Propuesta de mejora basada en la herramienta Lean Six Sigma para la reducción de tiempos improductivos para el área de producción de plásticos de Industrias Haceb S.A.

Autor:

Diego Alexander Ortega Lopera

Director:

Jorge Iván Hinojosa Calderón

Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano

Ingeniería Industrial

Bogotá D.C., Colombia

Junio 26 de 2026

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN 3
ABSTRACT 4
INTRODUCCIÓN 5
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 7
1.2 Pregunta de Investigación 10
2. OBJETIVOS 11
3.1. Objetivo General 11
3.2. Objetivos Específicos 11
2. JUSTIFICACIÓN 12
3. MARCO TEÓRICO 14
4. METODOLOGÍA 19
5.1. Diseño y tipo de la investigación 19
5.2. Etapas del proyecto alineadas con los objetivos específicos de la investigación 20
5.3. Tamaño de la muestra 23
5.4. Validación de las fases 23
5.5. Alcance de la investigación 24
5.6. Técnica de recolección e instrumentos de la información 25
5. RESULTADOS 27
6.1. Etapa I - Análisis de las causas asociadas a los tiempos improductivos 27
6.2. Etapa II - Análisis de las fases DMAIC 29
6.2.1. Hallazgos para la Fase 1 – Definir 29
6.2.2. Hallazgos para la Fase 2 – Medir 31
6.2.3. Hallazgos de realizar la Fase 3 – Analizar 40
6.2.4. Hallazgos de realizar la Fase 4 – Mejorar 42
6.2.5. Hallazgos de realizar la Fase 5 – Controlar 46
6.3. Plan de acción Lean Six Sigma 50
6. CONCLUSIONES 53
7. RECOMENDACIONES 54
8. BIBLIOGRAFÍA 55

RESUMEN

La presente investigación se desarrolló como propuesta de plan de mejora basado en la metodología Lean Six Sigma, centralizado en la reducción de tiempos improductivos en el área de inyección de plásticos de Industrias Haceb S.A. El estudio se desarrolló bajo un enfoque mixto con diseño explicativo secuencial, integrando un análisis cuantitativo y cualitativo, a partir de información operacional correspondiente al periodo comprendido entre enero y marzo de 2026. La investigación se estructuró mediante la aplicación del ciclo DMAIC. En el desarrollo de las fases, se identificaron las principales causas de improductividad mediante herramientas como el diagrama de Ishikawa y el árbol causal, evidenciando problemas asociados a la falta de estandarización, fallas de maquinaria, variabilidad en los materiales y deficiencias en los procesos de control. Posteriormente, se analizaron 3.459 registros operacionales, identificando un total de 1.355 horas de espera por novedades de paro, equivalentes al 66,1 % del tiempo programado, además se observó un incumplimiento productivo frente a las metas establecidas. A partir de los resultados obtenidos, se determinaron oportunidades de mejora orientadas a la reducción de tiempos de parada, la estandarización de parámetros operativos, el fortalecimiento del mantenimiento preventivo. Integrando en la propuesta, las herramientas Lean como las 5S y tableros visuales de control, esto a partir de un plan de acción y un esquema de seguimiento mediante indicadores de desempeño que permitirán garantizar la sostenibilidad de las mejoras propuestas, contribuyendo al incremento de la eficiencia operativa, la productividad y la en la reducción de tiempos improductivos.

Palabras clave: Lean Six Sigma, DMAIC, manufactura, tiempos improductivos, productividad, inyección de plásticos, eficiencia operativa.

ABSTRACT

This research was developed as a proposal for an improvement plan based on the Lean Six Sigma methodology, focused on reducing non-productive time in the plastics injection area of Industrias Haceb S.A. The study was conducted using a mixed-methods approach with a sequential explanatory design, integrating both quantitative and qualitative analyses based on operational data collected between January and March 2026. The research was structured through the application of the DMAIC cycle (Define, Measure, Analyze, Improve, and Control). During its development, the main causes of inefficiency were identified using tools such as the Ishikawa diagram and cause-and-effect tree analysis, revealing issues related to the lack of process standardization, equipment failures, material variability, and deficiencies in control processes. Subsequently, 3,459 operational records were analyzed, identifying a total of 1,355 hours of downtime due to operational stoppages, equivalent to 66.1% of the scheduled production time. Additionally, production performance showed non-compliance with the established production targets. Based on the results obtained, several improvement opportunities were identified, including the reduction of downtime, standardization of operational parameters, and strengthening of preventive maintenance activities. The proposal also incorporates Lean tools such as the 5S methodology and visual management boards. These initiatives are supported by an action plan and a monitoring framework based on performance indicators, aimed at ensuring the sustainability of the proposed improvements. Ultimately, the implementation of these actions is expected to enhance operational efficiency, increase productivity, and reduce non-productive time within the plastics injection process.

Keywords: Lean Six Sigma, DMAIC, manufacturing, non-productive time, productivity, plastics injection molding, operational efficiency.

INTRODUCCIÓN

Mantener procesos de mejora continua en entornos industriales constituye un pilar fundamental para incrementar la eficiencia operativa y la competitividad en empresas de manufactura (López y Torres, 2017). En este contexto, las organizaciones enfrentan el reto permanente de optimizar el uso de sus recursos, reducir desperdicios y garantizar la estabilidad de sus procesos productivos.

En la planta de producción de plásticos de Industrias Haceb S.A se realiza la producción de insumos plásticos para la fase de producción de semielaborados plásticos, la cual ha venido evidenciando la presencia de tiempos improductivos en su proceso de inyección, principalmente por las paradas de máquinas. Para el análisis de esta problemática, se toma como base la información correspondiente a los últimos 30 días de operación con turnos completos, comprendidos dentro de los tres primeros meses del año 2026. Esta situación ha generado impactos negativos en la capacidad productiva, la eficiencia de la línea y la adecuada utilización de los recursos, traduciéndose en incrementos en los costos operativos y pérdidas de productividad.

Frente a esta problemática, surge la necesidad de implementar metodologías estructuradas que permitan analizar y mejorar el desempeño del proceso. En este sentido, el proyecto tiene como alcance proponer Lean Six Sigma como estrategia de calidad y utilizar el ciclo DMAIC con el fin de proponer una estrategia de reducción a los tiempos improductivos en la línea de producción (Rodríguez y Pérez, 2020). Para ello, se plantea un análisis en la base de datos, suministrada por la empresa, para el periodo comprendido entre enero y marzo del año 2026, con el fin de identificar las causas críticas que presentan mayores desviaciones en su desempeño.

Esta integración metodológica permitirá no solo identificar dónde se presentan las ineficiencias, sino también comprender su causa raíz (Cerón, Gracia, Ávila y Muñoz, 2024).

La identificación de los aspectos críticos se realizará a partir de tres criterios fundamentales: el tiempo total de proceso programado, el tiempo total de proceso semielaborado y el tiempo total de espera por novedad de paro programado, todos calculados en horas. Estos indicadores permiten evidenciar la inestabilidad operacional existente dentro del proceso de inyección y cuantificar el impacto de los tiempos improductivos sobre la productividad. Durante el periodo analizado se registraron 2.049 horas de proceso programado, de las cuales 1.355 horas correspondieron a tiempos de espera por novedad de paro programado, representando aproximadamente el 66,1 % del tiempo total registrado, lo que evidencia una afectación significativa sobre la disponibilidad de las máquinas y el cumplimiento de la producción planificada.

Adicionalmente, se empleará el ciclo estructurado DMAIC, el cual constituye uno de los métodos más utilizados para ejecutar proyectos de mejora continua dentro del enfoque Lean Six Sigma. Esta metodología permitirá identificar las actividades que no agregan valor al proceso, así como los principales tiempos improductivos presentes en la producción durante el periodo comprendido entre enero y marzo de 2026. A través de sus fases de Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, será posible estructurar un diagnóstico integral de la problemática, priorizar las causas críticas y formular alternativas de solución orientadas a incrementar la eficiencia operacional.

Finalmente, a partir de los resultados obtenidos, se establecerá un plan de acción asociado a la metodología DMAIC, priorizando aquellas estrategias que generen un mayor impacto sobre el desempeño operativo de la planta de producción de plásticos.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

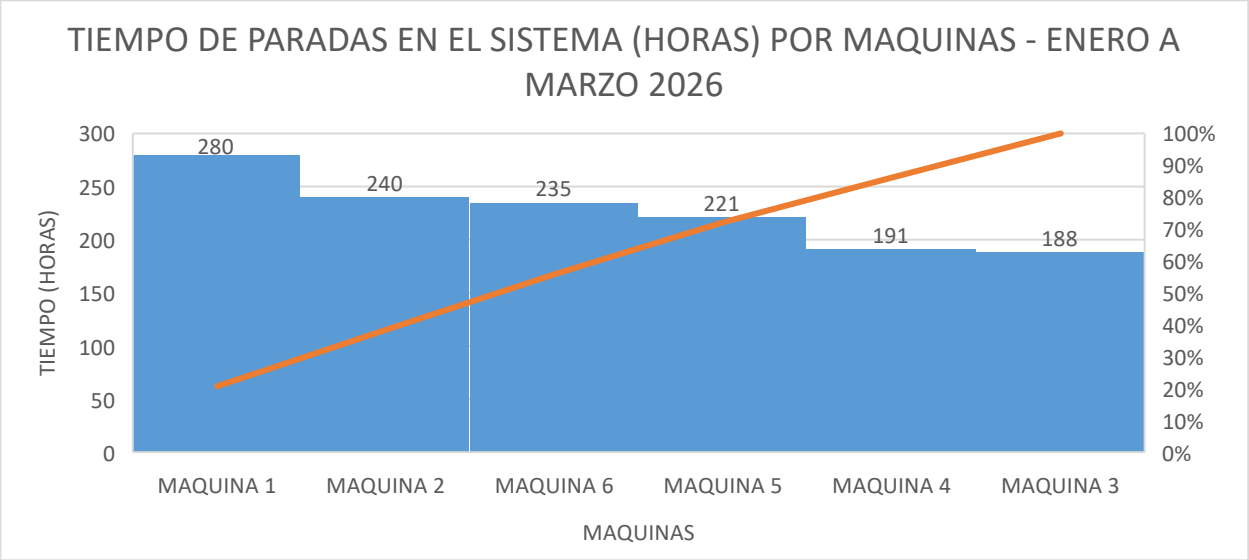
El sector manufacturero en Colombia constituye una de las bases fundamentales de la economía nacional y un pilar clave para la generación de empleo y el crecimiento industrial. Su impacto se refleja tanto en los aportes directos a la producción como en los efectos indirectos sobre múltiples actores de la cadena productiva, consolidándose como un soporte esencial para el desarrollo económico y social del país (Rodríguez, Chaves y Martínez, 2014). En este contexto, la industria del plástico desempeña un papel estratégico al proveer insumos fundamentales para diversos sectores, integrando procesos como la transformación de materias primas mediante tecnologías de inyección, lo cual configura un ecosistema industrial dinámico y altamente competitivo.

La planta de producción de plásticos de Industrias Haceb S.A., reconocida empresa colombiana del sector manufacturero cuenta con procesos especializados orientados a la transformación de polímeros mediante técnicas de inyección. Esta planta dispone de tecnología avanzada en moldes y maquinaria, así como de procesos estructurados que abarcan desde la preparación de la materia prima hasta la obtención del producto terminado, permitiendo ofrecer componentes plásticos con diferentes especificaciones y acabados para sus líneas de producción.

No obstante, el análisis de la base de datos comprendida entre los meses de enero y marzo de 2026, suministrada por la planta de producción de plásticos de Industrias Haceb S.A., compuesta por un total de 3.459 registros operativos, evidencia múltiples causas asociadas a la eficiencia operativa, específicamente relacionadas con la parada de máquinas y los tiempos improductivos.

Figura 1.

Pareto de tiempos improductivos por causa de paro periodo enero a marzo 2026.



Fuente: Elaboración propia, a partir de la base de datos enero y marzo de 2026.

En el diagrama de Pareto de grafica 1, se evidencian las 6 máquinas del proceso productivo, donde su mayor afectación operativa corresponden principalmente a la Máquina 1, con un total acumulado de 280 horas de parada, seguida por la Máquina 2 con 240 horas, la Máquina 6 con 235 horas y la Máquina 5 con 221 horas. Estas máquinas concentran la mayor proporción de tiempos improductivos dentro del sistema productivo de la planta de plásticos.

Así mismo, el porcentaje acumulado de afectación operacional reflejado en el diagrama muestra que aproximadamente el 80% del problema operativo se concentra en las primeras cuatro máquinas analizadas, siendo la Máquina 1 la de mayor incidencia. Esto evidencia que las causas críticas asociadas a las paradas del sistema no solo afectan un único equipo, sino que impactan de manera general la continuidad operativa de la planta, esto se traduce en que el tiempo de espera y paradas del sistema representan un nivel crítico de improductividad operacional.

Tabla 1.

Tiempos de producción y de paradas en el sistema de inyección periodo de enero a marzo 2026.

Mes	Tiempo Total Proceso Programado (Horas)	Tiempo Total Proceso Semielaborado (Horas)	Tiempo Total Espera por Novedad de Paro (Horas)
Enero	709	234	475
Febrero	671	205	466
Marzo	669	255	414

Fuente: Elaboración propia, a partir de la base de datos enero y marzo de 2026.

Si se considera que un mes de operación continua en tres turnos diarios de 8 horas equivale aproximadamente a 720 horas disponibles por máquina, se observa una elevada proporción de tiempo improductivo durante el periodo analizado. Que, de manera consolidada, durante el trimestre analizado, se acumularon aproximadamente:

- 2.049 horas de proceso programado.
- 694 horas de proceso semielaborado.
- 1.355 horas de espera por novedades de paro programado.

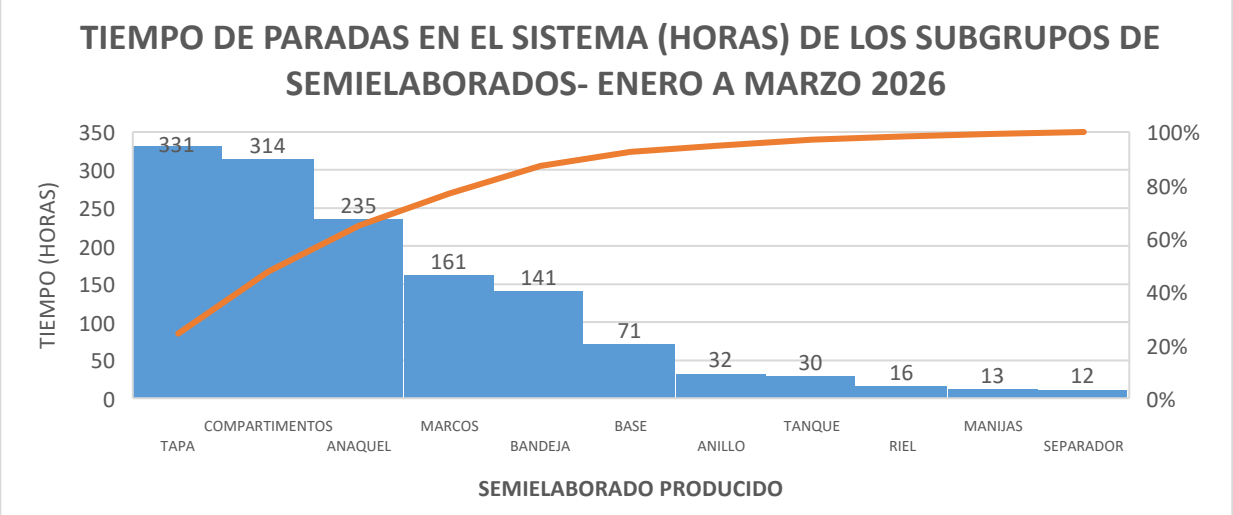
Así mismo, se concluye que el sistema productivo de la planta de plásticos presenta problemáticas relacionadas con:

- Altos tiempos de parada en las máquinas.
- Deficiencias en la continuidad operativa, asociadas a las novedades de parada registradas.
- Tiempos excesivos de espera por novedad reportada.
- Variabilidad en los tiempos de ejecución de Semielaborados.
- Bajo porcentaje de utilización de las máquinas %, a causa de las paradas del sistema.

La causa central se encuentra asociada principalmente a los elevados tiempos de paradas en el sistema, los cuales representan aproximadamente el 66,1% del tiempo total programado, afectando significativamente la eficiencia operativa y la productividad de la planta.

Figura 2.

Pareto de tiempos de paradas en el sistema de los subgrupos de semielaborados periodo enero a marzo 2026



El análisis de Pareto muestra que los tiempos asociados principalmente a los subgrupos de tapas, compartimentos, anaqueles y marcos constituyen una fuente crítica de improductividad dentro del sistema productivo, concentrando aproximadamente el 80% de los tiempos acumulados de parada. Estos resultados permiten identificar que gran parte de los tiempos improductivos se concentran en pocos subgrupos de producción, situación que evidencia una alta criticidad operacional en determinadas líneas o referencias productivas.

Lo anterior evidencia oportunidades significativas de mejora mediante la implementación de herramientas de Lean Six Sigma, proponiendo a través del ciclo DMAIC estrategias orientadas a la reducción de tiempos improductivos, la estandarización operativa y la optimización del flujo productivo.

1.2 Pregunta de Investigación

¿Cómo una propuesta de mejora basada en la metodología Lean Six Sigma puede contribuir a la reducción de los tiempos improductivos en la planta de producción de plásticos de Industrias Haceb S.A.?

2. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

Proponer un plan de mejora basado en la metodología Lean Six Sigma para la reducción de tiempos improductivos para el área de producción de plásticos de Industrias Haceb S.A

3.2. Objetivos Específicos

1. Identificar y cuantificar las principales causas de los tiempos improductivos, a través el uso de la herramienta Ishikawa, en el proceso de producción de la planta de plásticos, analizando los aspectos cualitativos, recolectando información operacional cuantitativa del desempeño actual del proceso y su incidencia en la productividad.
2. Determinar a través del ciclo DMAIC estrategias orientadas a la reducción de tiempos improductivos más significativos, con el fin de priorizar las oportunidades de mejora en la línea de producción.
3. Diseñar un plan de acción como propuesta de mejora, orientado a la reducción de tiempos improductivos, a partir de los resultados cuantitativos y cualitativos obtenidos, que permitan la mejora en la eficiencia del proceso.

2. JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto surge como respuesta a la necesidad de un plan de mejora basado en la metodología Lean Six Sigma, orientado a la reducción de los tiempos improductivos en el área de inyección de plásticos de la empresa Industrias Haceb S.A. Esta problemática ha venido afectando de manera significativa la eficiencia operativa del proceso, generando pérdidas asociadas a paradas no programadas, reprocesos y baja utilización de los recursos productivos.

Desde el punto de vista organizacional y logístico, el proyecto busca generar un impacto positivo mediante la aplicación estructurada de las fases de la metodología Lean Six Sigma, con el propósito de optimizar los tiempos de producción, reducir la variabilidad del proceso y minimizar las pérdidas asociadas a la improductividad.

Así mismo, desde el punto de vista metodológico, este estudio se proyecta como una propuesta a partir del ciclo DMAIC, donde la fase cuantitativa inicial identifica relaciones en los tiempos de paradas en el sistema asociados a los eventos o novedades reportadas y la fase cualitativa profundiza las causas detrás de los hallazgos cuantitativos, siguiendo los lineamientos de Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), que podrán ser replicable en otros procesos productivos de la organización, tales como las áreas de ensamble, empaque u otras plantas de producción, contribuyendo al fortalecimiento de una cultura de mejora continua y toma de decisiones basada en datos.

En el ámbito operativo, se espera que la propuesta contribuya de manera directa a la reducción de los tiempos improductivos en la línea de inyección, permitiendo un mayor aprovechamiento del porcentaje de disponibilidad de cada recurso, en particular de las maquinas que presentan los tiempos más altos en paradas del sistema y una recuperación significativa de horas efectivas de producción por máquina inyectora. Esto se traduce en una mejora en la

eficiencia del proceso, una mayor capacidad de respuesta frente a la demanda y una optimización en el uso de los recursos instalados.

Desde la perspectiva académica, el desarrollo de este proyecto representa la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos en el programa de Ingeniería Industrial, especialmente en áreas como gestión de operaciones, mejora continua y análisis de procesos en un entorno real, que permite abordar una problemática concreta, integrando en la práctica, competencias analíticas y técnicas orientadas a la solución de problemas en un contexto industrial.

Finalmente, este trabajo no solo aporta al mejoramiento del desempeño operativo de la empresa, sino que también contribuye a mi desarrollo profesional, al permitirme aplicar herramientas de ingeniería en un contexto real, generando valor agregado, tanto para la empresa como para el proceso de formación académica.

3. MARCO TEÓRICO

El presente marco teórico aborda el estudio de los tiempos improductivos en el proceso de inyección de plásticos, su relación con la productividad industrial en sistemas de manufactura y la conceptualización de la metodología Six Sigma y el ciclo DMAIC, como herramienta de mejora continua. Este análisis permite fundamentar teóricamente las alternativas para la mejora y eficiencia en procesos similares a los de la empresa Industrias Haceb S.A.

Productividad industrial en sistemas de manufactura

La productividad industrial se define como la capacidad de transformar insumos en productos con el menor consumo de recursos posible, garantizando eficiencia y competitividad en los procesos. Según García, Paredes y Bayona (2023), en la industria manufacturera la productividad constituye un factor estratégico para incrementar el rendimiento operacional y mejorar el aprovechamiento de los recursos disponibles, mediante la implementación de sistemas de mejora continua, orientados a la disminución de desperdicios y tiempos improductivos.

En este sentido, la productividad no solo depende de la capacidad de producción instalada, sino también del control eficiente de las variables operativas que afectan la continuidad del proceso. Si bien en Industrias Haceb S.A. se cuenta con una infraestructura industrial orientada a procesos de transformación plástica, la existencia de tiempos improductivos genera pérdidas que, al acumularse, afectan la capacidad instalada, el cumplimiento de la programación y la competitividad de la industria.

Tiempos improductivos en la producción industrial

Los tiempos improductivos se entienden como los periodos en los que los recursos productivos no generan valor agregado dentro del proceso. Autores como, Rodríguez, Chaves y Martínez (2014), señalan que, las principales causas de improductividad en plantas

manufactureras corresponden a los paros de maquinaria, reprocesos, fallas de materiales y deficiencias en la coordinación operativa.

Esta postura coincide con lo mencionado por Benito, Avila y Franco (2024), quienes señalan que la gestión de tiempos de preparación y control operacional mediante metodologías como DMAIC, resulta clave para minimizar pérdidas operativas y mejorar la continuidad de los procesos en sus distintas fases productivas, especialmente en entornos industriales donde existe alta variabilidad operacional.

De acuerdo con Espinoza Mayorga y Pelaez Perez (2025), la reducción de tiempos improductivos o tiempos de espera debe abordarse mediante la identificación de la causa raíz y la estandarización de procesos, debido a que las pérdidas asociadas a tiempos muertos afectan directamente la productividad y el desempeño operacional. Herramientas como los diagramas de Pareto, histogramas, del lado cuantitativo y el diagrama de Ishikawa, dentro de los factores cualitativos, permiten priorizar y visualizar los factores más incidentes en la improductividad.

En concordancia con lo anterior, Pérez y García (2019), afirman que el análisis cuantitativo de los datos mediante herramientas estadísticas facilita la toma de decisiones basadas en evidencia, permitiendo establecer acciones de mejora, orientadas a reducir defectos, disminuir variabilidad y optimizar líneas de producción.

Lean Six Sigma y el ciclo DMAIC

La metodología Lean Six Sigma se define como una estrategia de mejora orientada a proyectos, basada en datos y diseñada para reducir la variabilidad de los procesos. Según Rodríguez y Pérez (2020), este enfoque busca eliminar desperdicios, defectos y actividades que no agregan valor al proceso productivo, permitiendo estandarizar la calidad de los resultados y mejorar la eficiencia operacional.

Por otra parte, el autor González (2023), aduce que la aplicación del ciclo DMAIC en entornos industriales permitió disminuir tiempos improductivos y mejorar la calidad en componentes de manufactura, demostrando su eficacia para abordar problemas complejos relacionados con productividad y desempeño operacional. De esta manera, tanto la metodología Six Sigma, como la aplicación del ciclo DMAIC, se convierten en estrategias de gran beneficio para la disminución de tiempos improductivos y el mejoramiento de la calidad en procesos industriales.

En esta misma línea, Gupta, Mehta y Rao (2018), destacan que la implementación de Six Sigma en distintas industrias ha permitido mejorar la eficiencia operativa y reducir tiempos improductivos, generando ahorros significativos en costos derivados de desperdicios y pérdidas operacionales entre un 10 % y un 20 %. De manera complementaria, Hernández y Silva (2019), sostienen que el ciclo DMAIC permite incrementar la productividad gracias a la reducción de defectos, fallas y paradas de máquina, reflejando que incluso pequeñas mejoras en los procesos pueden generar impactos significativos en la competitividad organizacional.

El ciclo DMAIC

El ciclo DMAIC constituye el pilar operativo de Six Sigma y se estructura en cinco fases: *Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar.* Los autores, Rodríguez y Pérez (2020), lo describen como un proceso secuencial que permite identificar problemas de calidad, recolectar datos confiables, analizar causas raíz, diseñar soluciones y asegurar la sostenibilidad de las mejoras en el tiempo, así mismo, los autores Baro, Piña, Valdiviezo y Amaya (2024), mencionan que la aplicación de DMAIC representa un enfoque metodológico robusto para la mejora continua de procesos, debido a que su estructura sistemática permite reducir defectos, aumentar la calidad y optimizar el desempeño operacional.

Fases del ciclo DMAIC

- **Fase Definir**

En la primera fase, denominada Definir, se busca establecer con claridad las causas del problema central y determinar los objetivos del proyecto. Para ello, se utilizan herramientas como las 5W2H y el árbol causal, las cuales permiten delimitar el alcance del proceso y priorizar oportunidades de mejora. Según De la Cruz, González, Chávez y Ojinaga (2024), esta etapa tiene como propósito transformar las percepciones de la problemática en requerimientos medibles y alcanzables, enfocados en la reducción de defectos y tiempos improductivos.

- **Fase Medir**

En la fase Medir se analizan los datos relacionados con el desempeño actual del proceso, con el propósito de establecer una línea base cuantitativa. Para ello, se emplean indicadores como la tasa de defectos (DPMO), el nivel Sigma y métricas relacionadas con desperdicios y variabilidad. Los autores Gaibor, Smith y Rodríguez (2022), señalan que herramientas como histogramas, gráficas de control y registros operacionales permiten comprender objetivamente el comportamiento del proceso antes de implementar mejoras.

- **Fase Analizar**

La fase Analizar tiene como objetivo identificar las causas principales de las problemáticas detectadas, determinando cuáles factores generan mayor variabilidad dentro del proceso. Para ello, se utilizan técnicas estadísticas como el análisis de Pareto y los diagramas de causa-efecto de Ishikawa. Según Baro et al. (2024), el análisis profundo de los datos permite priorizar las causas críticas que afectan el rendimiento del sistema y orientar las acciones de mejora hacia estrategias enfocadas en la reducción de pérdidas operativas.

- **Fase Mejorar**

En la fase Mejorar se desarrollan soluciones orientadas a eliminar o mitigar las causas raíz identificadas, con el propósito de optimizar el desempeño del sistema productivo. En esta etapa se diseñan propuestas basadas en indicadores de utilidad, disponibilidad y disminución de tiempos improductivos. Molina De Hoyos (2022) menciona que herramientas como los planes de acción y técnicas de generación de alternativas, entre ellas Brainwriting 6-3-5, facilitan la formulación de estrategias innovadoras para la reducción de tiempos de espera y mejora de procesos industriales.

- **Fase Controlar**

Finalmente, la fase Controlar tiene como propósito garantizar la sostenibilidad de las mejoras alcanzadas mediante planes de seguimiento y monitoreo continuo. Según Méndez Sancán y López Iglesias (2025), esta fase permite verificar el cumplimiento de estándares operacionales y controlar la variabilidad residual posterior a la implementación de mejoras, asegurando la permanencia de los resultados obtenidos.

4. METODOLOGÍA

5.1. Diseño y tipo de la investigación

El diseño de la investigación es de tipo Explicativo Secuencial (DEXPLIS), el cual adopta un enfoque mixto, integrado por una primera fase cuantitativa orientada a identificar patrones y comportamientos operacionales, seguida de una fase cualitativa encargada de explicar las causas y condiciones que originan dichos resultados, ofreciendo una comprensión más profunda del fenómeno estudiado. Según Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), este diseño mixto permite recolectar inicialmente datos cuantitativos para posteriormente interpretar los hallazgos cualitativos, los cuales son utilizados para explicar, complementar o ampliar los resultados obtenidos durante la primera fase de análisis.

Para el caso del estudio realizado en la planta de producción de plásticos de Industrias Haceb S.A., la fase cuantitativa se centró en el análisis estadístico de los tiempos improductivos, tiempos de espera y paradas del sistema, mediante el uso de registros históricos operacionales comprendidos entre los meses de enero y marzo de 2026. Posteriormente, la fase cualitativa permitió interpretar las causas raíz relacionadas con las variaciones operacionales, fallas de coordinación, métodos de trabajo y comportamientos asociados al desempeño del proceso de inyección, apoyándose en herramientas de análisis causa-efecto y observación del proceso.

Tabla 2.

Diseño de la investigación mixto en la integración de fases cuantitativa y cualitativa

Fase	Recolección de datos	Tipo de análisis	Resultados esperados
Fase cuantitativa (primaria)	Registros históricos de producción, tiempos improductivos, tiempos de	Estadístico y descriptivo	Identificación de patrones, variabilidad operacional y causas con mayor

	paro y reportes operacionales		incidencia en tiempos improductivos
Fase cualitativa (secundaria)	Observación del proceso, interpretación operacional y análisis de causas	Descriptivo e interpretativo	Análisis de causas raíz y comprensión de factores operacionales asociados a la improductividad
Integración final	Relación entre hallazgos cuantitativos y cualitativos	Integración analítica	Propuesta de mejora basada en Lean Six Sigma y ciclo DMAIC

Fuente: Elaboración propia.

5.2. Etapas del proyecto alineadas con los objetivos específicos de la investigación

A continuación, se detallan las etapas del proyecto alineadas con los objetivos específicos de la investigación:

- **Etapa I - Análisis de las causas asociadas a los tiempos improductivos**

Para la primera etapa del proyecto se busca definir las principales causas asociadas a los tiempos no productivos presentes en la operación de la planta de inyección plásticos, realizando un acercamiento a la empresa y sus procesos operativos, así como a la revisión de la literatura, conociendo los factores que evidencian las deficiencias relacionadas con los procesos.

- **Etapa II -Análisis de las fases DMAIC**

Durante la segunda etapa del proyecto se analizaron las cinco fases DMAIC alineadas con los objetivos de la investigación, iniciando con la fase Definir, en la cual se realizó el diagnóstico de las causas raíz que generan ineficiencias en la ejecución de las actividades operativas, identificando oportunidades de mejora dentro del proceso de inyección de plásticos. Posteriormente, se desarrolló la fase Medir, en la que se recolectó y analizó la información operacional cuantitativa relacionada con tiempos de parada, disponibilidad de máquinas,

novedades operacionales y cumplimiento de la producción, estableciendo la línea base del desempeño actual del sistema productivo.

A continuación, se presentan las fases DMAIC alineadas con los objetivos específicos de la investigación y herramientas que se utilizaron para su desarrollo:

Tabla 3.

Fases DMAIC alineadas con los objetivos específicos de la investigación.

Fase DMAIC	Objetivos específicos	Descripción de las actividades	Herramientas
Definir	**Objetivo 1 -** Identificar y analizar las principales causas de los tiempos improductivos en el proceso de producción de la planta de plásticos periodo Enero a marzo 2026.	Busca diagnosticar y analizar las causas que llevan a la problemática, en el proceso de inyección de la planta de plásticos, estableciendo las variables o aspectos cualitativos relacionados con el desempeño actual del proceso y su incidencia en la productividad.	Diagrama de Ishikawa (análisis causa-raíz) y Árbol Causal
Medir	**Objetivo 1 –** Cuantificar la información operacional cuantitativa del desempeño actual del proceso y su incidencia en la productividad.	Recolecta y analiza la información operacional correspondiente a tiempos de paro, tiempos de espera y desempeño del proceso de inyección, estableciendo una línea base cuantitativa del comportamiento actual del sistema productivo.	Diagrama Pareto, Histograma tiempos de paradas, porcentaje de disponibilidad faltante por máquina y unidades programadas.

Analizar	**Objetivo 1 –** Analizar la causa raíz de los factores cualitativos, así como la información operacional cuantitativa.	Realizar un análisis detallado de la información recopilada durante la fase de definición y medición, con los hallazgos críticos que generan mayor afectación operacional.	Análisis descriptivo de la metodología 5W y 2H
Mejorar	**Objetivo 2 –** Determinar estrategias orientadas a la reducción de tiempos improductivos y priorizar oportunidades de mejora.	Busca el diseño de propuestas de mejora orientadas a disminuir tiempos de espera, reducir variabilidad y optimizar la continuidad operacional del proceso de inyección.	Técnica Brainwriting (lluvia de ideas) y el Plan de acción Lean Six Sigma.
Controlar	**Objetivo 3 –** Diseñar un plan de acción orientado seguimiento y control de las mejoras implementadas.	Establecer mecanismos de seguimiento y control de las mejoras propuestas, garantizando la sostenibilidad de los resultados y la disminución de tiempos improductivos en el proceso.	Plan de control, indicadores de seguimiento

Fuente: Elaboración propia.

- **Etapa III - Análisis para el plan de acción**

En la tercera etapa del proyecto se consolidaron las acciones dirigidas a garantizar la sostenibilidad de las mejoras propuestas mediante la implementación de estrategias de seguimiento, control y mejora continua. De esta manera, se estructuró un plan de acción Lean Six Sigma que integra actividades específicas, responsables, tiempos de ejecución e indicadores de seguimiento, con el fin de asegurar la permanencia de los resultados en el largo plazo y fortalecer la competitividad operativa de la planta de plásticos de Industrias Haceb S.A.

5.3. Tamaño de la muestra

En el estudio, el tamaño muestral se define de manera independiente para cada fase, considerando los siguientes criterios metodológicos propios de cada enfoque:

Tabla 4.

Tamaño de la muestra

Componente de la fase	Tamaño de muestra	Método de selección	Justificación
Etapa cuantitativa de los datos	3.459 registros operacionales	Muestreo no probabilístico por conveniencia	Se utilizaron los registros históricos suministrados por la empresa correspondientes al periodo enero a marzo de 2026
Etapa cualitativa de los datos	Procesos, operarios y causas críticas identificadas	Selección intencional	Se priorizaron los procesos y causas con mayor incidencia en tiempos improductivos según el análisis Pareto

Fuente: Elaboración propia.

5.4.Validación de las fases

Para desarrollar la validación de cada fase de la investigación, se establecieron criterios metodológicos orientados a garantizar la confiabilidad, consistencia y pertinencia de la información recolectada durante el desarrollo del estudio.

Tabla 5.

Validación por fases

Tipo de validación	Estrategia aplicada	Descripción

Validez de contenido	Revisión documental y análisis de instrumentos objetivos	Validación de registros históricos, indicadores y variables utilizadas en el análisis cuantitativo
Credibilidad	Triangulación de información	Comparación entre resultados estadísticos y observación operacional
Transferibilidad	Contextualización del proceso productivo	Relación de hallazgos con entornos industriales similares
Dependencia	Estructuración metodológica DMAIC	Seguimiento sistemático del proceso investigativo
Conformabilidad	Sustento en datos históricos y análisis estadístico	Reducción de sesgos mediante interpretación basada en evidencia

Fuente: Elaboración propia.

En la fase cuantitativa, la validación se fundamentó en la revisión y análisis de los registros operacionales suministrados por Industrias Haceb S.A., verificando la coherencia de los datos y la aplicabilidad de las herramientas estadísticas utilizadas. Por otra parte, en la fase cualitativa se aplicaron criterios de rigor investigativo como la credibilidad, transferibilidad, dependencia y Conformabilidad, permitiendo fortalecer la interpretación de las causas asociadas a los tiempos improductivos y asegurar la validez de los hallazgos obtenidos a partir del análisis operacional y metodológico del proceso de inyección de plásticos.

5.5. Alcance de la investigación

El alcance de la investigación es de tipo explicativo para la fase cuantitativa y exploratorio para la fase cualitativa. Según Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), los estudios explicativos buscan identificar las causas y relaciones existentes entre variables, permitiendo comprender los factores que originan una problemática determinada a partir del análisis estadístico y la interpretación de datos. En este sentido, la fase cuantitativa de la investigación se

orienta a explicar el comportamiento de los tiempos improductivos y su incidencia en el desempeño operacional del proceso de inyección de plásticos.

Por otra parte, el alcance exploratorio de la fase cualitativa permite profundizar en la comprensión de las causas operacionales y contextuales asociadas a las paradas del sistema productivo. De acuerdo con Flores-Kanter (2019), los estudios cualitativos exploratorios facilitan la interpretación de fenómenos complejos mediante la identificación de categorías, patrones y factores causales que complementan el análisis estadístico. Asimismo, Faneite (2023) señala que en las investigaciones mixtas la integración de técnicas cuantitativas y cualitativas fortalece la comprensión integral de los problemas organizacionales y productivos.

Es importante aclarar que el estudio no contempla la implementación práctica de las fases Mejorar y Controlar del ciclo DMAIC, dado que el propósito principal consiste en diseñar un plan de acción basado en la metodología Lean Six Sigma, sustentado en el análisis de las causas principales que generan tiempos improductivos en el proceso de producción de la planta de plásticos de Industrias Haceb S.A. No obstante, las propuestas formuladas constituyen una base metodológica para futuras aplicaciones orientadas al fortalecimiento de la productividad y la mejora continua dentro de la organización.

5.6. Técnica de recolección e instrumentos de la información

La técnica empleada para la recolección de información se basó en la revisión sistemática de registros históricos operacionales, cálculos estadísticos y análisis de Pareto, desarrollados bajo un proceso de fundamentación relacionado con el control de procesos y la gestión de calidad.

Se utilizaron como base los registros históricos suministrados por Industrias Haceb S.A., incluyendo datos de producción, tiempos improductivos y novedades operacionales, complementados con información estadística interna. Asimismo, se consultaron artículos

científicos, tesis de grado y reportes institucionales provenientes de bases de datos académicas, garantizando la confiabilidad, actualidad y pertinencia de la información recopilada como sustento teórico y metodológico de la investigación.

5. RESULTADOS

6.1. Etapa I - Análisis de las causas asociadas a los tiempos improductivos

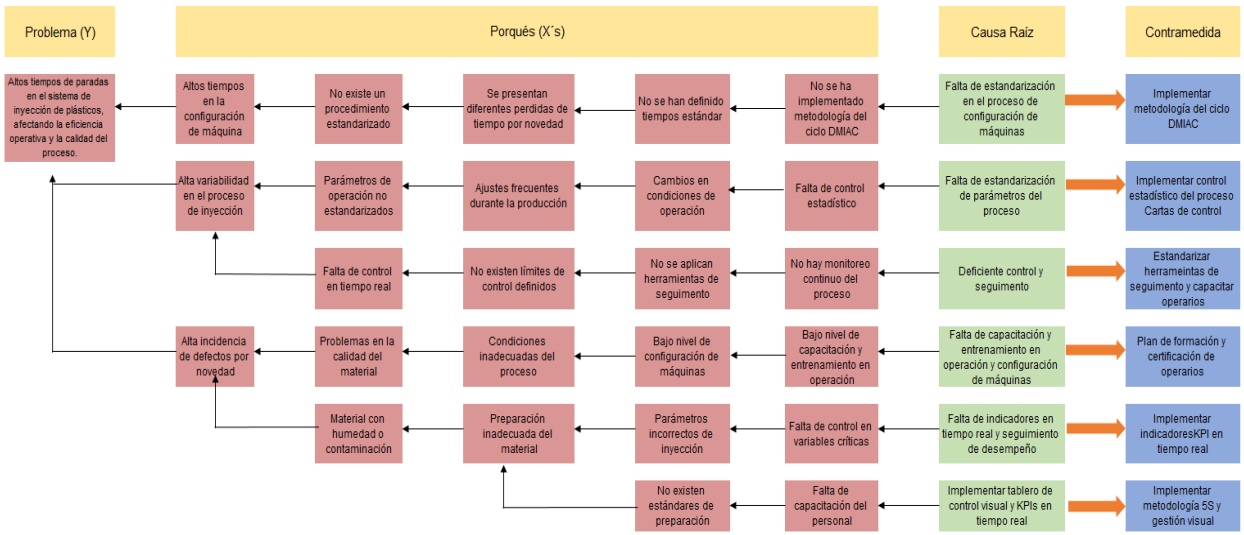
Para la primera etapa del proyecto se definieron las principales causas asociadas a los tiempos improductivos presentes en el proceso de producción de la planta de plásticos de Industrias Haceb S.A., realizando un acercamiento a la empresa y sus procesos operativos, así como una revisión de la literatura relacionada con la metodología Lean Six Sigma y el ciclo DMAIC, permitiendo conocer los factores que evidencian las deficiencias relacionadas con la disponibilidad de las máquinas, la variabilidad del proceso, la falta de estandarización de los métodos de trabajo, las fallas operacionales y el control insuficiente de las variables críticas del proceso.

Inicialmente, se aplicó el diagrama de Ishikawa, mediante el cual se identificaron las principales causas críticas que generan afectación operacional en el proceso de inyección de plásticos. El análisis permitió establecer que la problemática central se encuentra asociada a los altos tiempos de espera y paradas operacionales, los cuales afectan directamente la eficiencia y continuidad del sistema productivo. Las causas identificadas se clasificaron en seis dimensiones: mano de obra, método, máquina, material, medición y medio ambiente.

Para reafirmar el análisis de los factores que conllevan a la principal causa problemática de las paradas y variaciones en el sistema de inyección, se realizó un análisis utilizando la herramienta del Árbol Causal, el cual busca identificar de manera secuencial la raíz de las desviaciones operativas, vinculando los problemas detectados con sus causas específicas y formulando sus respectivas contramedidas de mitigación, como se muestra en la figura 4.

Figura 4.

Árbol Causal



Fuente: Elaboración propia.

Como análisis del árbol causal, se identificaron tres rutas críticas de falla con sus correspondientes causas raíz y planes de acción:

- **Altos tiempos en la configuración de máquina:** Originados por la ausencia de un procedimiento estandarizado y la falta de metodologías de mejora continua, cuya causa raíz es la falta de estandarización en el proceso de configuración, planteando como contramedida la implementación del ciclo DMAIC.
- **Alta variabilidad en el proceso de inyección:** Impulsada por ajustes frecuentes y parámetros no estandarizados debido a un deficiente control y seguimiento, lo que exige la estandarización de parámetros.
- **Alta incidencia de defectos por novedad:** Derivada de deficiencias en la calidad y preparación del material, como causas raíz la falta de capacitación técnica y la ausencia de tableros de control visual, lo que se intervendrá mediante un plan de formación de operarios y la aplicación de la metodología 5S integrada al proceso de fallas frecuentes.

Como resultado de la primera etapa se identificó que los tiempos improductivos presentes en la planta de plásticos de Industrias Haceb S.A. obedecen a la interacción de múltiples factores asociados principalmente a la falta de estandarización de los procesos, deficiencias en la gestión operacional, fallas recurrentes en los equipos, variabilidad en los materiales y ausencia de mecanismos efectivos de control y seguimiento. Estos hallazgos permitieron establecer una base diagnóstica para el desarrollo de las siguientes etapas del proyecto en particular las del ciclo DMAIC.

6.2. Etapa II - Análisis de las fases DMAIC

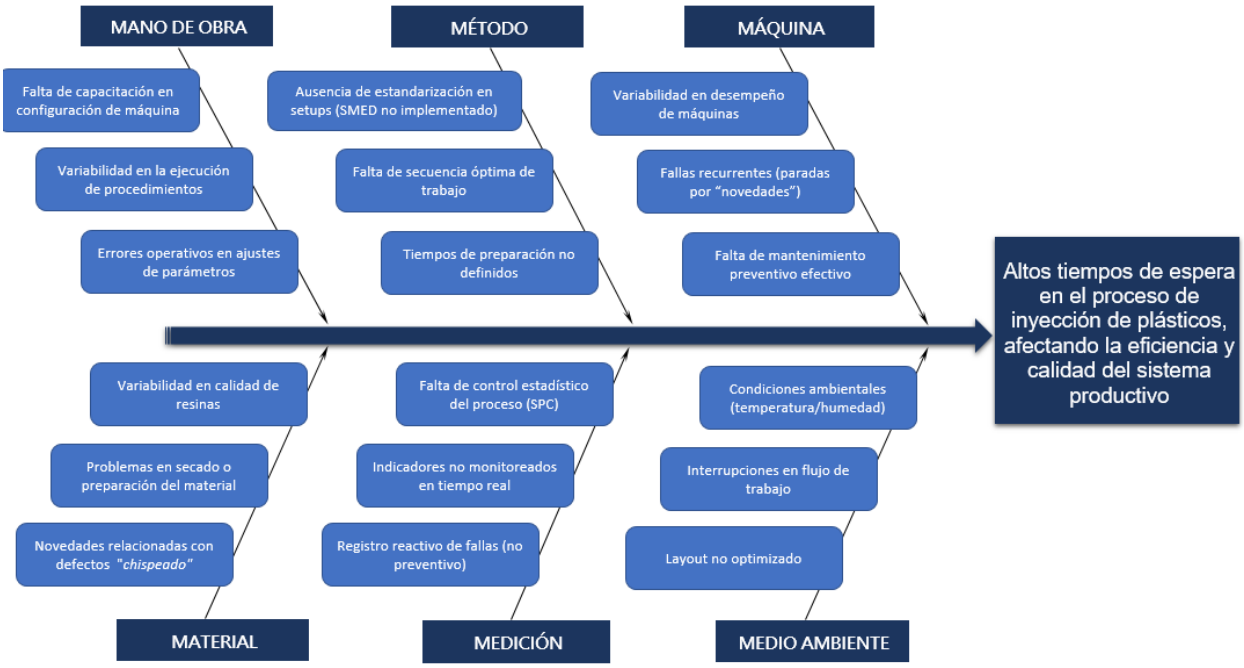
Se analizaron las cinco fases DMAIC alineadas con los objetivos de la investigación, para ello se relacionan los siguientes hallazgos de cada fase, como se muestra a continuación:

6.2.1. Hallazgos para la Fase 1 – Definir

Se realizó el diagrama de Ishikawa (análisis causa-raíz), con el cual se busca identificar las principales causas críticas que generan mayor afectación operacional en el proceso de producción de la planta de plásticos periodo Enero a marzo 2026.

Figura 3.

Diagrama de Ishikawa de las principales causas críticas en el proceso de producción de la planta de plásticos.



Fuente: Elaboración propia.

Se identificó que la causa central está relacionada con los *altos tiempos de espera en el proceso de inyección de plásticos*, lo cual afecta directamente la eficiencia y la calidad del sistema productivo. De esta problemática principal se despliegan subcausas críticas clasificadas en seis dimensiones operativas:

- ***Mano de obra*:** Esta dimensión causal destaca la falta de capacitación en la configuración de maquinaria y los errores operativos en el ajuste de parámetros.
- ***Método*:** En esta dimensión causal, se evidencia la ausencia de estandarización del proceso.
- ***Máquina*:** Esta dimensión causal presenta variabilidad en el desempeño mecánico y fallas recurrentes (paradas por novedades).
- ***Material*:** Esta dimensión presenta variabilidad en la calidad de las resinas y problemas en el secado.

- ***Medición*:** En esta dimensión sobresale la falta de control de fallas.
- ***Medio ambiente*:** En esta dimensión causal influyen las condiciones ambientales no controladas.

6.2.2. Hallazgos para la Fase 2 – Medir

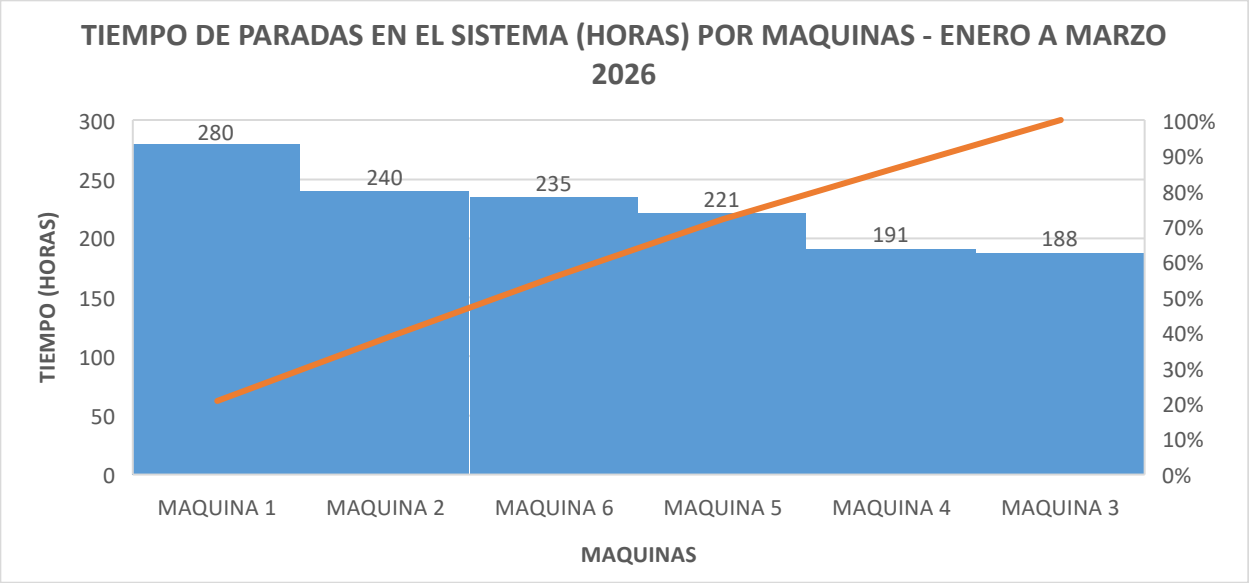
En el desarrollo de la fase Definir del ciclo DMAIC, la cual busca cuantificar la información operacional del desempeño actual del proceso y su incidencia en la productividad. Para ello, se realizó el análisis de la herramienta Pareto, relacionando las máquinas con mayor afectación operativa, así como las principales causas asociadas a los tiempos improductivos en el proceso de producción de la planta de plásticos de Industrias Haceb S.A.

Análisis Pareto de los tiempos de paradas en el sistema por maquina

A continuación, se realiza el análisis de los tiempos de paradas registrados en el sistema para cada una de las máquinas que conforman el proceso de producción de plásticos, con ello se busca identificar, mediante la herramienta de Pareto, cuáles son los equipos que generan la mayor proporción de tiempos improductivos y, por consiguiente, determinar aquellos recursos que requieren una atención.

Figura 5.

Análisis de los tiempos de paradas en el sistema con el diagrama Pareto por máquina



Fuente: Elaboración propia.

El diagrama de Pareto evidencia que las máquinas con mayor afectación operativa corresponden principalmente a la Máquina 1, con aproximadamente 280 horas acumuladas de parada, seguida de la Máquina 2 con 240 horas y la Máquina 6 con 235 horas. Asimismo, la Máquina 5 registra 221 horas de improductividad, consolidándose junto con las demás como los equipos con mayor incidencia dentro del sistema productivo.

El porcentaje acumulado reflejado en el análisis permite identificar que cerca del 80 % de los tiempos improductivos se concentran principalmente en las primeras cuatro máquinas evaluadas, evidenciando que la problemática operacional se encuentra asociada a elevados tiempos de paro, variabilidad en el proceso y afectaciones relacionadas con la continuidad operacional del sistema.

A partir del análisis estadístico y gráfico de la información suministrada por la organización, se logró establecer una línea base inicial del comportamiento operativo del sistema productivo, permitiendo identificar los procesos, máquinas y subgrupos de producción con mayor incidencia en la improductividad operacional.

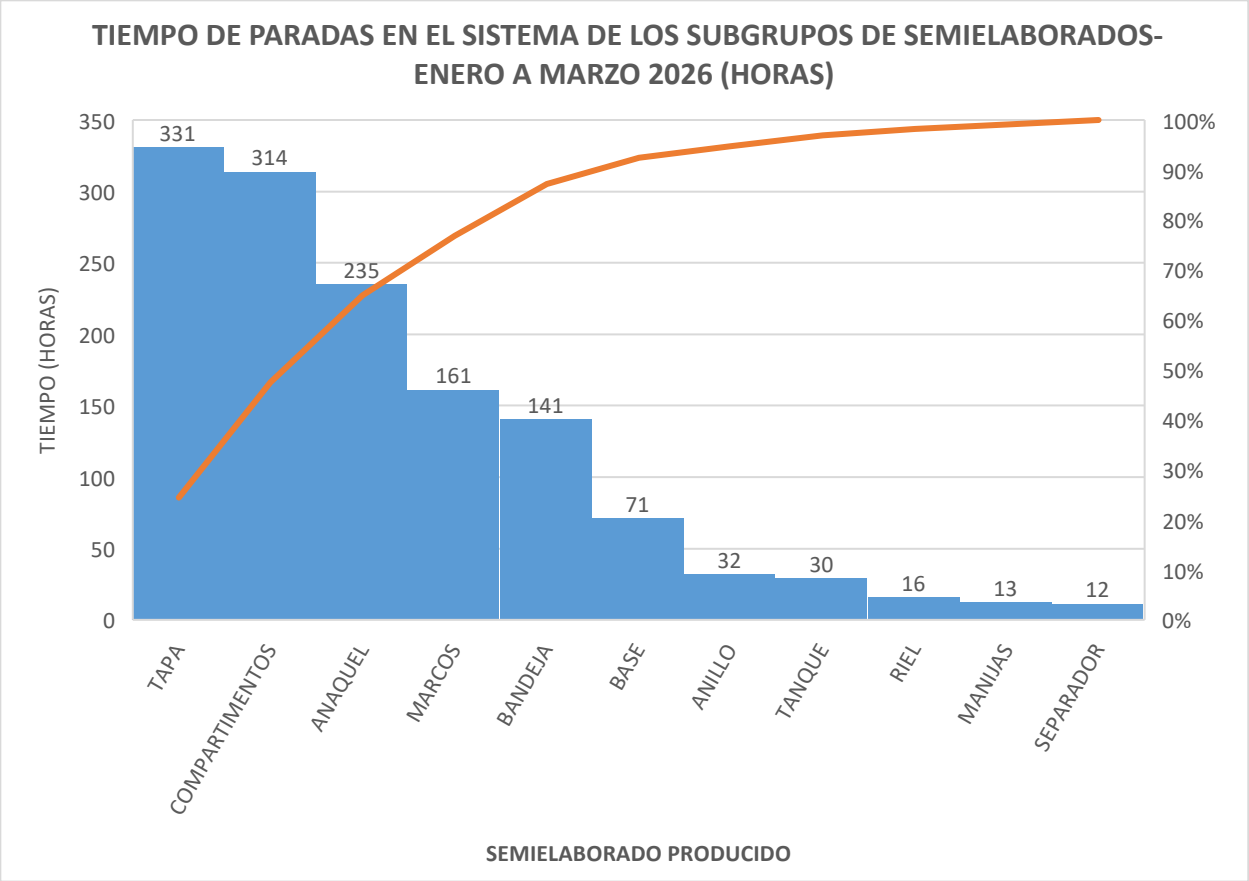
Estos resultados muestran oportunidades de mejora relacionadas con el fortalecimiento del mantenimiento, la optimización de los tiempos de operación y la reducción de causas asociadas a esperas y novedades operacionales, permitiendo orientar estrategias basadas en Lean Six Sigma para disminuir pérdidas operacionales y mejorar la eficiencia productiva.

Análisis Pareto de los tiempos de paradas en el sistema por Semielaborado

Se realiza el análisis de los tiempos de paradas en el sistema asociados a los diferentes subgrupos de semielaborados producidos en la planta, donde se busca identificar, mediante la herramienta de Pareto, cuáles son las familias de productos que concentran la mayor cantidad de tiempo improductivo, permitiendo establecer prioridades de intervención y enfocar los esfuerzos de mejora en aquellas líneas de producción con mayor impacto sobre el desempeño operativo.

Figura 6.

Análisis de los tiempos de paradas en el sistema de los subgrupos de semielaborados



Fuente: Elaboración propia.

El diagrama de Pareto por semielaborada evidencia que los mayores tiempos de parada en el sistema se concentran principalmente en la "*producción de tapas"*, las cuales acumulan aproximadamente 331 horas improductivas, seguidas por compartimentos con 314 horas y anaqueles con 235 horas. Del mismo modo, los marcos y bandejas también presentan una participación significativa dentro de los tiempos acumulados de paro.

Como análisis acumulado, se identificó que aproximadamente el 80 % de los tiempos improductivos se concentran en un número reducido de subgrupos de semielaborados, evidenciando que determinadas líneas de producción presentan mayor criticidad operacional y generan afectaciones significativas sobre el desempeño global del sistema productivo.

Estos hallazgos reflejan una oportunidad de mejora relacionada con la programación de producción, estandarización de operaciones, ajustes de máquina y control de variables del

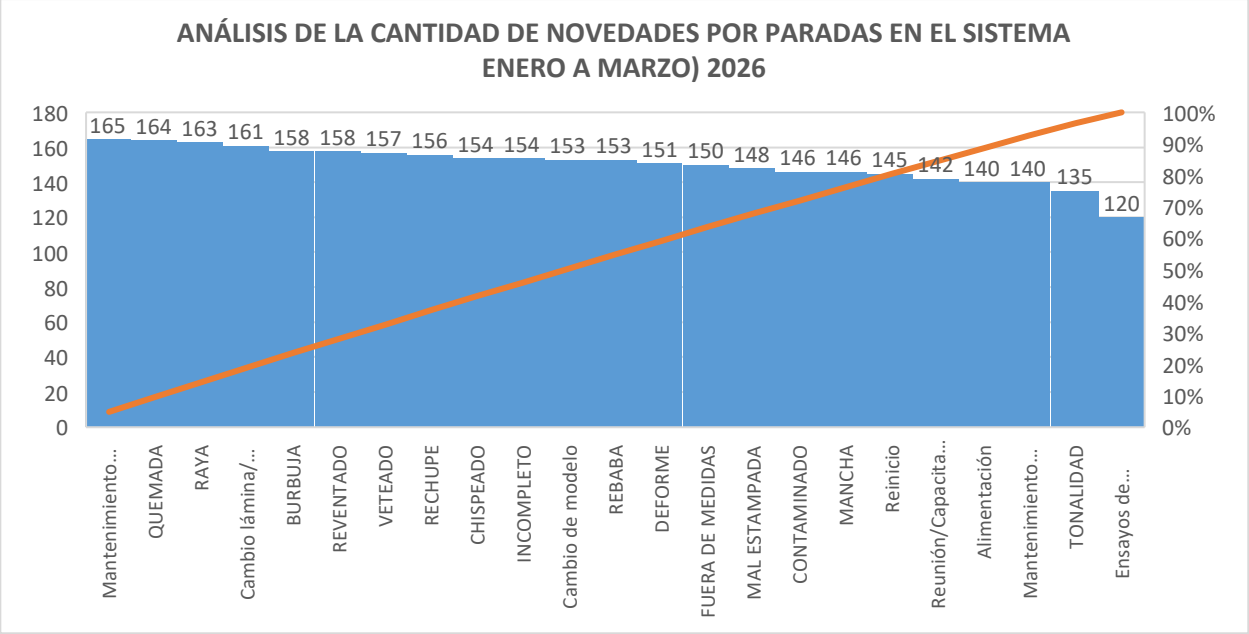
proceso de inyección, permitiendo establecer estrategias orientadas a la disminución de tiempos improductivos y fortalecimiento de la continuidad operacional mediante herramientas de mejora continua y análisis causa-raíz.

Análisis de la cantidad de novedades por paradas en el sistema

A continuación, se presenta un análisis de la cantidad de novedades registradas por paradas en el sistema durante el periodo de estudio, de allí, identificar, cuáles son las causas más frecuentes que generan interrupciones en el proceso productivo.

Figura 7.

Análisis de la cantidad de novedades por paradas en el sistema



Fuente: Elaboración propia.

El diagrama de Pareto evidencia que las principales novedades asociadas a las paradas en el sistema durante el periodo comprendido entre enero y marzo de 2026 se concentran principalmente en actividades relacionadas con mantenimiento preventivo, quemadas, rebabas, cambios de línea o herramientas y defectos de burbuja. Entre las causas con mayor frecuencia se encuentran el mantenimiento preventivo con 165 registros, seguido de quemadas con 164 y

rebaba con 153 novedades reportadas. Estos resultados reflejan que gran parte de las interrupciones del proceso productivo se encuentran asociadas tanto a condiciones operacionales de la maquinaria como a defectos en el proceso de inyección de plásticos, generando afectaciones directas sobre la continuidad y eficiencia operacional.

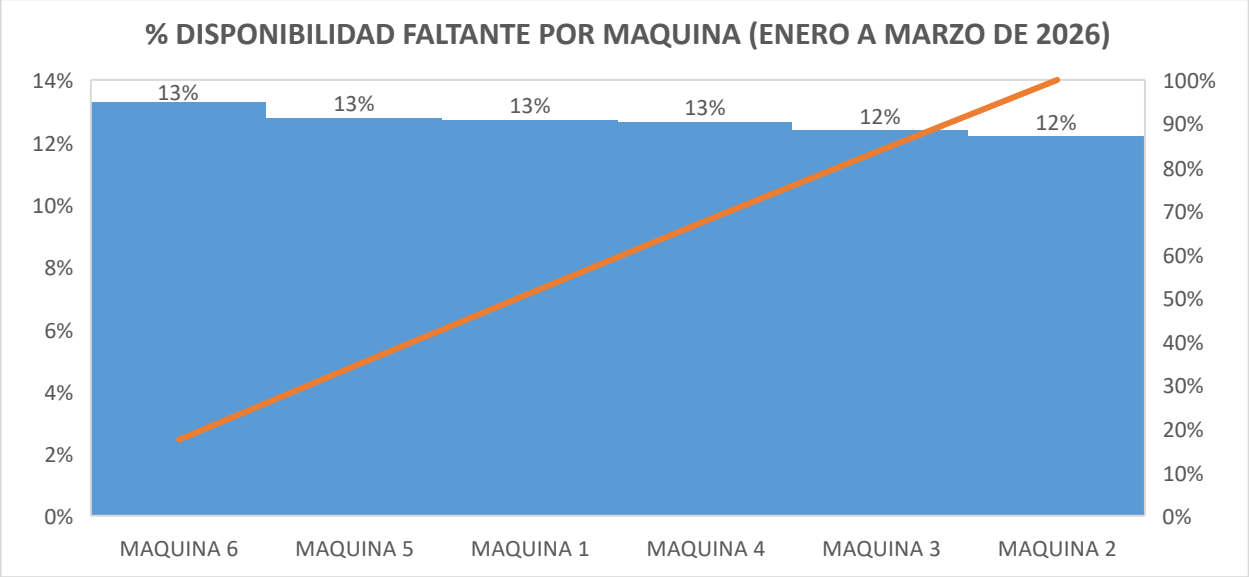
El porcentaje acumulado mostrado en el análisis de pareto permite identificar que aproximadamente el 80 % de las novedades reportadas se concentran en un grupo reducido de causas críticas, entre ellas; *mantenimiento preventivo, defectos de calidad, ajustes operacionales y actividades relacionadas con alimentación y producción.* Lo anterior evidencia oportunidades de mejora enfocadas en la estandarización de procesos, fortalecimiento del mantenimiento preventivo, control de parámetros de inyección y reducción de variabilidad operacional mediante la aplicación de herramientas de Lean Six Sigma y el ciclo DMAIC, orientadas a disminuir las paradas del sistema y mejorar el desempeño productivo de la planta de plásticos de Industrias Haceb S.A.

Análisis del porcentaje de disponibilidad faltante por maquina

Se realiza el análisis, mediante la herramienta de Pareto, en relación con los equipos que presentan mayores pérdidas de disponibilidad operacional y determinar el impacto que estas tienen sobre el cumplimiento de la producción programada y la eficiencia global del sistema productivo.

Figura 8.

Análisis del porcentaje de disponibilidad faltante por maquina



El diagrama de Pareto evidencia que las máquinas presentan niveles similares de disponibilidad faltante durante el periodo comprendido entre enero y marzo de 2026, destacándose principalmente la Máquina 6 con un 13 % de disponibilidad faltante, seguida por las Máquinas 5, 1 y 4, las cuales también registran valores cercanos al 13 %. Por su parte, las Máquinas 3 y 2 presentan una afectación ligeramente menor, con aproximadamente un 12 % de disponibilidad faltante. Estos resultados muestran que la problemática de improductividad no se concentra únicamente en un equipo específico, sino que existe una afectación generalizada en la operación del sistema productivo.

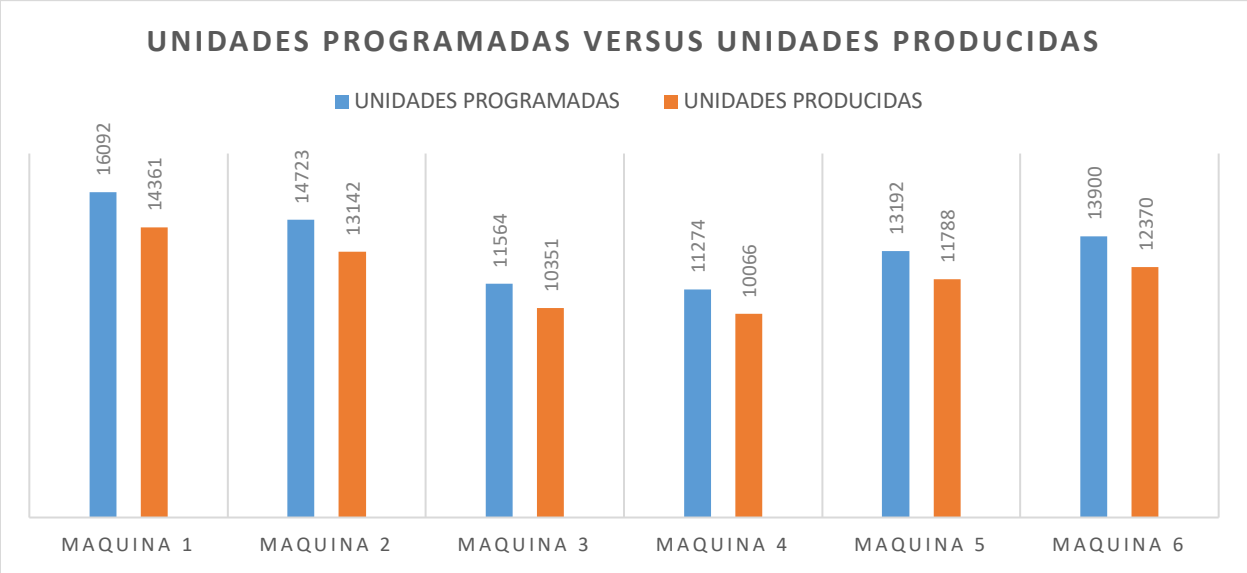
Así mismo, se identificó que la disponibilidad faltante se distribuye de manera homogénea entre las diferentes máquinas, evidenciando posibles deficiencias relacionadas con la *gestión operacional, tiempos de paro, mantenimiento, cambios de referencia y variabilidad en el proceso de inyección*. Resaltando la necesidad de implementar estrategias de mejora orientadas al fortalecimiento de la disponibilidad operativa, mediante herramientas de Lean Six Sigma y el ciclo DMAIC.

Unidades programadas versus unidades producidas por maquina

Se realiza un análisis de los equipos que presentan las mayores brechas de cumplimiento productivo, permitiendo determinar el impacto de los tiempos improductivos sobre el desempeño de la operación y establecer oportunidades de mejora orientadas al incremento de la productividad y el cumplimiento de los planes de producción.

Figura 9.

Unidades programadas versus unidades producidas por maquina



El análisis de las unidades programadas frente a las unidades producidas evidencia una afectación generalizada en el cumplimiento de la producción dentro de la planta de plásticos de Industrias Haceb S.A. La Máquina 1 presentó la mayor cantidad de unidades faltantes, registrando una diferencia de 1.731 unidades entre lo programado y lo producido, seguida por la Máquina 2 con 1.581 unidades faltantes y la Máquina 6 con 1.530 unidades. Asimismo, las Máquinas 5, 3 y 4 también reflejan incumplimientos importantes en la producción, con diferencias superiores a 1.200 unidades cada una.

Estos resultados evidencian que los tiempos improductivos y las paradas del sistema tienen una incidencia directa sobre la capacidad de cumplimiento de la producción programada, afectando el rendimiento operacional y el aprovechamiento de la capacidad instalada. La tendencia observada muestra que las máquinas con mayores tiempos de parada coinciden con aquellas que presentan mayores cantidades de unidades faltantes, lo que confirma la relación existente entre disponibilidad operacional y desempeño productivo. De manera consolidada, el sistema presentó un total de:

- 80.745 unidades programadas.
- 72.078 unidades producidas.
- 8.667 unidades faltantes.

Lo anterior representa un porcentaje de incumplimiento aproximado de cerca del 10,7 % de la producción programada no logró completarse durante el periodo analizado, situación que impacta directamente la eficiencia operativa, los niveles de productividad y el cumplimiento de la demanda productiva.

En términos generales, los resultados obtenidos durante la fase Definir permitieron identificar que la principal problemática del sistema productivo de la planta de plásticos de Industrias Haceb S.A. se encuentra asociada a los *elevados tiempos improductivos generados por paradas operacionales*, *variabilidad en el proceso y baja disponibilidad de las máquinas*. Estas condiciones afectan directamente el cumplimiento de la producción programada, incrementando las unidades faltantes y reduciendo la eficiencia operacional del sistema.

El análisis mediante diagramas de Pareto permitió priorizar las máquinas, semielaborados y novedades con mayor incidencia en la improductividad, estableciendo una base cuantitativa y descriptiva fundamental para el desarrollo de las siguientes fases del ciclo DMAIC.

6.2.3. Hallazgos de realizar la Fase 3 – Analizar

Para esta fase se realizó un análisis detallado de la información recopilada durante las fases de definición y medición, con los hallazgos críticos que generan mayor afectación operacional, utilizando la metodología de las 5W o 5 porque, adicionalmente se complementó con las 2 H. Esta herramienta metodológica permite delimitar *el, que, quien, por qué, en dónde y cómo y cuál* es el alcance del problema, facilitando la identificación de las causas subyacentes que están llevando a la ineficiencia actual del sistema productivo.

Tabla 6.

Matriz de las 5W y 2H

Elemento	Descripción
What - ¿Qué / Cuál es el problema específico que afecta el desempeño de la producción en Planta de Plásticos?	El proceso de inyección para los semielaborados de piezas plásticas presenta altos tiempos de espera y paradas operativas, especialmente en la producción de tapas, compartimentos, anaqueles y marcos, afectando la eficiencia del proceso productivo y el cumplimiento de la programación establecida.
Who - ¿Quién es el cliente interno o externo más afectado por el problema?	El cliente más afectado es la línea de ensamble (cliente interno), debido a retrasos en el suministro de piezas plásticas. Asimismo, la gerencia de operaciones se ve impactada por la disminución de la productividad y el cliente final por posibles incumplimientos en los tiempos de entrega y niveles de servicio.
Why - ¿Cuál es el métrico del negocio asociado con el problema?	El métrico del negocio asociado con el problema son; *Tiempo promedio de espera o parada por máquina (horas), desviación estándar de los tiempos de parada por subgrupo de semielaborado, porcentaje de disponibilidad de las máquinas, porcentaje de utilización y unidades faltantes frente a la producción programada*.

When - ¿Cuándo fue observado por primera vez el problema?	El problema fue identificado a partir del análisis de los registros operativos correspondientes al periodo comprendido entre enero y marzo de 2026, observándose una recurrencia constante de tiempos improductivos y paradas operacionales durante los tres meses analizados.
How Much? ¿Cuál es la magnitud del problema en términos de tu métrico seleccionado?	La magnitud del problema se evidencia en un total de 1.355 horas de espera por novedad de paro programado durante el trimestre analizado, representando aproximadamente el 66,1 % del tiempo total programado. Adicionalmente, se registraron 8.667 unidades faltantes respecto a la producción programada, equivalentes a un incumplimiento cercano al 10,7 %.
How ¿Cómo sabes que es un problema? ¿Qué objetivos no se están cumpliendo?	Se identifica como problema porque los tiempos de paro afectan directamente la disponibilidad de las máquinas, la productividad del proceso y el cumplimiento de las metas de producción. No se están cumpliendo objetivos relacionados con eficiencia operativa, utilización de la capacidad instalada, continuidad operacional y cumplimiento de la programación de producción.

Fuente: Elaboración propia.

Como resultado de análisis, integrando las fases de definición y medición, se identificó que las causas críticas que generan mayor afectación operacional se encuentran asociadas principalmente a los elevados tiempos de parada en las máquinas de inyección, las actividades de mantenimiento preventivo, defectos de calidad como quemadas, rebabas y burbujas, así como a los procesos relacionados con cambios de línea y ajustes operacionales. Estas causas impactan directamente la disponibilidad de los equipos, incrementan la variabilidad del proceso y reducen la capacidad de respuesta de la planta frente a los requerimientos de producción.

Mediante el análisis cualitativo de la información recopilada durante la fase de medición, se resalta que la improductividad observada no responde a una única causa, sino a la interacción de factores asociados a maquinaria, métodos de trabajo, materiales y gestión operativa. De esta manera, se sugiere la integración de herramientas de la metodología Lean Six Sigma para priorizar acciones de mejora enfocadas en la reducción de tiempos de espera, fortalecimiento de la disponibilidad operativa, estandarización de procesos y optimización del flujo productivo, contribuyendo al incremento de la productividad y la sostenibilidad de los resultados en la planta de producción de plásticos de Industrias Haceb S.A.

6.2.4. Hallazgos de realizar la Fase 4 – Mejorar

Como respuesta al tercer objetivo específico del proyecto, el cual busca determinar estrategias orientadas a la reducción de tiempos improductivos y priorizar oportunidades de mejora, se realizó el diseño de propuestas orientadas a disminuir los tiempos de espera, reducir la variabilidad y optimizar la continuidad operacional del proceso de inyección. Para ello, se empleó la técnica "*Brainwriting 6-3-5"*, una herramienta de generación de ideas, estructurada a partir de la participación de diferentes actores del proceso, promoviendo la construcción colaborativa de alternativas de solución enfocadas en las causas críticas previamente identificadas durante las fases de Definir, Medir y Analizar.

Tabla 7.

Lluvia de ideas con la Técnica Brainwriting 6-3-5

	Ronda de lluvia de ideas 1	**Ronda de lluvia de ideas 2**	**Ronda de lluvia de ideas 3**
1	Implementar DMIAC para reducir tiempos de parada	Estandarizar parámetros de máquina	Crear checklist de preparación de material
2	Capacitar operarios o ingresar más personal de mantenimiento	Usar hojas de configuración por referencia	Capacitar operarios en ajustes rápidos

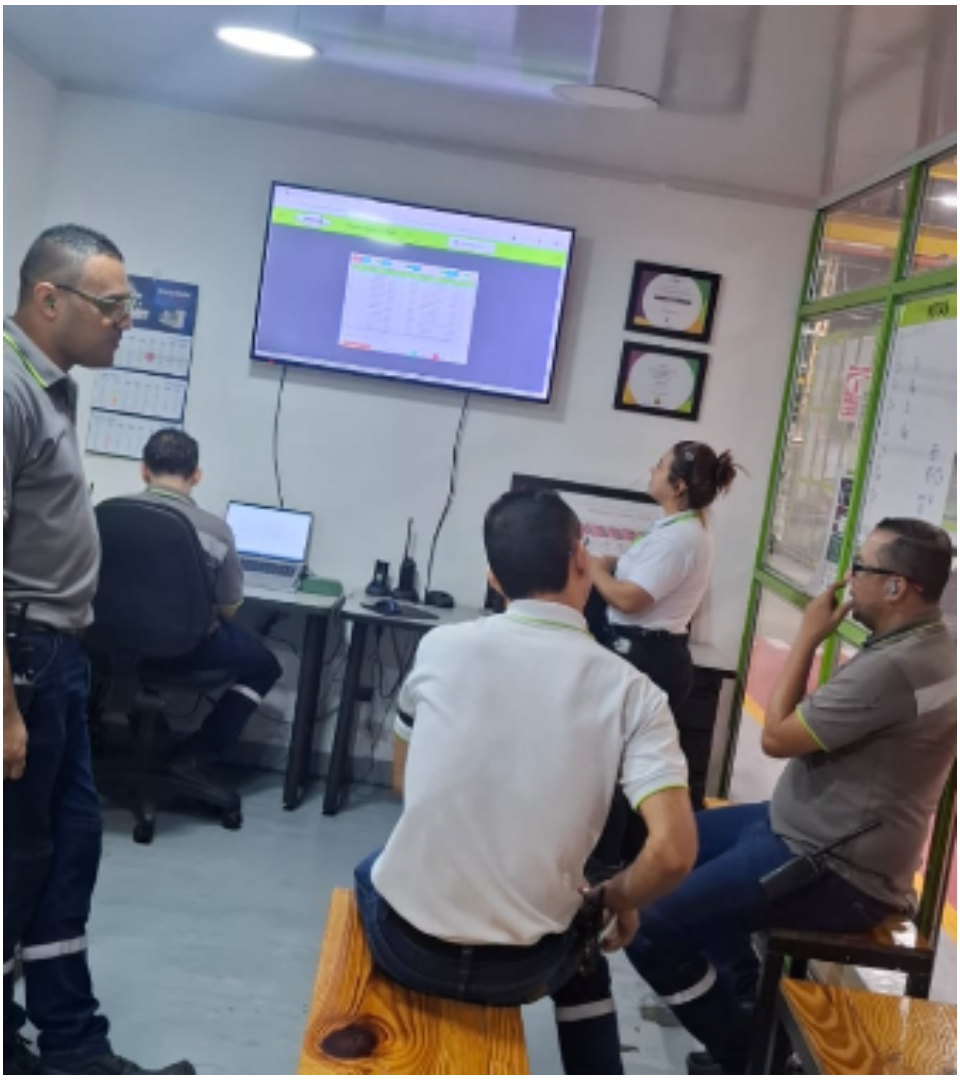
3	Preparar moldes antes del cambio de referencia de material	Implementar kits de herramientas por máquina Para un rápido mantenimiento correctivo	Reducir movimientos innecesarios (5S)
4	Automatizar ajustes de parámetros críticos	Implementar sensores para monitoreo en tiempo real	Crear alarmas para desviaciones del proceso
5	Establecer tiempos estándar por referencia	Implementar tablero visual de desempeño	Realizar mantenimiento preventivo planificado

Fuente: Elaboración propia.

Como resultado de la lluvia de ideas, se identificó que las oportunidades de mejora con mayor potencial de impacto se encuentran relacionadas con la implementación de la metodología DMAIC en las máquinas críticas, la estandarización de parámetros de operación, la preparación anticipada de materiales y moldes, el fortalecimiento de los programas de mantenimiento preventivo y la capacitación del personal operativo. De igual forma, surgieron propuestas asociadas a la automatización de controles, utilización de tableros visuales de desempeño y aplicación de herramientas Lean como las 5S, las cuales contribuyen a reducir actividades que no agregan valor al proceso productivo.

Figura 10.

Registro fotográfico con la participación de los actores interesados en la lluvia de ideas con la Técnica Brainwriting



Fuente: Elaboración propia, tomada del área de producción de plásticos de Industrias Haceb S.A.

Del anterior registro fotográfico con la participación de los actores interesados en el proceso de lluvia de ideas mediante la técnica Brainwriting 6-3-5, se formularon diversas propuestas orientadas a la reducción de los tiempos improductivos y al fortalecimiento del desempeño operacional de la línea de inyección de plásticos. Las ideas generadas fueron posteriormente evaluadas y priorizadas de acuerdo con su impacto potencial sobre las principales causas de improductividad identificadas durante las fases de Definir, Medir y Analizar del ciclo DMAIC.

Tabla 8.

Propuesta de mejora a integrar en el Plan de acción Lean Six Sigma a partir de los resultados de 5w y 2h

Oportunidad de mejora	Acción	Responsable	Fecha	Avance (%)	Observaciones
Reducir tiempos altos en configuración de máquina	Implementar metodología DMIAC en centros de trabajo críticos.	Jefe de planta	Junio de 2026	0%	Análisis de tiempos de preparación, identificación de causas raíz y reducción de tiempos improductivos.
Reducir defectos por novedad	Estandarizar preparación de materia prima	Jefe de planta	Junio de 2026	0%	Control de humedad, temperatura y condiciones del material antes del proceso.
Mejorar desempeño del personal operativo	Capacitar operarios en calidad y ajustes de proceso	Talento humano / Producción	Junio de 2026	0%	Programa de formación y certificación en operación de máquinas de inyección.
Controlar variabilidad del proceso	Implementar control estadístico del proceso	Jefe de planta	Junio de 2026	0%	Seguimiento de tendencias y límites operativos.
Mejorar monitoreo de indicadores	Implementar tablero de control	Jefe de planta	Junio de 2026	0%	Visualización en tiempo real de tiempos de paro, disponibilidad y defectos.
Reducir paradas por fallas de máquina	Plan de mantenimiento preventivo	Jefe de planta	Junio de 2026	0%	Rutinas programadas de inspección, lubricación y ajuste de equipos.
Reducir pérdidas por movimientos innecesarios	Aplicar metodología 5S en áreas de producción	Coordinador de producción	Junio de 2026	0%	Reducir pérdidas por movimientos innecesarios

Fuente: Elaboración propia.

En complemento, el plan de acción propuesto busca integrar las ideas formuladas con la metodología Lean Six Sigma, estableciendo acciones concretas, responsables, fechas de implementación y mecanismos de seguimiento orientados a la reducción de tiempos improductivos.

Las estrategias planteadas se enfocan principalmente en disminuir las paradas de máquina, controlar la variabilidad del proceso, mejorar el desempeño del personal y fortalecer el monitoreo de indicadores operacionales. La ejecución de estas acciones permitiría incrementar la disponibilidad de los equipos, mejorar el cumplimiento de la producción programada y fortalecer la eficiencia operativa de la planta de producción de plásticos de Industrias Haceb S.A.

La mayoría de las propuestas formuladas se orientan hacia la prevención de fallas y la estandarización de las operaciones, aspectos que representan factores determinantes para disminuir los tiempos de espera identificados durante el análisis de la información. Por tanto, la implementación gradual de las acciones propuestas permitiría generar mejoras sostenibles en el desempeño del proceso de inyección, contribuyendo a la reducción de pérdidas operacionales, el aumento de la productividad y el fortalecimiento de la cultura de mejora continua dentro de la organización.

6.2.5. Hallazgos de realizar la Fase 5 – Controlar

Como respuesta al tercer objetivo específico del proyecto, se propone establecer mecanismos de seguimiento y control que garanticen la sostenibilidad de las propuestas de mejora formuladas durante las fases anteriores del ciclo DMAIC.

Para ello, se diseñó un Plan de Control compuesto por la propuesta de indicadores de seguimiento, procedimientos de monitoreo y herramientas estadísticas orientadas a la evaluación continua del proceso, buscando verificar el cumplimiento de los estándares operativos definidos

y facilitar la toma de decisiones basada en datos. De esta manera, se promueve una cultura de mejora enfocada en la productividad, la calidad y la eficiencia operativa de la planta.

- **Diseño de un Plan de control**

El plan de control busca garantizar la sostenibilidad de las mejoras propuestas para el proceso de inyección de plásticos, mediante el monitoreo sistemático de variables críticas de entrada, proceso y salida. A través del uso de herramientas como el tablero de indicadores KPI, se asegura la detección oportuna de desviaciones y la aplicación de acciones correctivas antes de que estas impacten significativamente el desempeño productivo.

Así mismo, el plan permite realizar seguimiento a variables relacionadas con tiempos de configuración, preparación de materiales, parámetros de inyección, tiempos de ciclo, defectos de calidad, disponibilidad de las máquinas y cumplimiento de estándares operativos.

Tabla 9.

Diseño del Plan de control integrando los resultados hallados

Paso	¿Qué está controlado?	¿Parámetro crítico (CTQ)?	¿Entrada o Salida?	Límites de Espec./ Requerimientos	Método de medición	Lugar de medición	Método Control	Tamaño de muestra	Frec.	¡Quién/Qué hace la medición?
1	**Tiempo de configuración de máquina**	Tiempo de setup (min)	Entrada	≤ 8 min	Cronómetro / sistema	Máquina	Carta de control	5 ciclos	Diario	Operario / Supervisor
2	**Preparación de material**	Humedad (%)	Entrada	≤ nivel estándar	Medidor de humedad	Área de preparación	Checklist	3 muestras	Por turno	Operario
3	**Parámetros de inyección**	Temperatura / presión	Entrada	Rango definido por ficha técnica	Sensores máquina	Máquina	SPC	Continuo	Tiempo real	Sistema automático
4	**Tiempo de inyección**	Tiempo de ciclo (min)	Proceso	≤ estándar definido	Sistema automático	Máquina	Carta de control	5 ciclos	Diario	Supervisor
5	**Defectos de calidad**	% chispeado	Salida	≤ 5%	Inspección visual	Área calidad	Pareto	50 piezas	Por lote	Inspector calidad
6	**Tiempo de enfriamiento**	Tiempo (min)	Proceso	≤ estándar	Sistema máquina	Máquina	SPC	5 ciclos	Diario	Operario
7	**Tiempo de expulsión**	Tiempo (min)	Proceso	≤ estándar	Cronómetro	Máquina	Checklist	5 ciclos	Diario	Operario
8	**Inspección final**	% conformidad	Salida	≥ 95%	Inspección visual	Calidad	Muestreo	50 piezas	Por lote	Inspector
9	**Disponibilidad de máquina**	% disponibilidad	Salida	≥ 85%	Sistema OEE	Planta	KPI	Total turno	Diario	Supervisor
10	**Orden y limpieza (5S)**	Nivel cumplimiento	Entrada	≥ 90%	Auditoría 5S	Área trabajo	Lista chequeo	1 auditoría	Semanal	Líder Lean

Fuente: Elaboración propia.

Como resultado general de la segunda etapa se identificó un esquema de control preventivo enfocado en los factores que presentaron mayor incidencia en los tiempos improductivos durante el periodo analizado. Entre ellos se destacan los tiempos de configuración de máquina, los defectos asociados a la calidad del producto, las fallas operacionales y la disponibilidad de los equipos. El seguimiento permanente de estos indicadores permitirá evaluar la efectividad de las acciones propuestas y generar alertas tempranas ante posibles desviaciones.

6.3. Plan de acción Lean Six Sigma

Para la etapa final del proyecto se diseñó un plan de acción Lean Six Sigma, orientado a la sostenibilidad de las mejoras propuestas para la reducción de los tiempos improductivos presentes en el proceso de producción de la planta de plásticos de Industrias Haceb S.A.

Este plan de acción consolida los hallazgos identificados durante el diagnóstico, análisis y evaluación del proceso, estableciendo actividades específicas, responsables, recursos, tiempos de ejecución e indicadores de seguimiento, con el propósito de garantizar el cumplimiento de las acciones de mejora planteadas y asegurar la permanencia de los resultados obtenidos.

A continuación, se presenta el plan de acción propuesto a partir de los resultados en cada fase:

Tabla 10.

Plan de acción Lean Six Sigma propuesto para el proyecto

Hallazgo identificado	Acción de mejora	Actividad	Responsable	Recursos	Tiempo estimado	Indicador de seguimiento
Altos tiempos de configuración de máquina	Implementar metodología DMAIC en máquinas críticas	Analizar y estandarizar el proceso de las máquinas con mayor incidencia de paradas	Jefe de planta	Personal técnico, formatos, registros históricos	2 meses	*Reducción (%) del tiempo de setup*
Alta variabilidad en parámetros de operación	Estandarizar parámetros de proceso	Diseñar hojas de configuración y procedimientos operativos estándar por referencia	Jefe de producción	Manuales técnicos, formatos estandarizados	1 mes	*Número de parámetros estandarizados*
Defectos recurrentes de calidad (quemadas, rebabas y burbujas)	Fortalecer el control de calidad del proceso	Implementar controles de preparación de materiales y listas de chequeo	Coordinador de calidad	Checklists, instrumentos de medición	1 mes	*Disminución (%) de defectos reportados*
Falta de capacitación técnica del personal	Capacitar operarios en ajustes y operación de máquinas	Ejecutar programas de formación y entrenamiento operativo	Talento Humano y Producción	Material didáctico, capacitadores	2 meses	*Número de operarios capacitados*
Elevada incidencia de fallas operacionales	Fortalecer el mantenimiento preventivo	Diseñar y ejecutar rutinas programadas de mantenimiento preventivo	Jefe de mantenimiento	Herramientas, repuestos, cronogramas	Permanente	*Cumplimiento (%) del plan de mantenimiento*
Desorden y movimientos innecesarios en el área de trabajo	Aplicar metodología 5S	Desarrollar jornadas de organización, clasificación y estandarización del área	Coordinador Lean	Material de señalización y formatos de auditoría	1 mes	*Nivel de cumplimiento de auditorías 5S (%)*

Fuente: Elaboración propia.

Como resultado general de la etapa final se identificó que la integración de herramientas Lean Six Sigma, sustentadas en el ciclo DMAIC, permite estructurar acciones de mejora orientadas a la reducción de tiempos improductivos, el fortalecimiento de la disponibilidad operativa y la disminución de la variabilidad del proceso, estableciendo una ruta metodológica para priorizar actividades, asignar responsabilidades y realizar seguimiento permanente mediante indicadores de desempeño, contribuyendo al incremento de la productividad, la sostenibilidad de las mejoras y el fortalecimiento de la cultura de mejora continua en la planta de plásticos de Industrias Haceb S.A.

6. CONCLUSIONES

- Se logró estructurar un plan de mejora enfocado en acciones de reducción de tiempos improductivos, sustentada en el ciclo DMAIC, donde se evidencio que el sistema productivo presenta una alta incidencia de tiempos de espera, principalmente por novedades de paro reportadas, representados por 1.355 horas, lo que equivale a un 66,1 % del tiempo total programado, lo cual venia afectando directamente la disponibilidad de las máquinas y el cumplimiento de la producción. improductivos,
- Se identificaron y cuantificaron las causas que generaban los tiempos improductivos en la planta de plásticos de Haceb, mediante la aplicación del diagrama de Ishikawa, el árbol causal y herramientas estadísticas de análisis. Los hallazgos permitieron establecer que las mayores afectaciones operacionales están asociadas a la falta de estandarización de métodos de trabajo, deficiencias en la configuración de maquinaria, variabilidad en la calidad de los materiales, fallas recurrentes de los equipos y ausencia de mecanismos de control efectivos.
- La propuesta de plan de acción se sustentó a partir de la metodología Lean, como respuesta a la principal causa de tiempos improductivos del proceso de inyección de plásticos, apoyada en las fases del ciclo DMAIC. Con el plan de acción se asegura un mecanismo de seguimiento permanente en los indicadores operacionales, que contribuyan al mejoramiento del proceso productivo en el área de producción de plásticos de Industrias Haceb S.A., favoreciendo la toma de decisiones basada en datos, el incremento de la productividad y la sostenibilidad de las acciones de mejora implementadas.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda iniciar la aplicación de las estrategias propuestas en las máquinas 1, 2, 5 y 6, debido a que concentran la mayor cantidad de horas de parada. Esto permitirá validar la efectividad de las acciones planteadas, reducir riesgos durante la implementación y generar resultados medibles que faciliten la posterior expansión de las mejoras al resto del sistema productivo.
- Es importante desarrollar programas de formación y entrenamiento para los operarios, con el fin de disminuir la variabilidad del proceso, reducir errores operativos y mejorar la capacidad de respuesta ante fallas en la producción. Paralelamente, se sugiere establecer procedimientos de estandarización para las novedades, como; la configuración de máquinas, cambios de referencia, preparación de materiales y control de parámetros de inyección.
- Se recomienda adoptar tableros de control alineados con el plan de acción propuesto, a partir de indicadores clave (KPI) relacionados con tiempos de paro, disponibilidad de máquinas, cumplimiento de la producción programada, defectos de calidad y eficiencia operativa. El monitoreo continuo de estos indicadores permitirá detectar desviaciones de manera oportuna, tomar decisiones basadas en datos y garantizar la sostenibilidad de las mejoras propuestas en el largo.

8. BIBLIOGRAFÍA

Ahmed, S., Khan, A., & Qureshi, M. (2018). Application of Six Sigma methodology in a manufacturing process. *International Journal of Quality & Reliability Management, 35*(6), 1250–1267. https://doi.org/10.1108/IJQRM-06-2017-0114

Baro, M., Piña, M. R., Valdiviezo, C. J., & Amaya, R. M. (2024). El proceso DMAIC: Herramientas de calidad en el desarrollo de proyectos de mejora de la calidad. Ingeniería e Innovación, 12(1). https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/rii/article/view/3773/5914

Benito, G. A., Avila-Martinez, B., & Franco-Austria, E. (2024). Implementación de DMAIC para la reducción de scrap: Un caso de estudio. Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI, 12, 24–31. https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icbi/article/view/13169/11740

Cerón, A. M., Gracia, T. J. H., Ávila, D. D., & Muñoz, E. M. (2024). Proceso productivo aplicando el Value Stream Mapping en la industria del plástico. *Revista Venezolana de Gerencia*: RVG, 29(106), 568-580.

De la Cruz, J. M., González, M. P., Chávez, A. V., & Ojinaga, E. R. P. (2024). Mejora del mantenimiento preventivo en área de moldeo a través de DMAIC. Revista Electrónica del Desarrollo Humano para la Innovación Social, 11(22).

Espinoza Mayorga, M. I., & Pelaez Perez, D. R. (2025). Mejorar la productividad en una empresa del sector de productos plásticos aplicando herramientas Lean Manufacturing. https://repositorio.ulima.edu.pe/handle/20.500.12724/23400

Faneite, S. F. A. (2023). Criterios para la selección de técnicas e instrumentos de recolección de datos en las investigaciones mixtas. *Revista Honoris Causa,* 15(2), 62-83.

Flores-Kanter, P. E. (2019). *Núcleo básico en el análisis de datos cualitativos: pasos, técnicas de identificación de temas y formas de presentación.* Redalyc, 12(2), 19-32.

Gaibor Angulo, G. M., Smith Tapia, A. B., & Rodríguez Zurita, M. D. (2022). Reducción de desperdicios en el área de sellado de una empresa de productos plásticos (Tesis doctoral, ESPOL. FIMCP).

García-González, R., Paredes-Castañeda, J. A., & Bayona-Ibáñez, E. (2023). DMAIC como herramienta para implementar un sistema de mejora para incrementar la productividad en la industria del sombrero. Revista Ingenio, 20(1), 8–15.

González, C. A. L. P. (2023). Metodología DMAIC aplicada a una empresa MIPYME. En Avances de investigación en ingeniería aplicada (p. 147). https://www.researchgate.net/profile/Fernando-Pech-May-2/publication/373012294_LibroENC10Marzo2023/links/64d3bb22b684851d3d94788e/LibroENC10Marzo2023.pdf#page=147

Gupta, A., Mehta, S., & Rao, P. (2018). Operational efficiency improvement through Six Sigma: Evidence from industrial case studies. Journal of Operations and Supply Chain Management, 11(1), 23–37. https://doi.org/10.12660/joscmv11n1p23-37

Hernández, J., & Silva, C. (2019). Minimizing downtime in manufacturing through Six Sigma: A practical framework. *Revista Espacios, 40*(23), 12–25. http://www.revistaespacios.com/a19v40n23/19402312.html

Hernández-Sampieri y Mendoza (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill.

Khan, M., & Ibrahim, Z. (2020). Improving injection molding processes through Six Sigma methodology: A practical approach. *Polymer Engineering and Science, 60*(11), 2475–2485. https://doi.org/10.1002/pen.25549

López, M., & Torres, J. (2017). Reducción de tiempos improductivos en procesos de manufactura mediante la metodología DMAIC. *Revista Facultad de Ingeniería, 26*(46), 45–56. https://doi.org/10.17533/udea.redin.n46a05

Lopez, A., & Andrade, S. (2022). Six Sigma in small and medium-sized enterprises: Improving process performance. *Total Quality Management & Business Excellence, 33*(7–8), 823–842. https://doi.org/10.1080/14783363.2020.1829962

Martínez, L., & López, R. (2021). Applying Six Sigma to minimize defects and improve productivity in the food packaging industry. *Journal of Industrial Engineering and Management, 14*(2), 203–220. https://doi.org/10.3926/jiem.3432

Méndez Zambrano, L. A., Sancán Carreño, F. V., & López Iglesias, S. A. (2025). Reducción de tiempo de paradas en la línea de empaque mediante la metodología DMAIC (Tesis doctoral, ESPOL. FIMCP). https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/66146/1/T-115384%20POSTG109%20MENDEZ-SACAN.pdf

Molina De Hoyos, Z. S. (2022). Construcción de una herramienta en línea que apoye la solución creativa de problemas.

https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/16866/2022_Tesis_Zarky_Molina.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Patel, R., & Shah, N. (2020). Reducing downtime and improving equipment efficiency using Six Sigma tools: A case study in automotive components. *Procedia Manufacturing, 51*, 345–352. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.046

Pérez-López, E., & García-Cerdas, M. (2019). Implementación de la metodología DMAIC-Seis Sigma en el envasado de licores en Fanal. Tecnología en Marcha, 27(3), 88–106. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4896365

Reddy, V., & Kumar, H. (2022). Six Sigma application in the manufacturing industry: A case study in reducing rejection rate. *International Journal of Productivity and Quality Management, 35*(2), 167–183. https://doi.org/10.1504/IJPQM.2022.121045

Rodríguez, D., & Pérez, F. (2020). Applying Six Sigma to reduce manufacturing waste: A systematic review. *Journal of Cleaner Production, 258*, 120718. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120718

Rodríguez Gordillo, N., Chaves Gómez, N., & Martínez Sánchez, P. (2014). Propuesta para la reducción de los tiempos improductivos en Dugotex S.A. *Revista Lasallista de Investigación, 11*(1), 63-72. Recuperado de https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5002952

Santos, F., Oliveira, J., & Silva, P. (2019). Continuous improvement in industrial manufacturing through Six Sigma and DMAIC. *Journal of Manufacturing Systems, 52*, 65–78. https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2019.05.002