarbonato, Control estadístico de procesos, Mejora continua, Variabilidad de gramajes

Abstract

This study addresses the changes in parameters and the generation of nonconforming products in the polycarbonate sheet line of Seteco. These problems affect the product by increasing manufacturing costs and reducing production efficiency. This study proposes the implementation of the Lean Six Sigma strategy, with emphasis on the DMAIC approach, as a tool to identify and eliminate the root causes of the mentioned problems. Previous studies have applied Lean Six Sigma in the plastics sector, but have not specifically addressed the fluctuations in the weight of polycarbonate sheets during their manufacture are addressed in this study. The implementation of the proposed measures has generated several benefits: an increase in the efficiency of the production process, a notable decrease in errors per million units manufactured, substantial monthly savings in inputs and a reduction of products that do not meet the established standards. These advances lead to an optimization in the use of resources, a decrease in operating costs and an improvement in the quality of the final product.

Keywords: Lean Six Sigma, DMAIC, Polycarbonate, Statistical Process Control, Continuous Improvement, Grammage Variability.

Introducción

En la industria manufacturera moderna, la eficiencia y la calidad son factores críticos para el éxito y la competitividad de las empresas. El sector de fabricación de artículos plásticos se enfrenta a retos específicos, principalmente en lo que respecta a las fluctuaciones en sus métodos de elaboración y la aparición de elementos que no cumplen con las especificaciones requeridas. Estas dificultades no se limitan a afectar la calidad del artículo terminado, sino que también repercuten de manera considerable en los gastos operativos y el rendimiento global de las compañías del ramo.

Seteco, una entidad empresarial que inició sus operaciones en 1987, se especializa en la producción y distribución de artículos elaborados con aluminio y vidrio, no es ajena a estos desafíos. En su línea de producción de Láminas de policarbonato, la variabilidad en los gramajes y la alta tasa de productos no conformes han surgido como problemas críticos que requieren una solución urgente. Las dificultades mencionadas conllevan a un uso desmedido de insumos, y a su vez obstaculizan el logro de los objetivos productivos de la organización, comprometiendo su capacidad para atender adecuadamente los requerimientos de su clientela.

Este estudio se centra en dos desafíos críticos que enfrenta Seteco en su línea de fabricación de láminas de policarbonato: las fluctuaciones en el peso del material y la generación de artículos que no cumplen con los estándares establecidos. La relevancia de abordar estas cuestiones radica en que provocan un uso excesivo de la resina polimérica, lo cual no solo eleva los gastos operativos, sino que también compromete la eficiencia productiva de la organización.

Estudios previos en la industria de plásticos, como los de González (2020), Martínez (2018) y Rodríguez (2019), han aplicado metodologías Lean Six Sigma para mejorar la

eficiencia y calidad de los procesos. No obstante, las investigaciones previas no se enfocaron directamente en las fluctuaciones de peso que ocurren durante el proceso de fabricación de láminas elaboradas con dicho material.

La solución propuesta en este estudio es la aplicación de la metodología Lean Six Sigma, específicamente el ciclo DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar), para identificar y eliminar las causas de la variabilidad de gramajes y la producción de productos no conformes.

Los avances logrados repercuten de manera sustancial en el desempeño de la organización, abarcando diversos aspectos: se optimiza el aprovechamiento de los insumos, se consigue una disminución en los gastos operativos y se eleva la excelencia del artículo terminado. Adicionalmente, el éxito alcanzado con la aplicación de Lean Six Sigma indica que esta estrategia podría extenderse a otras áreas operativas de la compañía, con el potencial de generar progresos comparables.

El Problema

Los productos generados por la línea de Láminas de policarbonato presentan gramajes muy dispersos, lo que conduce a un consumo excesivo de resina de policarbonato, incrementando los costos debido a la mayor materia prima utilizada. Asimismo, la generación de artículos que no cumplen con los estándares establecidos en ambos procesos productivos representa una dificultad considerable. Esta situación obliga a reelaborar dichos elementos, lo cual conlleva un incremento en el uso de insumos, una extensión del tiempo de fabricación y un aumento en los gastos operativos.

En el mercado mayorista, el valor de un kilogramo del polímero utilizado oscila entre 2.2 y 4 dólares estadounidenses. Esta fluctuación significativa en el costo del insumo principal se debe a la inestabilidad de su cotización, lo cual repercute en un incremento de los

gastos de fabricación. Adicionalmente, la tasa de elementos que no cumplen con los estándares requeridos alcanza aproximadamente el 7%, una proporción que se considera excesivamente elevada.

La confluencia de estas dificultades, que abarcan tanto la generación de artículos que no cumplen con los estándares como las fluctuaciones en el peso del material, impacta negativamente en el rendimiento del departamento de fabricación. Como consecuencia, la organización no logra alcanzar sus objetivos mensuales de producción medidos en toneladas. Este escenario provoca un alza en el costo unitario de los artículos elaborados, lo que a su vez erosiona el beneficio económico y compromete la capacidad de la empresa para satisfacer oportunamente los pedidos.

Formulación del problema:

¿De qué manera la implementación de la metodología Lean Six Sigma puede optimizar el proceso de fabricación de láminas de policarbonato, minimizando las fluctuaciones en el peso del material y la generación de artículos que no cumplen con los estándares, con el objetivo de incrementar la eficiencia operativa y disminuir los gastos de producción de la organización?

Objetivo general:

Implementar la metodología Lean Six Sigma con el propósito de detectar y erradicar los factores que ocasionan fluctuaciones en el gramaje y la generación de productos defectuosos en el proceso de fabricación de láminas de policarbonato. Esta implementación busca optimizar la eficiencia productiva y minimizar los gastos operativos de la compañía.

Objetivos específicos:

- Determinar y examinar los factores que contribuyen a la inestabilidad en el peso de las láminas y paneles de policarbonato durante su fabricación, empleando técnicas propias de Lean Six Sigma, tales como el Diagrama de Ishikawa y el Análisis de Varianza (ANOVA).
- Diseñar e instaurar una estrategia de mejora orientada a disminuir las fluctuaciones en el gramaje y potenciar la exactitud en la producción, aplicando metodologías de Lean Six Sigma como la Detección de Anomalías y la Racionalización de Procesos.
- Disminuir la incidencia de productos defectuosos en las líneas de fabricación de láminas y paneles de policarbonato, a través de la puesta en marcha de un sistema de gestión de calidad eficaz. Este sistema se enfocará en la identificación y eliminación de las causas subyacentes de los defectos, utilizando herramientas de Lean Six Sigma como el Monitoreo de Procesos y el Análisis de Fallas.
- Cuantificar y valorar los efectos de las mejoras implementadas sobre la eficiencia productiva y los costos operativos, utilizando instrumentos de Lean Six Sigma como los Indicadores Clave de Rendimiento (KPI).

Revisión de literatura y trabajos relacionados

Lean Six Sigma

La metodología Lean Six Sigma fusiona dos paradigmas de optimización: el enfoque Lean, orientado a la eliminación de actividades sin valor añadido y la aceleración de procesos, y la filosofía Six Sigma, que persigue la minimización de defectos y la reducción de la variabilidad. Esta sinergia proporciona una estructura comprehensiva para potenciar

tanto la excelencia como la eficiencia en las operaciones organizacionales (George et al., 2005).

El ciclo DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) es el núcleo de la metodología Lean Six Sigma. Cada fase emplea herramientas específicas para lograr sus objetivos: desde la identificación del problema y la recopilación de datos, hasta el análisis de causas raíz, la implementación de soluciones y el establecimiento de controles para mantener las mejoras logradas (George et al., 2005).

El ciclo DMAIC, piedra angular de la metodología Lean Six Sigma, se compone de cinco fases interconectadas, cada una crucial para el éxito en la optimización de procesos como la producción de láminas de policarbonato:

- **Definición:** Circunscribe la problemática y establece los objetivos del proyecto, empleando herramientas como el Project Charter y el diagrama SIPOC.
- **Medición:** Recopila datos del proceso actual mediante técnicas como el análisis de sistemas de medición (MSA) y gráficos de control, estableciendo así un punto de referencia para futuras mejoras.
- **Análisis:** Utiliza métodos estadísticos avanzados, como el análisis de varianza (ANOVA) y los diagramas de Ishikawa, para identificar las causas raíz de las ineficiencias.
- **Mejora:** Diseña e implementa soluciones específicas, a menudo utilizando diseño de experimentos (DOE) y herramientas Lean como 5S.
- **Control:** Instaura mecanismos de monitoreo, como planes de control y gráficos de control estadístico de procesos (SPC), para garantizar la sostenibilidad de las optimizaciones logradas.

En el contexto de nuestra investigación sobre la variabilidad de gramajes en la producción de láminas de policarbonato, el ciclo DMAIC proporciona un marco estructurado para abordar sistemáticamente el problema, desde su identificación hasta la implementación y mantenimiento de soluciones efectivas (George et al., 2005)..

La versatilidad y eficacia de Lean Six Sigma se ha evidenciado en diversos sectores y contextos organizacionales. Su aplicación ha generado mejoras sustanciales en la productividad y la calidad de procesos en ámbitos tan variados como la manufactura, el sector servicios, la atención médica y la administración pública, entre otros. La fortaleza de esta metodología radica en su aproximación sistemática y fundamentada en evidencia empírica, lo que posibilita a las entidades que la implementan lograr avances significativos tanto en sus operaciones como en sus resultados finales (George et al., 2005).

Herramientas Lean Six Sigma

"Las herramientas de Lean Six Sigma, como el Mapa de Flujo de Valor (VSM), el Análisis de Pareto, y el Diagrama de Ishikawa, han demostrado su eficacia en diversos sectores para mejorar la eficiencia y calidad de los procesos (Franchetti, 2015; International Lean Six Sigma, 2023)."

El Mapa de Flujo de Valor (VSM, por sus siglas en inglés) constituye una técnica de representación gráfica empleada para examinar y visualizar la trayectoria de creación de valor a lo largo de un proceso productivo o de servicio. Esta herramienta permite una comprensión holística de las etapas, actividades y recursos involucrados en la generación de valor para el cliente final.. Esta herramienta ha ayudado a identificar desperdicios, ineficiencias y cuellos de botella, y a diseñar un proceso mejorado (International Lean Six Sigma, 2023).

El Análisis de Pareto, también conocido como el principio 80/20, constituye una técnica de priorización en el ámbito del análisis de datos. Esta herramienta facilita la identificación y jerarquización de los factores críticos que contribuyen de manera más significativa a una problemática específica. Su aplicación permite a los investigadores y profesionales concentrar sus esfuerzos en aquellos elementos que tienen el mayor impacto en el sistema o proceso bajo estudio. Este análisis ha mostrado la frecuencia de los problemas o las causas en orden descendente, lo que ha permitido enfocarse en las causas principales y tomar medidas para resolverlas (International Lean Six Sigma, 2023).

El Diagrama de Ishikawa, que recibe también las denominaciones de Diagrama de Espina de Pescado o Diagrama de Causa y Efecto, constituye un instrumento gráfico de análisis empleado para la exploración y representación de las relaciones multicausales en sistemas complejos. Esta herramienta, desarrollada por Kaoru Ishikawa en la década de 1960, facilita la identificación sistemática de los factores potenciales que contribuyen a un efecto o problema específico, permitiendo una visualización estructurada de las interconexiones entre diversas variables.. Esta herramienta ha ayudado a identificar las causas principales de un problema y a entender cómo estas causas están relacionadas con el problema (International Lean Six Sigma, 2023).

El concepto de Kaizen, término de origen japonés que fusiona las palabras "kai" (cambio) y "zen" (para mejor), encarna una filosofía organizacional centrada en la optimización progresiva y sostenida. Este enfoque propugna una cultura de perfeccionamiento constante, donde cada miembro de la organización se involucra activamente en la identificación y aplicación de mejoras incrementales en los procesos, productos y servicios. La esencia del Kaizen radica en su naturaleza iterativa y su énfasis en la evolución gradual pero continua, en contraposición a los cambios drásticos o las innovaciones disruptivas. Kaizen ha implicado la participación de todos los miembros del

equipo y la identificación constante de oportunidades de mejora (International Lean Six Sigma, 2023).

La metodología Poka-Yoke, término japonés que se traduce aproximadamente como "a prueba de errores", constituye una estrategia de diseño e implementación de sistemas que busca prevenir o mitigar las equivocaciones involuntarias en los procesos productivos o de servicio. Esta técnica, desarrollada por Shigeo Shingo como parte del Sistema de Producción Toyota, se fundamenta en la incorporación de mecanismos o dispositivos que hacen virtualmente imposible la ejecución incorrecta de una tarea o que facilitan la detección inmediata de errores antes de que estos se propaguen en el sistema. Se basa en el diseño de los procesos y los productos para que sea imposible o muy difícil cometer errores (International Lean Six Sigma, 2023).

El Análisis de Capacidad constituye una metodología estadística empleada para evaluar la aptitud intrínseca de un proceso productivo en relación con los requisitos predeterminados o especificaciones establecidas. Esta herramienta analítica permite cuantificar la variabilidad inherente del proceso y contrastarla con los límites de tolerancia definidos, proporcionando así una medida objetiva de la eficacia del sistema para generar resultados consistentes dentro de los parámetros deseados. Ha ayudado a identificar los problemas de calidad y a diseñar mejoras para el proceso (International Lean Six Sigma, 2023).

La Planificación de Experimentos es una técnica estadística que se utiliza para identificar las variables que más afectan el resultado de un proceso, a la vez, permite diseñar experimentos para evaluar las variables y determinar la combinación óptima de variables (International Lean Six Sigma, 2023).

El Control Estadístico de Procesos es una técnica que se utiliza para controlar la variabilidad en los procesos, por lo tanto, ayuda a identificar las desviaciones y tomar medidas para mantener el proceso en control (International Lean Six Sigma, 2023).

La aplicación estratégica de este conjunto de instrumentos analíticos y metodológicos ha demostrado su eficacia en una amplia gama de contextos y fases dentro del paradigma de la mejora continua. La versatilidad de estas herramientas permite su adaptación a diversas circunstancias y etapas del ciclo de optimización de procesos, ofreciendo soluciones específicas para los desafíos únicos que surgen en cada fase de la evolución organizacional. . Al utilizar estas herramientas, los equipos han podido identificar oportunidades de mejora, eliminar los desperdicios y defectos, y mejorar la calidad y la eficiencia de los procesos (International Lean Six Sigma, 2023).

DMAIC

El acrónimo DMAIC representa un paradigma metodológico de optimización organizacional que se fundamenta en el análisis riguroso de información empírica. Este marco conceptual proporciona a las entidades empresariales un protocolo estructurado para la evaluación cuantitativa y cualitativa de sus procesos, facilitando la identificación de oportunidades de mejora y la implementación de soluciones basadas en evidencia. La esencia del DMAIC radica en su enfoque iterativo y su capacidad para transformar datos en insights accionables, promoviendo así una cultura de excelencia operativa y mejora continua. Sus cinco etapas - Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar - proporcionan un marco estructurado para identificar y eliminar ineficiencias en los procesos empresariales (Tennakoon & Palawatta, 2015).

En la fase de Definición, se identifica el problema y se establecen los objetivos del proyecto (Tennakoon & Palawatta, 2015). Esta fase es crucial para establecer el alcance y la

dirección del proyecto. Se utilizan diversas herramientas y técnicas para ayudar a definir el problema y a establecer los objetivos del proyecto (Tennakoon & Palawatta, 2015).

En la fase de Medición, se recopilan datos sobre el proceso actual para establecer una línea de base para la mejora (Tennakoon & Palawatta, 2015). Esta fase implica la recopilación de datos cuantitativos y cualitativos para obtener una comprensión clara del rendimiento actual del proceso (Tennakoon & Palawatta, 2015).

En la fase de Análisis, se utilizan herramientas estadísticas para identificar las causas raíz del problema (Realyvásquez-Vargas et al., 2021). Esta fase implica el análisis de los datos recogidos en la fase de Medición para identificar las causas subyacentes del problema (Realyvásquez-Vargas et al., 2021).

En la fase de Mejora, se implementan soluciones para abordar las causas raíz identificadas (Realyvásquez-Vargas et al., 2021). Esta fase implica la generación, selección e implementación de soluciones para abordar las causas raíz del problema (Realyvásquez-Vargas et al., 2021).

Finalmente, en la fase de Control, se implementan controles para asegurar que las mejoras se mantengan a largo plazo (Realyvásquez-Vargas et al., 2021). Esta fase implica el seguimiento del rendimiento del proceso después de la implementación de las mejoras para asegurar que las mejoras se mantengan a largo plazo (Realyvásquez-Vargas et al., 2021).

Despliegue de la Función de la Calidad

EL QFD es un método que permite traducir los requisitos del cliente en requerimientos internos para que puedan cumplir con estos requisitos. (Socconini, 2015, p. 25).

La singularidad del Despliegue de la Función de Calidad (QFD) reside en su capacidad para transformar las expectativas del cliente en parámetros operativos

cuantificables y jerarquizados. Esta metodología se fundamenta en la elaboración de una matriz de correlación, donde un equipo interdisciplinario ejecuta un proceso secuencial de análisis: Identificación y ponderación de las necesidades del consumidor en relación al producto o servicio en cuestión. Traducción de estas necesidades en especificaciones técnicas internas del proceso productivo. Establecimiento de correlaciones entre los requerimientos del cliente y las especificaciones técnicas. Cálculo de la importancia relativa de cada especificación técnica mediante la síntesis de las ponderaciones y correlaciones establecidas.

Control Estadístico de Procesos

El Control Estadístico de Procesos (CEP) constituye un paradigma metodológico esencial en el ámbito de la gestión de la calidad y la optimización continua de sistemas productivos. Esta disciplina, que fusiona principios estadísticos con prácticas de gestión operativa, proporciona un marco analítico robusto para la monitorización, evaluación y refinamiento sistemático de los procesos industriales. Se basa en el principio de que todo proceso exhibe variabilidad, ya sea por causas comunes inherentes al sistema o por factores externos especiales. A través de herramientas como las cartas de control e histogramas, el CEP permite visualizar y analizar esta variabilidad, facilitando la toma de decisiones informadas y la implementación de acciones preventivas (Ramos et al., 2013).

El CEP se basa en el principio de que todo proceso presenta variabilidad, la cual puede ser debida a causas comunes (inherentes al sistema) o causas especiales (factores externos) (Ramos et al., 2013). Esta variabilidad se convierte en nuestra compañera constante, desafiándonos a descifrar su mensaje y actuar en consecuencia (Ramos et al., 2013). El análisis de tendencias nos permite identificar patrones emergentes, anticipar posibles desviaciones y tomar medidas preventivas (Ramos et al., 2013).

A través de herramientas como las cartas de control y los histogramas, podemos visualizar la información de manera clara y concisa, facilitando la toma de decisiones fundamentadas (Ramos et al., 2013). Pero no todo se queda en teoría. Para comprender realmente el poder del control estadístico de procesos, necesitamos sumergirnos en ejemplos prácticos que ilustren su aplicación en situaciones reales (Ramos et al., 2013)..

Dentro del control estadístico engloba las siguientes definiciones

Gráficas de Control

Las gráficas de control son una representación gráfica que nos permite analizar y monitorear el desempeño de un proceso a lo largo del tiempo (Montgomery, 2020). En el vasto espectro de herramientas analíticas que comprende el Control Estadístico de Procesos, las representaciones gráficas ocupan un lugar preponderante como instrumentos de visualización y análisis de la variabilidad. Estas herramientas gráficas, diversas en su naturaleza y aplicación, conforman un conjunto integral de técnicas para la monitorización y evaluación continua de los procesos productivos. Los gráficos de control emplean datos de operación para establecer límites dentro de los cuales se espera hacer observaciones futuras, si el proceso demuestra no haber sido afectado por causas asignables o especiales (Oakland & Oakland, 2018)

Capacidad del Proceso

La capacidad de un proceso se puede medir para conocer si es necesario implementar mejoras al sistema tendientes a cumplimiento de los pedidos realizados y a la satisfacción de los clientes (Pyzdek & Keller, 2018). La evaluación de la capacidad del proceso es una de las técnicas fundamentales para determinar la aptitud de un proceso para generar resultados o productos de excelencia (Oakland & Oakland, 2018). Cpk: Es el valor que caracteriza la

relación existente entre la medida del proceso y su distancia al límite de especificación, por el cual el proceso dará un mejor resultado menos correcto (Pyzdek & Keller, 2014).

Repetibilidad y Reproducibilidad

Es un método de análisis del sistema de medición (MSA) que evalúa la precisión de su sistema de medición y estima la repetibilidad y reproducibilidad del sistema de medición combinado es un estudio de R & R de Gage que ayuda a responder si la variabilidad del sistema de medición es pequeña comparada con la variabilidad del proceso, cuánta variabilidad en el sistema de medición es causada por las diferencias entre operadores y si su sistema de medición es capaz de discriminar entre diferentes partes. (Moises et al., 2019)

Trabajos Relacionados

En la tesis de González (2020), se exploró la implementación de Lean Six Sigma en una empresa de plásticos, enfocándose en la mejora de procesos y la reducción de desperdicios. El estudio se centró en el ciclo DMAIC para identificar y eliminar ineficiencias en la producción. La implementación del proyecto se fundamentó en un riguroso análisis cuantitativo, empleando diversas técnicas estadísticas para evaluar los datos recopilados y corroborar la eficacia de las intervenciones realizadas. Este enfoque analítico condujo a resultados notables, incluyendo una disminución sustancial en la duración de los ciclos productivos y una reducción significativa en la incidencia de defectos de fabricación. Estas mejoras se tradujeron en un incremento tangible tanto en la eficiencia operativa como en la calidad de los productos manufacturados.

Paralelamente, se observaron efectos positivos colaterales, como un aumento perceptible en los niveles de satisfacción de la clientela y una mejora global en los índices de productividad de la organización. Para garantizar la perdurabilidad de estos avances, se diseñaron e implementaron sistemas de monitoreo y control robustos. Este aspecto subraya la

criticidad del respaldo institucional y el liderazgo proactivo de los altos mandos como factores determinantes en la consecución exitosa de los objetivos del proyecto.

En la tesis de Martínez (2018), se investigó la aplicación de Lean Six Sigma para optimizar los procesos de producción en una empresa de plásticos. La aplicación sistemática del ciclo DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar) permitió una identificación exhaustiva y subsecuente eliminación de ineficiencias operativas, resultando en avances sustanciales tanto en la excelencia del producto como en la optimización de los procesos productivos. El arsenal metodológico empleado abarcó un amplio espectro de técnicas analíticas, incluyendo:

- Modelación estadística mediante regresión
- Implementación de control estadístico de procesos
- Priorización de factores a través del análisis de Pareto
- Diseño y ejecución de experimentos controlados

La implementación de estas estrategias derivó en resultados cuantificables, evidenciados por una contracción significativa en los tiempos de ciclo y una disminución notable en la incidencia de productos defectuosos. Estos logros se tradujeron en un incremento mensurable de la satisfacción del cliente y un aumento en los índices de productividad organizacional.

Para garantizar la sostenibilidad de las mejoras alcanzadas, se instituyeron mecanismos de seguimiento y control continuo. Este enfoque subraya la importancia crítica de fomentar una cultura organizacional alineada con los principios de mejora continua, así como la necesidad imperativa del compromiso y respaldo inequívoco por parte de la alta gerencia como pilares fundamentales para el éxito y la perdurabilidad de las iniciativas de optimización.

En la tesis de Rodríguez (2019), se investigó la mejora de la calidad en la producción de plásticos mediante la implementación de Lean Six Sigma. Utilizando el ciclo DMAIC y herramientas estadísticas, propició una transformación sustancial en los parámetros de calidad y eficiencia operativa. Este enfoque metodológico culminó en una optimización multidimensional del sistema productivo, caracterizada por:

- Una contracción significativa en la duración de los ciclos de producción, incrementando la capacidad de respuesta y la flexibilidad operativa.
- Una disminución notable en la incidencia de productos defectuosos, elevando los estándares de calidad y reduciendo los costos asociados a reprocesos y desperdicios.
- Un incremento perceptible en los índices de satisfacción de la clientela, reflejando la mejora en la calidad y consistencia de los productos ofertados.
- Una potenciación de la productividad global, evidenciada por un aumento en el rendimiento de los recursos invertidos y una optimización de los procesos internos.

Esta sinergia entre la metodología estructurada y el análisis cuantitativo robusto no solo generó mejoras tangibles en los indicadores clave de rendimiento, sino que también catalizó un cambio paradigmático en la cultura organizacional, orientándola hacia la excelencia operativa y la mejora continua.

Método

Justificación de la Metodología

El presente estudio se fundamenta investigación de carácter cuantitativo y aplicado, con un enfoque explicativo. Esta elección se basa en varios factores clave que se detallan a continuación.

Primero, la investigación cuantitativa es especialmente útil cuando se busca cuantificar un fenómeno o problema, proporcionando datos numéricos que pueden ser analizados estadísticamente para obtener conclusiones válidas y confiables. En el contexto de la gestión de procesos y Lean Six Sigma, esta metodología es particularmente relevante, ya que estos campos a menudo requieren la recopilación y análisis de grandes cantidades de datos para identificar patrones, tendencias y relaciones (Takona, 2024).

Además, la investigación aplicada es apropiada cuando el objetivo es resolver problemas prácticos y mejorar la eficiencia de los procesos existentes. En este caso, se utilizarán herramientas y conocimientos adquiridos durante la Maestría en Gestión de Procesos y Lean Six Sigma para abordar el problema de investigación. Esta aplicación directa de la teoría a la práctica no solo permite una comprensión más profunda del problema, sino que también proporciona soluciones viables y efectivas (Lodico et al., 2006).

La orientación explicativa adoptada en este estudio facilita la exploración y esclarecimiento de los factores causales y los mecanismos subyacentes que dan origen a la problemática investigada. Esta aproximación metodológica resulta fundamental para descifrar el origen del fenómeno en cuestión, permitiendo una comprensión profunda de sus raíces y dinámicas internas. La identificación precisa de estos elementos causales proporciona la base para la formulación e implementación de intervenciones estratégicas altamente focalizadas y potencialmente eficaces. Al entender por qué ocurre un problema, se pueden diseñar intervenciones más efectivas y se puede prevenir la recurrencia del problema en el futuro (Yin, 2008).

Diseño

La justificación del diseño de investigación cuasi-experimental. Este diseño es particularmente útil cuando se tienen datos existentes que se pueden utilizar para definir variables. A continuación, se detalla la justificación de este enfoque.

La estrategia investigativa seleccionada se caracteriza por su capacidad de capitalizar la información preexistente para la conceptualización y operacionalización de las variables de estudio. Esta aproximación metodológica adquiere especial relevancia en contextos donde se cuenta con un acervo significativo de datos históricos o actuales. La riqueza informativa disponible permite una delimitación precisa de las variables críticas, facilitando un análisis exhaustivo y multidimensional del fenómeno bajo escrutinio. Al utilizar estos datos, se pueden identificar patrones y tendencias que pueden informar la intervención y mejorar la eficiencia del proceso (Trochim, Donnelly & Arora, 2015).

Herramientas de Investigación

La metodología de recopilación de información se basa en un minucioso análisis documental, enfocándose en la extracción y evaluación de datos procedentes de los registros operativos y reportes periódicos generados por el departamento de producción. Esta información, almacenada principalmente en hojas de cálculo electrónicas, constituye una valiosa fuente de datos históricos y actuales sobre los procesos productivos.

Para el procesamiento y análisis avanzado de esta información, se empleará el software estadístico MINITAB 21, una herramienta especializada que facilitará tanto el análisis descriptivo e inferencial de los datos como la construcción de modelos predictivos y explicativos de los procesos en estudio.

Este enfoque analítico dual, que combina la revisión documental con el análisis estadístico computarizado, permitirá:

- Obtener una comprensión integral y detallada de la problemática en cuestión.
- Identificar y cuantificar las relaciones críticas entre las variables del proceso.
- Desarrollar estrategias de intervención fundamentadas en evidencia cuantitativa robusta.

Población y Muestra

En el marco de esta investigación, se procedió a una delimitación precisa del universo de estudio y la unidad de análisis. El ámbito de investigación se circunscribió específicamente a la línea de fabricación dedicada a la producción de láminas de policarbonato dentro de las instalaciones de la planta objeto de estudio. Esta acotación del campo de investigación permite un enfoque focalizado en los procesos y variables críticas asociadas a la manufactura de este producto en particular.

Dentro de esta población, se seleccionó una línea de fabricación específica para ser la muestra de este estudio. La elección de esta línea de fabricación no fue aleatoria, sino que se basó en criterios específicos que la hacían especialmente relevante para los objetivos de la investigación. En particular, esta línea de fabricación representaba la mayor parte de la producción de la planta en términos de kilogramos por mes y los productos no conformes, lo que la convertía en la más importante de la planta.

Esta decisión permitió un enfoque más detallado y concentrado en la investigación, lo que se esperaba que condujera a resultados más precisos y aplicables.

Tamaño de la muestra para estimación	
Método	
Parámetro	Media
Distribución	Normal
Desviación estándar	23.7 (estimación)
Nivel de confianza	95%
Intervalo de confianza	Bilateral
Resultados	
Margen de error	Tamaño de la muestra
2.5	348

Figura 1 – Resultados **Tamaño de Muestra** – Fuente: Registros de la empresa- Elaboración Propia

El diseño muestral de la investigación se ha configurado para garantizar un nivel de confianza del 95%, lo cual requiere la inclusión de 348 unidades en la muestra. La estrategia de selección adoptada se basa en un muestreo sistemático, que permite una representación equilibrada de los cuatro grupos de trabajo operativos en la línea de producción. Esta metodología de muestreo asegura una distribución equitativa y representativa de las unidades a lo largo de los diferentes turnos y equipos de producción.

La determinación precisa del tamaño muestral, en conjunción con la validación previa del sistema de medición, establece una base sólida para proceder con las subsiguientes fases analíticas del estudio. Este enfoque metódico en la selección y validación de la muestra contribuye significativamente a la robustez y fiabilidad de los resultados que se obtendrán en las etapas posteriores de la investigación.

Análisis

Detalles del análisis

En el siguiente apartado del estudio se enfoca en la implementación rigurosa de los principios y herramientas de Lean Six Sigma. Esta metodología integral será aplicada de manera sistemática para efectuar un análisis exhaustivo y una validación meticulosa de los datos recopilados. El objetivo primordial de esta fase es la extracción de insights significativos y la generación de resultados que se alineen con las hipótesis y objetivos previamente establecidos en la investigación.

Definir

Las etapas y herramientas que vamos a utilizar son las siguientes:

Fase de Priorización Estratégica:

En esta etapa inicial, se emplea la metodología de Despliegue de la Función de Calidad (QFD) para identificar y jerarquizar los aspectos críticos del proceso que requieren intervención. Este análisis estructurado permite alinear las mejoras propuestas con las necesidades del cliente y los objetivos organizacionales.

Fase de Contextualización y Calibración:

Esta etapa comprende dos componentes clave: primero, la elaboración de un diagrama SIPOC (Proveedor, Entrada, Proceso, Salida, Cliente) para establecer una visión integral del proceso productivo. Segundo, se realiza una rigurosa validación del sistema de medición, asegurando la precisión y fiabilidad de los datos recolectados para el análisis subsecuente.

Fase de Análisis Cuantitativo:

En este segmento, se aplica un conjunto de técnicas estadísticas avanzadas para examinar los datos recopilados. El objetivo primordial es identificar y cuantificar las variables que ejercen una influencia significativa en el rendimiento del proceso de fabricación de láminas de policarbonato.

Fase de Optimización Lean:

Esta etapa se enfoca en la implementación de estrategias de mejora basadas en principios Lean. Las intervenciones se diseñan y ejecutan con un enfoque específico en las variables críticas previamente identificadas, buscando maximizar la eficiencia y minimizar los desperdicios en el proceso productivo.

Fase de Monitoreo y Sostenibilidad:

La etapa final se centra en la instauración de mecanismos de control robustos. Estos sistemas están diseñados para supervisar continuamente el proceso mejorado, asegurando la persistencia de las optimizaciones logradas y facilitando la detección temprana y corrección de cualquier desviación.

Despliegue de Funciones de Calidad QFD

La implementación del Despliegue de la Función de Calidad (QFD) se realizó mediante una colaboración estrecha con el departamento comercial de la organización objeto de estudio. Este enfoque colaborativo facilitó una categorización exhaustiva de los atributos esenciales de las láminas de policarbonato, producto central de la investigación.

Como se ilustra en la Figura 2, la matriz QFD sirvió como instrumento para la traducción sistemática de las expectativas del cliente en especificaciones técnicas cuantificables. Este proceso de conversión se fundamentó en la información proporcionada por el equipo comercial, quienes aportaron insights valiosos sobre las demandas y preferencias del mercado. Los requerimientos del cliente identificados y priorizados incluyen:

Requisitos del cliente:

- Durabilidad y resistencia estructural
- Apariencia estética superior
- Competitividad en costos
- Longevidad garantizada del producto

Requisitos técnicos:

- Densidad superficial (expresada en g/m²)
- Proporción de material polimérico virgen
- Espesor de la capa protectora contra radiación ultravioleta
- Dimensiones de la estructura alveolar
- Concentración de aditivos cromáticos
- Precisión en la calibración de equipos
- Grado de estandarización de procesos productivos
- Diversidad y cantidad de insumos requeridos
- Control de variables ambientales en la planta de producción
- Nivel de capacitación del personal operativo

Medir

Durante esta fase del estudio, se emplearon diversos instrumentos con el propósito de obtener datos precisos y detallados acerca del proceso examinado. Asimismo, se verificó la exactitud del sistema de medición utilizado y se recolectó una muestra de datos representativa para llevar a cabo un posterior análisis estadístico riguroso.

SIPOC

Con el objetivo de comprender minuciosamente el proceso de fabricación, se llevó a cabo una observación directa de las distintas etapas y tareas involucradas, tal como se ilustra en la Figura 3

Proveedores	Insumos	Proceso	Salidas	Clientes
<ul style="list-style-type: none">• Área de Almacén• Área de Compras	<ul style="list-style-type: none">• Resina de policarbonato• UVMB• Pigmento (Colorante)• Film• Maquinaria y Equipo	<ol style="list-style-type: none">1. Recepción y almacenamiento de materias primas2. Preparación de materias primas3. Proceso de polimerización4. Enfriamiento y solidificación5. Corte y acabado6. Inspección de calidad7. Empaque y almacenamiento	<ul style="list-style-type: none">• Planchas de policarbonato• Residuos y subproductos• Informes de producción y calidad	<ul style="list-style-type: none">• Departamento de producción (para feedback y mejora continua)• Departamento de ventas y distribución (reciben las planchas aprobadas para su venta)• Departamento de gestión de residuos (manejan las planchas rechazadas)

Figura 3 - SIPOC del Proceso de Elaboración de Placas de Policarbonato - Fuente Empresa

A través del SIPOC, Mediante su uso, es posible identificar y examinar detalladamente las entradas y salidas del proceso, asegurando que estas cumplan con las especificaciones establecidas por los clientes internos y externos . Además, el SIPOC facilita la identificación de las entradas críticas (conocidas como las 6M: Mano de obra, Máquinas, Materiales, Métodos, Medición y Medio ambiente) que pueden tener un impacto significativo en el proceso. Durante la fase de análisis, se emplean herramientas específicas para determinar cuáles de estas entradas son esenciales y cuáles pueden ser eliminadas, lo que contribuye a una comprensión más completa y detallada del proceso en su totalidad.

Evaluación de la Repetibilidad y Reproducibilidad (R&R) en el Proceso de Fabricación

Con el objetivo de determinar la exactitud del sistema de medición, se llevó a cabo un estudio experimental en el que se midieron 10 muestras por parte de 4 operadores pertenecientes a diferentes equipos de trabajo. Cada operador realizó 3 mediciones de cada muestra, lo que permitió evaluar la repetitividad (consistencia de las mediciones realizadas por el mismo operador) y la reproducibilidad (consistencia de las mediciones entre diferentes operadores) de los resultados. Este diseño experimental tiene como finalidad establecer la fiabilidad del sistema de medición y determinar si su variabilidad inherente tiene un impacto significativo en la variabilidad global del proceso. Los datos obtenidos fueron analizados utilizando el software estadístico Minitab:

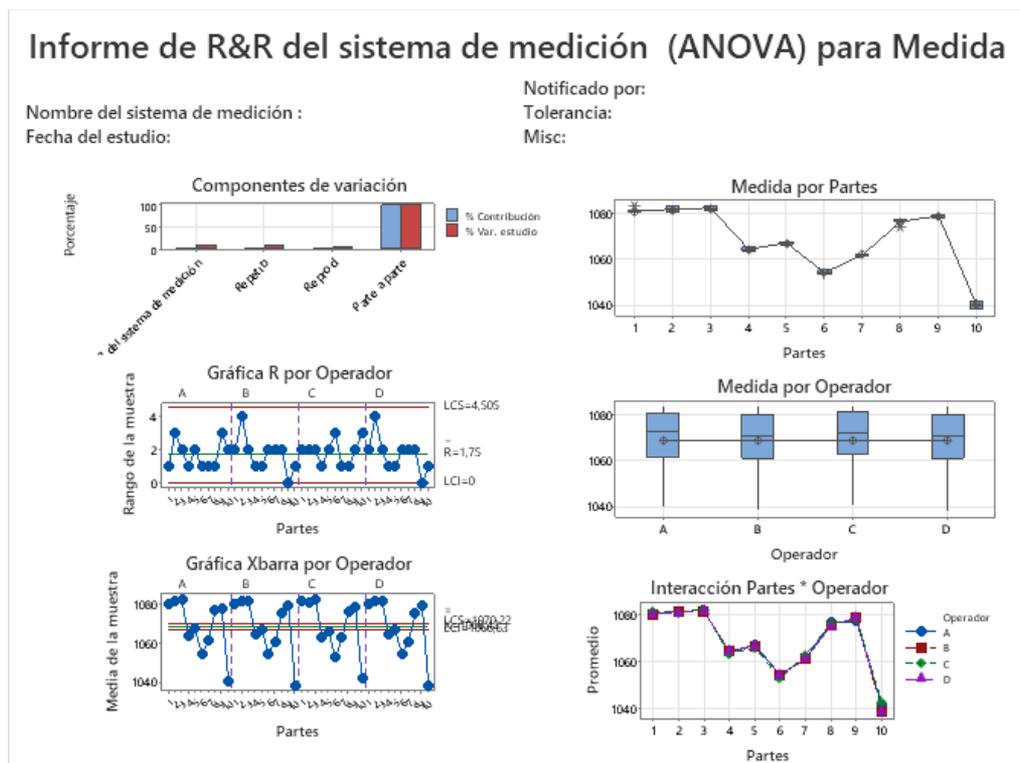


Figura 4 - Informe R&R ANOVA – Elaboración Propia

Evaluación del sistema de medición

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. estudio (6 × DE)	%Var. (%VE)
Gage R&R total	1,2346	7,4075	8,83
Repetibilidad	1,0646	6,3875	7,62
Reproducibilidad	0,6252	3,7510	4,47
Operador	0,0000	0,0000	0,00
Operador*Partes	0,6252	3,7510	4,47
Parte a parte	13,9192	83,5154	99,61
Variación total	13,9739	83,8433	100,00

Figura 5 - Evaluación del sistema de medición – Elaboración Propia

La Figura 5 muestra que la variación atribuida a la repetitividad es del 7.62%, lo que sugiere una consistencia en las mediciones realizadas sobre la misma pieza o componente, indicando así una calibración adecuada de los instrumentos de medición. Por otro lado, la reproducibilidad se encuentra en un 4.47%, lo cual señala que diferentes operadores son capaces de obtener resultados similares al medir la misma pieza, reflejando la existencia de una metodología de medición estandarizada y clara que es aplicada por todos los participantes. Como consecuencia, el valor total del R&R es del 8.83%, encontrándose por debajo del umbral del 10%. Este resultado confirma la fiabilidad del sistema de medición y permite concluir que su contribución a la variabilidad general del proceso no es significativa.

Analizar

Después de realizar el muestreo sistemático y obtener los datos necesarios, se procede con el análisis de la información. Para iniciar el proceso de análisis, se construye un diagrama de Causa-Efecto, comúnmente denominado diagrama de Ishikawa. Esta herramienta visual facilita la identificación de los potenciales factores que contribuyen a la variabilidad observada en los gramajes del producto.

Posteriormente, se utilizan diversas herramientas estadísticas en esta etapa del análisis. A través de la aplicación de estas técnicas, se eliminan gradualmente los factores que no tienen un impacto relevante en el resultado final, es decir, que no tienen un impacto relevante en la variabilidad de los gramajes. Al final, se mantienen únicamente las causas que se han identificado como significativas.

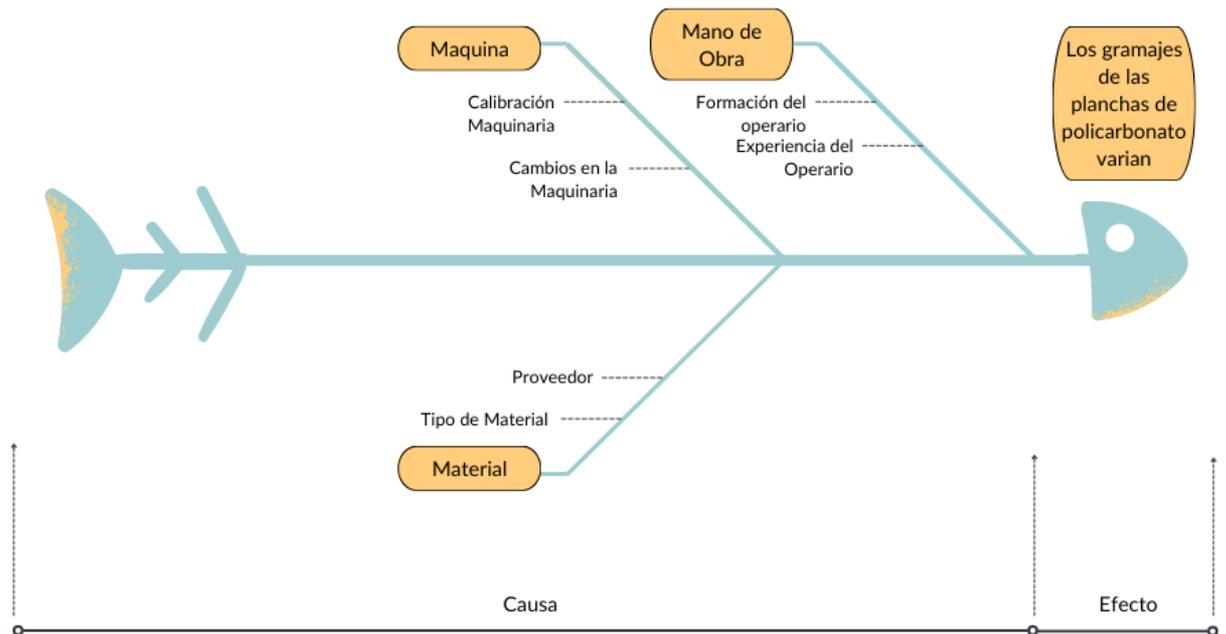


Figura 6 - Diagrama Causa Efecto - Elaboración Propia

Una vez que se han determinado los potenciales factores que influyen en el proceso, se procede a realizar un Análisis de Varianza (ANOVA) con el objetivo de depurar las variables de entrada. Este método estadístico permite identificar aquellas variables que tienen un impacto significativo en el resultado final del proceso, discriminando así las que no contribuyen de manera relevante.

Aplicación del Análisis de Varianza (ANOVA) para la Identificación de Variables Significativas

Las variables que se van a analizar son las siguientes:

- Mano de Obra: Muestra de los 4 Operarios

- Mano de Obra: Turno Dia – Noche
- Material: Pigmento
- Maquinaria: Calibración de Maquinaria

De la información del Anexo 2 en la cual agrupamos la información para poderlo procesar en el Minitab y obtuvimos el siguiente resultado de la figura 7:

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TURNO	1	6,6	6,59	0,24	0,632
GRUPO	3	56,8	18,93	0,70	0,574
PIGMENTO	1	19,0	19,04	0,70	0,421
Caudal de Aire	11	14411,3	1310,12	48,11	0,000
Error	11	299,5	27,23		
Falta de ajuste	4	92,0	23,01	0,78	0,574
Error puro	7	207,5	29,64		
Total	27	15702,5			

Figura 7 - Analisis de Varianza de Varias Fuentes - Fuente: Datos dela empresa - Elaboración Propia

Los resultados del Análisis de Varianza (ANOVA) se interpretan de la siguiente manera: indican que el caudal de aire es un factor altamente influyente en la variabilidad del gramaje, dado que su valor P es inferior a 0.05 . Esta observación implica que las modificaciones en el caudal de aire tendrán un impacto significativo en la variable de salida. Por otro lado, la materia prima presenta una menor relevancia, con un valor P de 0.00. En consecuencia, las variables de entrada correspondientes al turno y al pigmento se excluyen de las siguientes etapas de la metodología DMAIC, y el diseño experimental se enfocará exclusivamente en la variable del caudal de aire.

Mejorar

Durante esta etapa, se busca identificar la combinación óptima de los niveles correspondientes a los factores que tienen un impacto significativo en los resultados del proceso. Para lograr este objetivo, se llevarán a cabo 10 pruebas experimentales en un orden

aleatorio, con el propósito de establecer el valor del caudal de aire que permita obtener un gramaje de las láminas cercano a 1051 g/m².

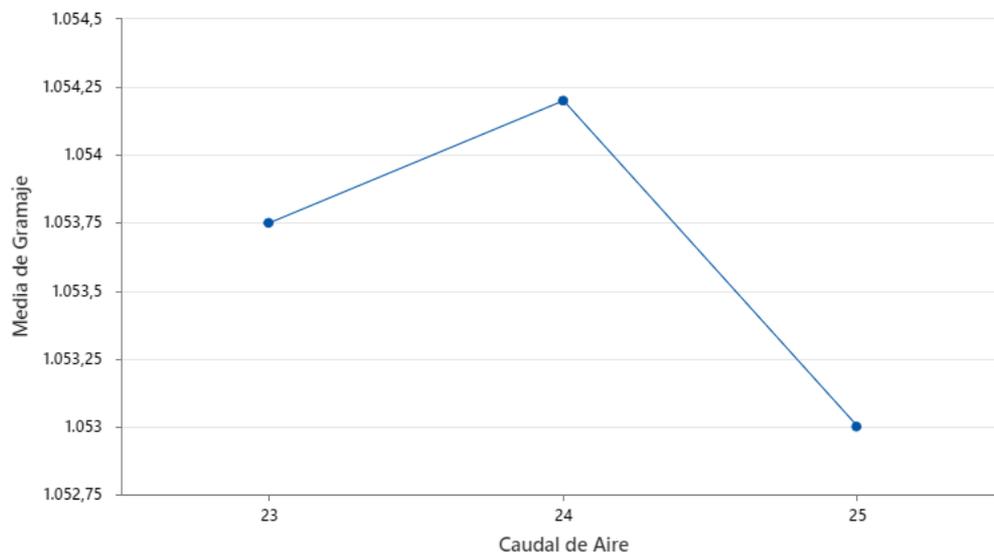


Figura 8 - Variación de Caudales de Aire vs Gramaje - Elaboración Propia

La Figura 8 revela que, entre los factores analizados, el caudal de aire ejerce la influencia más significativa sobre el gramaje resultante. Cuando el caudal de aire se establece en 24 bares, se obtiene un gramaje más alto. Por otro lado, cuando el caudal de aire se fija en 25 bares, se logra un gramaje que se acerca más al valor que la empresa busca estandarizar.

Implementación de mejoras

Con el objetivo de facilitar la identificación del nivel óptimo de presión del aire que permita obtener el gramaje deseado, se instalaron indicadores visuales en forma de semáforo en los medidores de presión del caudal de aire. Adicionalmente, se brindó capacitación al personal de producción para asegurar su correcta interpretación y uso. Estos indicadores, ilustrados en la Figura 9, permitirán a los operadores ajustar de manera eficiente la presión

del aire para alcanzar los resultados esperados en términos de gramaje.

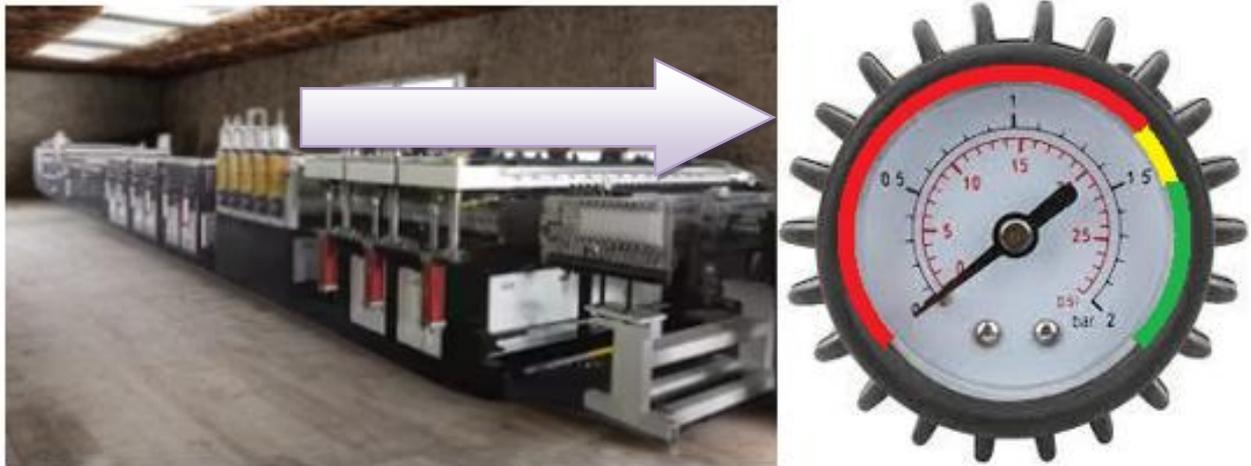


Figura 9 - SemafORIZACIÓN de Barómetros - Elaboración Propia

Controlar

En esta etapa, es necesario controlar las variables críticas que afectan los resultados del proceso. En este caso, el enfoque está en el control del caudal de aire. Con el fin de garantizar la efectividad de las mejoras implementadas, se desarrolla un plan de control que detalla los parámetros y procedimientos necesarios para llevar a cabo las mediciones. Este plan especifica los aspectos clave del proceso de medición, tales como las variables a medir, los puntos de muestreo, el tamaño de la muestra, la metodología de medición y la interpretación de los resultados obtenidos. Además, el plan de control establece las acciones correctivas que se deberán tomar en caso de que los resultados no cumplan con los estándares establecidos, asegurando así la continuidad y la eficacia de las mejoras a lo largo del tiempo..

Se define el KPI tal como detalla la figura 10:

Control	Límites de especificación	Proceso	Método de control	Tamaño de muestra	Frecuencia	Quien lo mide	Toma de Decisión
Caudal del Aire	24.02 a 25.84	Fabricación de planchas de policarbonato	Gráfico Xbarra-R	7	C/Hora	Operario en turno	Regulación de barómetro a los límites específicos

Figura 10 - KPI de Control para Caudal de Aire - Elaboración Propia

Para asegurar un seguimiento continuo de la variable del caudal de aire, se emplearon gráficos de control X-Barra y R, tal como se ilustra en la Figura 11. Estos gráficos permiten detectar cualquier desviación significativa en el proceso y tomar acciones correctivas de manera oportuna.

A partir del análisis de estos resultados, es posible inferir que la implementación conjunta de los gráficos de control y el plan de control ha sido efectiva para mantener bajo control la variabilidad de los gramajes, consolidando así las mejoras alcanzadas durante la fase de mejora de la metodología Six Sigma.

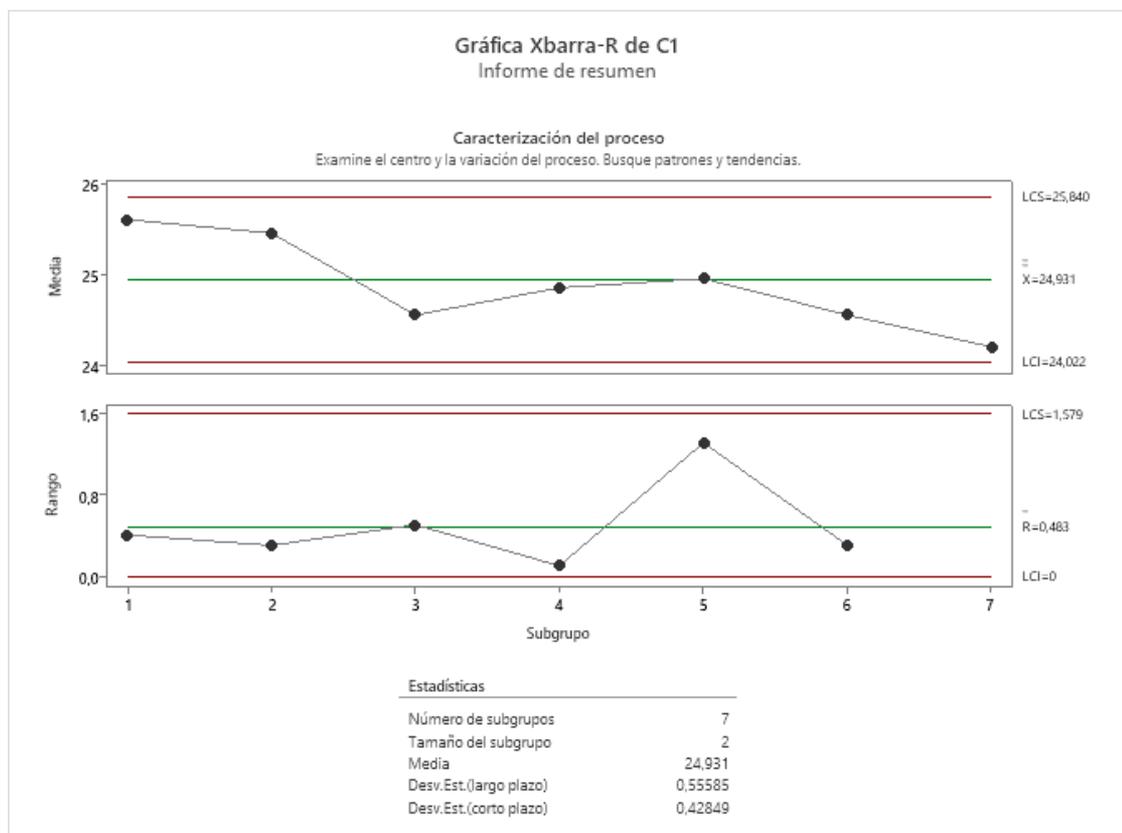


Figura 11 - Gráfica de Control XbarraR de Caudal de Aire - Elaboración Propia

Resultados

A partir de los resultados obtenidos, es posible inferir que la aplicación conjunta de los gráficos de control y el plan de control ha sido eficaz para mantener bajo control la

real del proceso (Cpk) también experimentó un aumento, alcanzando un valor de 1.41, lo que indica que el proceso se encuentra centrado con respecto a las especificaciones establecidas. Asimismo, el nivel de calidad Sigma se incrementó hasta 4.15, lo que se traduce en una reducción notable del número de defectos por millón de oportunidades (DPMO), llegando a tan solo 17

En conclusión, los resultados obtenidos demuestran una mejora significativa en el desempeño del proceso. Esto se evidencia en el aumento de la capacidad potencial y real del proceso, así como en el incremento del nivel de calidad Sigma, lo que a su vez se refleja en una disminución considerable del número de defectos

La figura 13 permite identificar a los operadores cuyo desempeño se ajusta a los estándares establecidos en el trabajo estandarizado, con base en los resultados obtenidos:

Para el trabajo estándar se debe de tener en cuenta lo siguiente:

- Caudal de aire: 24.02 a 25.84 lt/min.

Por lo cual se va a estandarizar a lo que realiza el equipo O1.

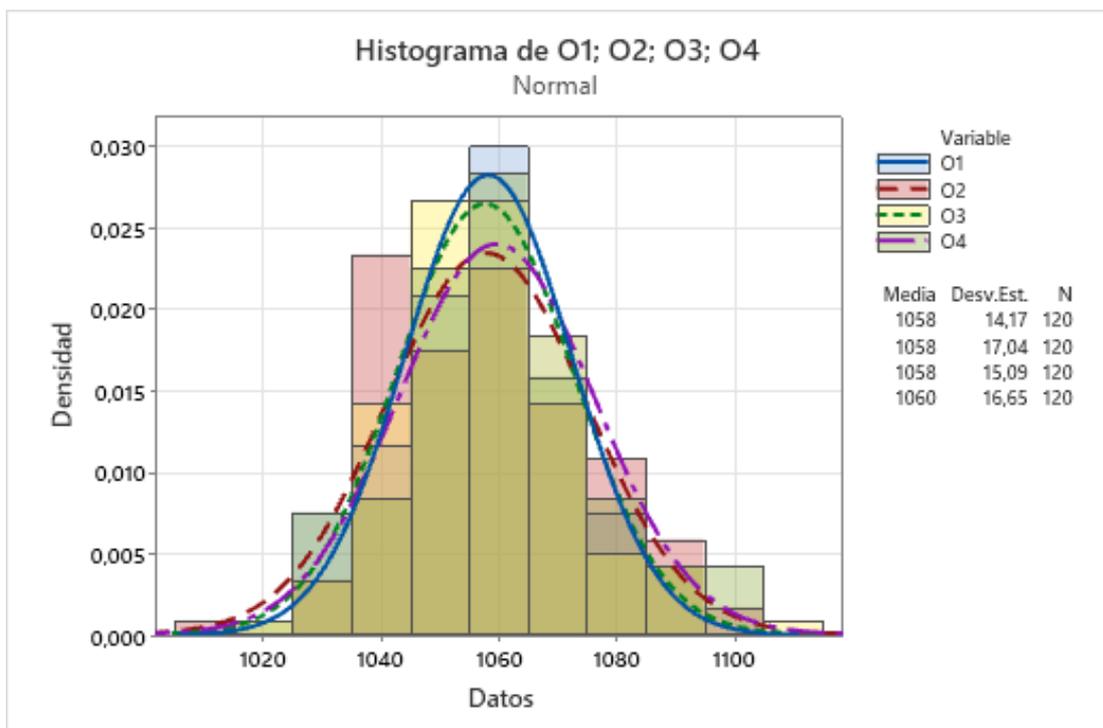


Figura 13 - Histograma de Gramaje de Policarbonato por grupos - Fuente: Datos de la empresa - Elaboración Propia

La tabla 1 muestra los resultados obtenidos a partir de la identificación de las condiciones de proceso, realizada mediante el análisis del método de trabajo y el monitoreo del desempeño del grupo O1:

Tabla 1 - Condiciones Adecuada para el proceso

Tipo	Condición
T de Cabezales	245° C
Presión del caudal de aire	25 Lt/min
Velocidad de Arrastre	2.25 m/min
Dosificación de Pigmento	2% sobre 29.8
Distancia entre rodillos de arrastre	4.3 mm

Fuente: Datos de la empresa - Elaboración Propia

Adicionalmente, se identificaron las actividades críticas que deben llevarse a cabo antes de comenzar la producción para prevenir problemas a corto plazo. El análisis de los datos reveló la importancia de verificar la fecha de vencimiento de las materias primas e insumos, asegurar un suministro adecuado de materias primas y garantizar que la presión del caudal de aire esté correctamente nivelada

A partir de la información recopilada, es posible desarrollar un trabajo estandarizado que documente y actualice las condiciones y acciones necesarias antes, durante y después del proceso de fabricación, con el objetivo de disminuir la cantidad de productos no conformes. Este trabajo estandarizado se basa en las mejores prácticas identificadas en el grupo de trabajo con el menor número de productos no conformes y en los resultados obtenidos del diseño de experimentos

Se llevaron a cabo capacitaciones y se realizó un seguimiento para garantizar la correcta implementación de los nuevos procedimientos de trabajo. Después de la aplicación de la metodología Lean Six Sigma, que combina el enfoque DMAIC y el trabajo estandarizado, se recolectaron datos semanales. La tabla 2 presenta una comparación entre estos resultados y los datos obtenidos antes de la implementación :

Tabla 2 - Resultados de comparación Antes y Después

Variables	Antes	Después	UM	Diferencia UM	%	Prom. Dif KG x UM	Ahorro Mensual en KG
Gramaje	1066.6	1051	gr/m2	15.6	1.46%	150.68	2.350,61
Producto no conforme	471	212	Unidades	259	54.98%	23.2	6.008,8
						Ahorro Total KG	8.359,41
						Ahorro total en \$	16.886,01

Fuente: Datos de la Empresa - Elaboración Propia

La tabla [número de la tabla] muestra los valores promedio mensuales de los gramajes y la cantidad de productos no conformes antes y después de la aplicación de la metodología Lean Six Sigma. Adicionalmente, se presenta la diferencia para cada variable, expresada tanto en kilogramos mensuales como en porcentaje. Gracias a la implementación de Lean Six Sigma, se ha logrado una reducción significativa en el consumo de materia prima. Específicamente, se ha conseguido un ahorro del 1,46% de materia prima por metro cuadrado en cada plancha de policarbonato, lo que equivale a un ahorro mensual promedio de 2.350,61 kg. Además, la disminución en la producción de productos no conformes ha permitido ahorrar 6.008,8 kg de materia prima por mes. En total, el ahorro promedio mensual de materia prima asciende a 8.359,41 kg. Teniendo en cuenta que el precio de mercado de la materia prima es de aproximadamente 2,02 dólares por kilogramo, se calcula un ahorro mensual promedio de 16.886,01 dólares.

Discusión

La implementación de la metodología Lean Six Sigma ha demostrado ser una estrategia efectiva para mejorar la productividad y la calidad en la industria de plásticos. De los cuales mencionaremos y compararemos los resultados versus investigaciones que se referencio en el apartado de trabajos relacionados.

En la Mejora en la capacidad del proceso en los resultados mostrados en el trabajo investigativo muestra un aumento en la capacidad potencial (Cp) a 1.44 y en la capacidad real (Cpk) a 1.41. Esto indica una mejora significativa en la capacidad del proceso para cumplir con las especificaciones establecidas.

Esta mejora es comparable con los resultados obtenidos por Rodríguez (2019), quien reportó "un incremento en la capacidad del proceso de 0.8 a 1.3 después de la implementación de Lean Six Sigma en la producción de plásticos" (Rodríguez , 2019).

El estudio actual logró una reducción del nivel de defectos por millón de oportunidades (DPMO) a 17, lo que corresponde a un nivel Sigma de 4.15.

Martínez (2018) encontró resultados similares en su investigación, indicando que "la implementación de Lean Six Sigma resultó en una reducción del DPMO de 3,400 a 233, elevando el nivel Sigma de 4.2 a 5.0" (Martinez , 2018).

También un ahorro mensual promedio de 8,359.41 kg de materia prima, lo que se traduce en un ahorro económico de \$16,886.01 dólares mensuales.

González (2020) reportó en su estudio "un ahorro de materia prima del 5% después de la implementación de Lean Six Sigma, lo que resultó en una reducción de costos de aproximadamente \$20,000 dólares mensuales" (Gonzalez, 2020).

El estudio actual logró una reducción del 54.98% en productos no conformes.

Este resultado es comparable con lo reportado por Rodríguez (2019), quien encontró "una reducción del 48% en productos no conformes tras la implementación de metodologías Lean Six Sigma" (Rodriguez, 2019).

Limitaciones que se encontró y que no se pudo aplicar:

Periodo de estudio: el periodo de tiempo ya que solo se realizó la mejora dentro de un mes y el comparativo con los históricos anteriores, lo que dificulta la evaluación de la sostenibilidad de las mejoras a largo plazo.

Factores externos: No se discute el posible impacto de factores externos (como cambios en el mercado o en la cadena de suministro) que podrían haber influido en los resultados.

Análisis de costos: Aunque se menciona ahorros en materia prima, no se proporciona un análisis completo de costos-beneficios que incluya los costos de implementación de Lean Six Sigma.

Validación cruzada: No se menciona la realización de una validación cruzada de los resultados con otros procesos o líneas de producción ya que solo se fijó en el producto que más variaciones tiene y la máquina que realiza el proceso

En conclusión, los resultados obtenidos son consistentes con los hallazgos reportados en la literatura sobre la implementación de Lean Six Sigma en la industria de plásticos. Sin embargo, es importante abordar las limitaciones mencionadas para fortalecer la validez y generalización de los resultados.

Conclusiones

- La aplicación de la metodología Lean Six Sigma, particularmente el ciclo DMAIC, demostró ser una estrategia efectiva para abordar los problemas de variabilidad de gramajes y la producción de productos no conformes en la línea de láminas de policarbonato de la empresa Seteco
- Se logró una mejora notable en la capacidad del proceso, con un incremento en la capacidad potencial (C_p) a 1.44 y en la capacidad real (C_{pk}) a 1.41. Estos resultados indican que el proceso ha aumentado su capacidad para cumplir con las especificaciones establecidas y se encuentra mejor centrado en relación con dichas especificaciones
- El nivel de calidad Sigma alcanzó un valor de 4.15, lo que se reflejó en una reducción significativa del número de defectos por millón de oportunidades (DPMO) a 17. Esta mejora representa un avance considerable en la calidad del proceso de producción
- Se consiguió una disminución del 54.98% en la cantidad de productos no conformes, lo que evidencia una mejora sustancial en la calidad del producto final y una reducción en el desperdicio de materiales y recursos
- La implementación de Lean Six Sigma generó un ahorro mensual promedio de 8,359.41 kg de materia prima, lo que equivale a un ahorro económico de \$16,886.01 dólares mensuales. Estos resultados demuestran el impacto positivo de la metodología en la eficiencia del uso de recursos y en la reducción de costos
- El análisis estadístico, especialmente el Análisis de Varianza (ANOVA), fue fundamental para identificar las variables críticas del proceso. Se determinó que el caudal de aire era la variable más significativa que influía en la variabilidad de los gramajes

- La implementación de medidas de control, como la semaforización de los barómetros y la capacitación del personal, resultó efectiva para mantener las mejoras alcanzadas y garantizar la consistencia en la producción

Recomendaciones

- Se recomienda mantener un programa de capacitación continua para el personal, enfocado en los nuevos procedimientos de trabajo estandarizados y en la importancia del control del caudal de aire para garantizar la calidad del producto.
- Es aconsejable implementar un sistema de monitoreo continuo de las variables críticas del proceso, con especial énfasis en el caudal de aire, para identificar y corregir desviaciones de manera oportuna.
- Se sugiere extender la aplicación de la metodología Lean Six Sigma a otras líneas de producción y procesos dentro de la empresa, con el objetivo de lograr mejoras similares en eficiencia y calidad.
- Es recomendable establecer un programa de mantenimiento preventivo para los equipos, particularmente aquellos que controlan el caudal de aire, para asegurar su correcto funcionamiento y precisión.
- Se propone desarrollar un sistema de incentivos para los empleados que contribuyan a mantener y mejorar los estándares de calidad establecidos, fomentando así su compromiso con la mejora continua.
- Es aconsejable implementar un sistema de gestión visual en toda la planta para facilitar el seguimiento de los indicadores clave de rendimiento (KPIs) y promover una cultura de mejora continua en todos los niveles de la organización.

- Se recomienda llevar a cabo auditorías periódicas del proceso para verificar el cumplimiento de los nuevos estándares y procedimientos establecidos, garantizando así la sostenibilidad de las mejoras alcanzadas.

Referencias

- Franchetti, M. J. (2015). *Lean Six Sigma for Engineers and Managers*. CRC Press.
<https://doi.org/10.1201/b18234>
- González, M. (2020). Implementación de Lean Six Sigma en la Industria de Plásticos [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio UNAM.
- International Lean Six Sigma. (2023, 26 febrero). Herramientas de Lean Six Sigma para la mejora continua. <https://internationalleansixsigma.org/las-principales-herramientas-de-lean-six-sigma/>
- Lodico, M. G., Spaulding, D. T., & Voegtle, K. H. (2006). Methods in educational research: From theory to practice. En *Methods in educational research: From theory to practice*. Jossey-Bass.
- Martínez, L. (2018). Aplicación de Lean Six Sigma en la Optimización de Procesos de Producción [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Valencia]. Repositorio UPV.
- Michael L. George Mark Price John Maxey with contributions from Paul Jaminet Kimberly Watson-Hemphill and Chuck Cox, D. R. (2004). *The lean six sigma pocket toolbox : a quick reference guide to nearly 100 tolos for improving process quality, speed, and complexity*. New York : McGraw-Hill, [2005] ©2005.
<https://search.library.wisc.edu/catalog/9910766078202121>
- Moises, T. E., Alicia, L. G., Dario, H. R. M., & Javier, R. L. A. (2019, 1 septiembre). Análisis de un sistema de medición con características multivariantes.
<https://rinacional.tecnm.mx/jspui/handle/TecNM/800>
- Montgomery, D. C. (2020). *Introduction to Statistical Quality Control*. Wiley.
- Oakland, J., & Oakland, R. (2018). *Statistical Process Control*. Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9781315160511>
- Pyzdek, T., & Keller, P. (2014). *The six sigma handbook*.
- Ramos, I. D., Valdés, M. C. M., & Bretaña, R. M. G. (2013). *Control Estadístico de la Calidad de un Proceso Químico* (pp. 476-479). https://doi.org/10.1007/978-3-642-21198-0_122
- Rodríguez, P. (2019). Mejora de la Calidad en la Producción de Plásticos mediante Lean Six Sigma [Tesis de maestría, Universidad de Buenos Aires]. Repositorio UBA.
- Socconini, L. (2019). *Lean manufacturing: paso a paso*. Barcelona. Editorial: Marge Books
- Takona, J. P. (2024). Research design: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches / sixth edition. *Quality & Quantity*, 58(1), 1011-1013.
<https://doi.org/10.1007/s11135-023-01798-2>

Yin, R. K. (2008). *Case Study Research: Design and Methods*. SAGE Publications.
<https://books.google.com.ec/books?id=fpX1AwAAQBAJ>

Anexos

ANEXO 1: CARTA DE SOLICITUD DE INFORMACIÓN

Quito, 26 de marzo del 2024

Estimados. -

Mi nombre es Carlos Andres Churuchumbi Chachalo y actualmente estoy cursando una Maestría en Gestión de Procesos con un enfoque en Lean Six Sigma y metodologías digitales transformacionales en Universidad de las Americas. Como parte de mi proyecto Capstone, estoy realizando una investigación sobre la aplicación de herramientas Lean Six Sigma en la industria.

He elegido a Seteco como objeto de estudio debido a su reputación en el mercado y su compromiso con la mejora continua y la eficiencia operativa. Creo que su empresa puede proporcionar un valioso contexto y conocimientos para mi investigación.

Por lo tanto, me gustaría solicitar su permiso para obtener información relacionada con los procesos internos de su empresa. Entiendo que esta información puede ser sensible, por lo que me comprometo a tratar todos los datos e información proporcionados con la máxima confidencialidad y solo para fines académicos.

Agradezco de antemano su consideración y espero tener la oportunidad de aprender de las experiencias de Seteco en la aplicación de Lean Six Sigma. Creo que este proyecto no solo enriquecerá mi aprendizaje, sino que también podría proporcionar a Seteco una perspectiva externa sobre sus operaciones.

Por favor, no dude en ponerse en contacto conmigo si necesita más información sobre mi proyecto de investigación o si tiene alguna pregunta. Estoy a su disposición para discutir esto más a fondo.

Gracias por su tiempo y consideración.

Atentamente,



Carlos Andres Churuchumbi Chachalo

COPIA



ANEXO 2

CARPETA DE INFORMACIÓN BASE DE DATOS DE INFORMACIÓN – MATLAB

Link de One Drive

[Datos](#)

ANEXO 3

EVIDENCIA FOTOGRAFICA



SIMULACIÓN DE CALIBRACIÓN DE BAROMETRO PARA LLEGAR AL ESTANDAR



REGISTRO DE ACTIVIDADE EN MAQUINA DE LAMINA DE POLICARBONATO



SOCIALIZACIÓN DE CAMBIOS EN EL PROCESO Y EL CONTROL QUE SE VA A LLEVAR A CABO