



# POSGRADOS

## Maestría en **PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES**

RPC-SO-30-NO.506-2019

Opción de Titulación:

Artículos profesionales de alto nivel

Tema:

Aplicación de la metodología DMAIC en una línea de envasado de polvo detergente para la reducción del costo de producción.

Autor:

Juan Fernando Pushug Guacho

Director:

Leonidas Esteban Ramírez Gangotena

QUITO – Ecuador

2023

***Autor(es):***



Juan Fernando Pushug Guacho  
Ingeniero Electrónico  
Candidato a Magíster en Producción y Operaciones Industriales por  
la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Quito.  
jpushug@est.ups.edu.ec

***Dirigido por:***



Leonidas Esteban Ramírez Gangotena  
Ingeniero Mecánico  
Magister en Mecánica con mención en Diseño Mecánico  
lramirezg@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

**DERECHOS RESERVADOS**

2023 © Universidad Politécnica Salesiana.

QUITO– ECUADOR – SUDAMÉRICA

***JUAN FERNANDO PUSHUG GUACHO***

***APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC EN UNA LÍNEA DE ENVASADO  
DE POLVO DETERGENTE PARA LA REDUCCIÓN DEL COSTO DE  
PRODUCCIÓN.***

## ***DEDICATORIA***

A mi madre que está en el cielo, por enseñarme que a pesar de las dificultades que puedan presentarse en la vida hay que seguir en pie hasta el último momento, por ser una persona que amo y cuido a sus hijos hasta el último aliento. ¡Gracias mama!

## ***AGRADECIMIENTO***

A Dios, por darme salud, vida, y trabajo con lo cual he podido seguir adelante con mis estudios de maestría.

A la Virgen Santísima, por guiar mis pasos y por cuidarme en mis locuras.

A mis hermanos, Mónica, Rocío, y Roberto por alentarme y apoyarme en las decisiones que tomo día tras día.

A Janeth, por ser la persona que me apoyo en los momentos más difíciles cuando perdí a mi madre, por estar a mi lado y haberse convertido en una persona muy especial en mi vida.

A mi tutor, Esteban Ramírez por haber sido mi guía para la realización de este artículo.

# Tabla de Contenido

---

Resumen .....	9
Abstract.....	10
1. Introducción.....	11
2. Materiales y métodos.....	16
2.1. Fase Definir.....	18
2.2. Fase Medir .....	18
2.2.1. Identificación de las métricas clave.....	18
2.2.2. Recopilación de datos .....	18
2.3. Fase Analizar .....	19
2.4. Fase Mejorar .....	22
2.4.1. Plan de acción de mejoras .....	22
2.4.2. Capacitación a Operadores .....	22
2.4.3. Estandarización de parámetros de operación.....	24
2.4.4. Poka-Yoke para cambios de formato.....	24
2.4.5. Capacitación en SMED .....	24
2.4.6. Implementación 5S .....	24
2.4.7. Definición de un plan de calibración y limpieza de máquina.....	25
2.4.8. Levantar un stock de repuestos.....	25
2.5. Fase Controlar .....	26
3. Resultados.....	27
3.1. Consumo de energía .....	27
3.2. Desperdicios de tiempo y laminado.....	27
3.3. Disponibilidad, eficiencia, calidad .....	27
3.4. Costo de producción .....	29
4. Conclusiones.....	30
5. Referencias .....	31

## Índice de Figuras

---

Figura 1. Ciclo DMAIC.....	12
Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de envasado.....	16
Figura 3. Procedimiento del método empleado .....	17
Figura 4. Tendencia de indicadores entre julio y diciembre de 2021 .....	18
Figura 5. Diagrama de Pareto de fallas registradas .....	20
Figura 6. Diagrama de Ishikawa del problema principal.....	21
Figura 7. Análisis de consumo de energía de la línea de producción.....	21
Figura 8. Indicadores de productividad luego de las mejoras .....	28
Figura 9. Contraste de indicadores antes y después de la mejora.....	29

## Índice de Tablas

Tabla 1. Problemas significativos.....	19
Tabla 2. Plan de acción de mejoras .....	22
Tabla 3. Temas de Capacitación a Operadores.....	23
Tabla 4. Eficiencia de cambio de formato .....	24
Tabla 5. Implementación de 5S .....	25
Tabla 6. Periodos de limpieza y calibración.....	25
Tabla 7. Consumo de energía fines de semana.....	27
Tabla 8. Indicadores de productividad luego de implementar mejoras .....	28
Tabla 9. Promedio de indicadores de abril a agosto de 2022 .....	29
Tabla 10. Costos de producción de unidades .....	29

# Aplicación de la metodología DMAIC en una línea de envasado de polvo detergente para la reducción del costo de producción.

Autor:

Juan Fernando Pushug Guacho



## Resumen

---

La disminución o eliminación de desperdicios de cualquier tipo dentro de la industria manufacturera se convierte en una necesidad para que los negocios continúen siendo sustentables en el tiempo y generando desarrollo. Es así como este trabajo de investigación tiene como objetivo reducir todos aquellos desperdicios que no añaden valor al producto, y que aumentan el costo de producción. Para lograr este objetivo se implementó la metodología Lean Six Sigma DMAIC en una línea de envasado de polvo detergente, permitiendo descubrir los problemas que aquejaban y encarecían la producción. Al utilizar herramientas de calidad como Diagramas de Pareto, Diagramas de Ishikawa, aplicación de 5S, Poka Yokes, SMED, capacitando al personal, y estandarizando procesos, se logró reducir tiempos improductivos, el consumo de energía se redujo hasta en un 20 %, la eficiencia y la disponibilidad de la máquina aumentaron en 10.98 %, 7.32 %, respectivamente. Con esto también se incrementó el rendimiento general de la línea en 15.16% lo cual se traduce en un ahorro significativo mensual de USD 71 442,05. Este ahorro permitió cumplir con el objetivo general de reducir el costo de producción mediante la implementación de la metodología DMAIC en la línea de producción.

**Palabras clave:** Metodologías, Lean Six Sigma DMAIC, Producción, Herramientas de calidad, 5S, Poka Yokes, SMED, Eficiencia.

## Abstract

---

The reduction or elimination of waste of any kind within the manufacturing industry becomes a necessity for businesses to continue to be sustainable over time and generate development. This is how this research work aims to reduce all those wastes that do not add value to the product, and that increase the cost of production. To achieve this objective, the Lean Six Sigma DMAIC methodology was implemented in a detergent powder packaging line, making it possible to discover the problems that afflicted and made production more expensive. With quality tools such as Pareto Diagrams, Ishikawa Diagrams, application of 5S, Poka Yokes, SMED, training personnel, and standardizing processes, it was possible to reduce unproductive times, energy consumption was reduced by up to 20 %, the efficiency and availability of the machine increased by 10.98 %, 7.32 %, respectively. With this, the general performance of the line was also increased by 15.16%, which translates into significant monthly savings of USD 71,442.05. This saving made it possible to meet the general objective of reducing the cost of production through the implementation of the DMAIC methodology in the production line.

**Keywords:** Methodologies, Lean Six Sigma DMAIC, Production, Quality tools, 5S, Poka Yokes, SMED, Efficiency.

# 1. Introducción

En un mercado competitivo las empresas de manufactura buscan maneras de optimizar sus procesos con el afán de que el incremento en el costo de producción a causa de varios factores no incremente el costo del producto al cliente final, ni que la calidad del producto se vea afectada, lo que generaría pérdidas de clientes que optarían por productos más baratos y de mejor calidad.

En este contexto reducir el costo de producción se hace necesario luego de atravesar una pandemia que ha encarecido el costo de importaciones y el costo de materias primas [1], dejando a las empresas un margen de utilidad menor. Entonces, implementar metodologías de mejora continua se convierte en una necesidad en las empresas que quieren persistir, ser rentables y sustentables en el tiempo, conllevando de esta manera reducir los problemas de producción que dan como resultado procesos más eficientes y rentables [2, 3].

De la revisión de la literatura se conoce que *Lean Manufacturing* y *Six Sigma*, con sus herramientas de calidad se adaptan mejor al proceso de manufactura, estas metodologías tienen como misión buscar la excelencia en los procesos, aumentar los niveles de producción y disminuir los desperdicios [4, 5] para lograr esto utilizan varias herramientas de calidad y metodologías propias de cada una. A continuación, se describe cada metodología por separado. *Lean Manufacturing* se desarrolló a partir del sistema de producción de Toyota, el cual busca utilizar los recursos de manera más eficiente y reducir los desperdicios. El principio de *Lean* es eliminar todo aquello que no genere valor al producto o servicio, esto es eliminar la sobreproducción, tiempos de espera, defectos, movimientos innecesarios, el transporte y el reproceso de productos [6]. Con la eliminación de estos desperdicios se tienen ventajas significativas como son la reducción en los costos de producción, aumento en la productividad, se producen productos de mayor calidad, así como también se reduce el tiempo en el cual un pedido es fabricado [7].

*Six Sigma* es una metodología enfocada en la calidad, utiliza la estadística para buscar soluciones a los problemas de fabricación basándose en el análisis de datos. Su objetivo es reducir la variabilidad de los procesos, es decir, cualquier producto debe ser manufacturado con las mismas especificaciones [8]. Depende el nivel sigma en el cual se encuentre el proceso hay un número tolerable de errores, siendo la excelencia un nivel de 6 sigma, en donde lo máximo permitido es 3.4 defectos por millón de oportunidades, esto significa que básicamente no hay lugar para errores dentro del procesos de fabricación; mientras el nivel sigma baja los errores aceptables aumentan.

*Lean Six Sigma* por otra parte, es una fusión de las dos metodologías, tomando lo mejor de cada una para corregir cualquier inconveniente que pueda resultar de implementar alguna metodología por separado. Esta metodología combina las mejores y más eficientes herramientas de calidad para que las empresas puedan resolver problemas y aumenten la productividad con un menor costo de implementación y de manera más rápida [9]. La metodología Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar (DMAIC, en inglés), es una herramienta de calidad de *Six Sigma* que ayuda a detectar problemas y los hace visibles, consiste en cinco etapas que deben ser seguidas secuencialmente [10], en la Figura 1 se muestra las cinco etapas del ciclo DMAIC, en esta se puede apreciar que cada etapa debe ser seguida en secuencia, permitiendo desarrollar soluciones a los problemas de manera estructurada y lógica.

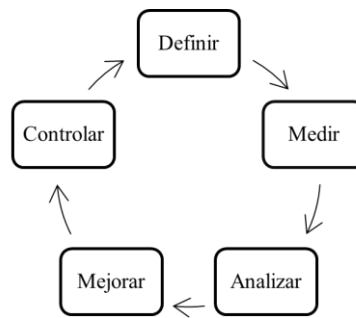


Figura 1. Ciclo DMAIC

Desde la creación, *Lean Six Sigma* DMAIC ha sido implementada en varias empresas a nivel mundial, desarrollando beneficios notables para la organización sin importar la actividad a la que se dedique la empresa [11], entre los beneficios principales de adoptar esta metodología esta ser más eficientes en el aprovechamiento de los recursos, minimizar el desperdicio, e identificar inconvenientes que generen bajos niveles de producción y que provoquen un costo elevado de producción [12].

Dentro de estas metodologías existen herramientas muy útiles que se adaptan al proceso de producción y que son muy valiosas tras su implementación, entre los que se encuentra, dispositivos Poka – Yoke, son utilizadas en el contexto de la fabricación para prevenir errores o defectos en los procesos, estos pueden ser mecánicos o electrónicos, y tienen la finalidad de evitar errores humanos, lo que puede ahorrar tiempo, reducir costos y mejorar la calidad del producto [13]. *Single Minute Exchange Die* (SMED), o cambio rápido de formato, es una herramienta que busca reducir el tiempo necesario para cambiar los moldes o formatos en una línea de fabricación. Para lograr esto la metodología se centra en identificar y eliminar todas las actividades que no agregan valor durante el proceso de cambio. La implementación exitosa de SMED en la línea de producción genera una mayor flexibilidad en los pedidos, una reducción del tiempo de cambio y un producto de mejor calidad [14].

Otra herramienta muy utilizada es 5S, que es una filosofía de mejora continua originada en Japón, la cual se centra en la autodisciplina, el orden, la limpieza, la estandarización y el enfoque al cliente. Esta técnica es parte de la manufactura esbelta y permite clasificar lo que no es necesario en el puesto de trabajo, así como generar disciplina en los colaboradores para que mantengan el espacio de trabajo limpio y ordenado. Un espacio de trabajo bien organizado genera un aumento de la competitividad y disminuye los tiempos improductivos, incrementa la eficiencia y mejora la seguridad, así como también motiva y genera bienestar en los colaboradores para realizar su trabajo [15].

Guleria et al. [16] implementaron *Lean Six Sigma* en una empresa de manufactura de filtros de combustible de automóviles que presentaba una alta tasa de rechazo, que a más de generar pérdidas no podía abastecer la demanda de sus clientes en el tiempo estipulado. Al aplicar DMAIC, Mapeo de Flujo de Valor (VSM, en inglés) y otras herramientas de *Six Sigma* detectaron los problemas más significativos que afectaban al proceso. Luego de corregir los problemas e implementar mejoras lograron reducir un 8 % los defectos que generaban producto no conforme, y el tiempo de entrega se redujo de 12 a 11 días. Según Dinesh et al. [17] VSM es una técnica visual que utiliza símbolos y diagramas que permiten visualizar y comprender el flujo de materiales, información, y actividades, desde que se recibe el pedido hasta la entrega final del producto o servicio. Tiene como objetivo principal identificar y eliminar los desperdicios y actividades que no agregan valor al proceso.

Al implementar la metodología *Lean Six Sigma* DMAIC en una compañía dedicada a la producción de jugos de fruta [18], se identificaron ineficiencias y desperdicios en el proceso productivo. Al aplicar DMAIC y el diagrama de causa efecto se atacaron y corrigieron los problemas más significativos, aumentando la eficiencia del proceso significativamente con lo que se aumentó las ganancias en un 7 % y el desperdicio se redujo en casi un 50 %. Además, el retorno de la inversión está estimado recuperarse dentro de 3 años.

*Lean Six Sigma* en conjunto con herramientas de calidad puede mejorar cualquier actividad o proceso, es así como Antosz et al. [19] en un estudio realizado en una empresa de revestimientos para piso, aplican la metodología DMAIC y el Mantenimiento Productivo Total (TPM, en inglés) para mejorar la eficiencia y eficacia del proceso de mantenimiento, así como incrementar la disponibilidad operativa de las máquinas. Al realizar un mantenimiento adecuado y teniendo un manejo efectivo de los equipos se eliminaron fallas inesperadas que producen pérdidas de producción, corrigiendo estas fallas se tiene efectos positivos sobre la economía de la empresa ya que se minimiza el costo de operación, es más eficiente en el uso de la energía y la vida útil del equipo aumenta. Entre las acciones implementadas para solventar los problemas se encuentra un programa de entrenamiento para operadores, planificación de actividades de mantenimiento, e implementar mantenimiento autónomo, con estas acciones se logró reducir en un 40 % el número de fallas en las máquinas y la disponibilidad aumento en un 27 %.

Thakur et al. [20] creen que el nivel de producción sin defectos determina la continuidad y el crecimiento de las compañías, es por esto por lo que aplicaron *Lean Six Sigma* a una compañía de manufactura de equipos agrícolas que tenía varios defectos de calidad de productos pintados. La información recolectada del proceso fue analizada para luego mediante la aplicación de un diagrama de Pareto conocieron los problemas más significativos, y de estos a través de un diagrama de espigas de pescado conocer las causas raíz. Luego de corregir los problemas detectados redujeron del 12 al 5 % el rango de rechazo, y el nivel sigma mejoró de 2.8 a 4.1 con lo que el proceso se volvió más eficiente, reduciendo los defectos y aumentando el nivel de producción.

Daniyan et al. [21] en un estudio que realizaron buscan mejorar el rendimiento y la calidad del proceso de ensamble de vagones mediante la implementación de la metodología *Lean Six Sigma* y algunas de sus herramientas para desarrollar una organización rentable, sostenible y que sea competitiva en el mercado. El enfoque del estudio fue reducir los errores de manufactura que generan costos adicionales sin añadir valor al proceso de manufactura, o que generan retrasos en el tiempo de entrega. Es así como aplicando herramientas de mejora continua como, Diagrama de Pareto, 5 S y estandarizando los procesos redujeron la variación del proceso, logrando un 46.8 % de mejora de eficiencia del proceso, el tiempo de entrega mejoro en un 27.9 %, y el tiempo que no genera valor al proceso se redujo en un 71.9 %.

Dentro de las políticas de ahorro, otro aspecto fundamental para reducir el costo de producción es llevando un control del consumo de energía, es así como Erdil et al. [22] aplicaron DMAIC a un proyecto energético, donde muestran que el manejo eficiente de energía es de alta prioridad para las organizaciones ya que se tiene un impacto significativo en las ganancias siempre y cuando se alcancen las mejoras planteadas para ser más eficientes en el consumo.

Vásquez et al. [23] realizaron una auditoria energética en las áreas de producción y administrativas con el objetivo de tomar acciones de control que permitan reducir los consumos. Las principales acciones tomadas fueron invertir en máquinas más eficientes que con un menor consumo de energía puedan tener un mayor nivel de productividad, educar al personal inmerso en los procesos en un consumo racional de los recursos. Además, implementar auditorías energéticas periódicas para evaluar las acciones que se van tomando, y generar un plan de gestión energética y ambiental. Con estas acciones, se logró hasta el año 2016 reducir un 30 % el consumo eléctrico y aumentaron 86 % los niveles de producción en comparación al año 2009.

Mercado et al. [24] mencionan que para tener confiabilidad operacional en los equipos y reducir el consumo de energía se debe trabajar en conjunto tanto el departamento de mantenimiento como el de producción, de esta manera se puede implementar un modelo de gestión que corrija la falta de planificación, programación y ejecución de las actividades de mantenimiento, ya que si no se corrigen fallas en las máquinas se genera disminución de la vida útil de los equipos, disminución de la eficiencia operacional, y el consumo eléctrico puede llegar a incrementarse en un 10 %.

Según la Organización Latinoamericana de Energía, el consumo de las industrias representa 1/3 del total de consumo de energía eléctrica que es responsable del cambio climático, mismo que provoca sequías, inundaciones, aumentos en las temperaturas, y aumento en el nivel del mar[25]. Es por esto que las políticas medioambientales buscan reducir el consumo de energía eléctrica con lo cual disminuiría el impacto al medio ambiente al reducir los gases de efecto invernadero, Ghaddar y Mezher [26] mencionan que se pueden reducir las emisiones de gases invernadero entre el 10 y el 30 % implementando medidas simples como utilizar motores eléctricos eficientes, y teniendo un consumo más racional de la energía.

En las industrias el ahorro de energía varía dependiendo la actividad, es así que en un estudio a seis industrias suecas dedicadas a la fundición de hierro. Thollander et al. [27] mencionan que al implementar tecnología eficiente como paneles solares u otro tipo de energía verde que brinde un suministro de energía alterna, y utilizando aparatos de mayor consumo eléctrico en periodos donde la demanda sea baja, se puede reducir el consumo de energía en un 23 %, esta última opción aplica para países donde se cuente con una recaudación en base a una tarifa horaria.

Utilizar máquinas con tecnología de punta, que tengan un menor consumo de energía y que puedan generar un nivel mayor de producción, genera también mejoras en la calidad del producto al igual que reduce los desperdicios por reproceso. La implementación de esta tecnología no conlleva riesgos y, además, el capital requerido se puede recuperar en un par de años [28].

Con todos estos antecedentes se opta por implementar la metodología *Lean Six Sigma* DMAIC en la línea de producción número 4 de envasado de polvo detergente del área de Torre de Polvo de una importante empresa de elaboración, envasado y comercialización de productos de cuidado personal y cuidado del hogar ubicado en la ciudad de Quito. Se escoge esta línea por ser la que posee la envasadora con más años de antigüedad y por ser la línea que presenta una menor eficiencia en comparación a líneas de igual características.

La línea está conformada por una envasadora BOSCH SBV 2510, una dosificadora YAMATO de 14 balanzas, y una máquina enfardadora RAUMAK Multi Baler 300. La máquina

envasadora realiza productos en presentaciones de 200, 480 y 1000 gramos en presentación Floral y Limón, mientras que la máquina enfardadora realiza fardos de 36 fundas para las presentaciones de 200 y 480 gramos, y de 12 fundas para la presentación de 1000 gramos.

Para controlar las mejoras implementadas en la línea de producción se va a tomar valores de indicadores de disponibilidad, eficiencia, calidad y el global, la Eficacia General del Equipo (*Overall Equipment Effectiveness*, OEE en inglés), que es un indicador de rendimiento general del equipo. Se utiliza comúnmente en la industria manufacturera como una herramienta para medir la eficiencia y el rendimiento de la producción, y con el cual también se puede identificar donde se pueden enfocar los esfuerzos para mejorar la productividad [29].

Además, dado que el consumo de energía está relacionado directamente con el costo de producción, parte del proyecto estará centrado en disminuir el consumo de energía, para esto se implementó un medidor de energía WEM3080T con lo que se podrá tener un registro de consumo de energía para evaluar los comportamientos de los equipos y medir el impacto de posibles mejoras. Al aprovechar mejor los recursos naturales, humanos, y económicos la empresa podrá ser más competitiva en el mercado, y parte de la generación de ahorros podrá ser invertida en tecnología más eficiente; que aparte de generar ahorros significativos, se va a convertir en una empresa ecoeficiente responsable con el medio ambiente [30].

En resumen, este artículo se enfocará en disminuir el costo de producción mediante la identificación, y minimización o eliminación de desperdicios mediante la aplicación de *Lean Six Sigma* DMAIC. Para lograr esto se utilizaron herramientas de calidad, como el diagrama de Pareto y el Diagrama de Ishikawa para a través de un análisis conocer la causa raíz de los problemas más significativos, y en los cuales se centraron los esfuerzos. Luego de definir el problema, y el equipo de trabajo, la implementación de la metodología se siguió ordenadamente en fases, cumpliendo estrictamente lo que la metodología recomienda. En la parte de resultados de este estudio se muestra cuantitativamente cuan efectiva resultó la implementación contrastando un periodo antes y después de implementar la metodología DMAIC en la línea de producción. En última instancia, se espera que esta investigación contribuya a que nuevas empresas incursionen en implementar metodologías de mejora continua en sus procesos.

## 2. Materiales y métodos

El presente proyecto fue efectuado en la línea de producción número 4 de la sección de envasado de polvo detergente de una importante empresa ubicada en la ciudad de Quito que se dedica a la elaboración de productos para el cuidado del hogar y cuidado personal. En la Figura 2 se muestra el diagrama de flujo del proceso de producción de la línea de envasado de polvo detergente.

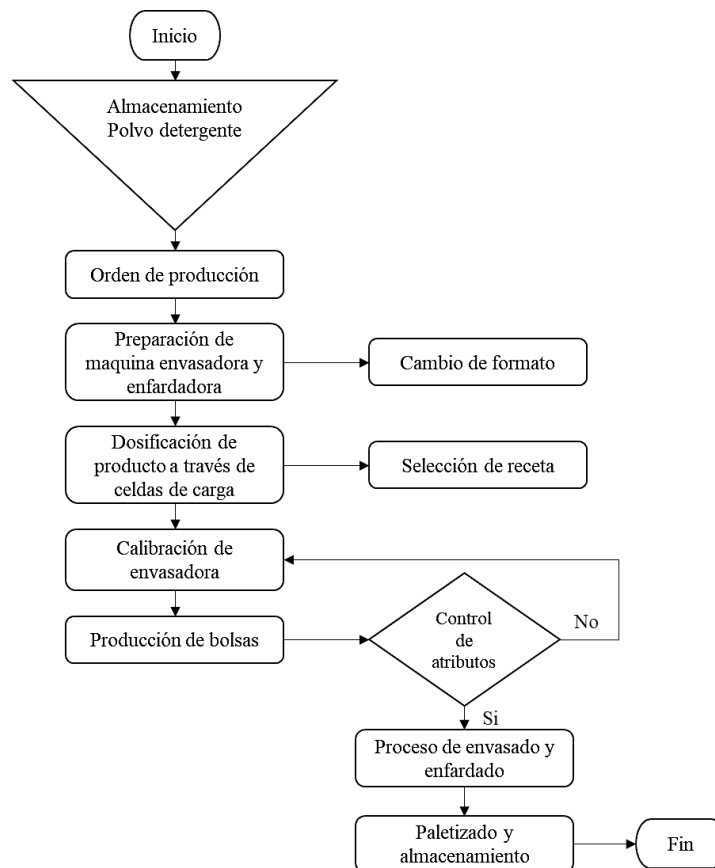


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de envasado

Para el periodo de estudio se tomaron datos históricos del segundo semestre de 2021, y el estudio de la implementación de la metodología DMAIC se empezó a implementar desde enero de 2022. Se definió 3 meses en implementar mejoras, capacitar al personal, y crear instructivos, por lo que recién a partir del mes de abril se empezaron a registrar datos que sirvan para el análisis, y de esta manera poder contrastar un antes y un después de la implementación.

El proyecto partió desde una investigación documental analizando información de proyectos que hayan implementado la metodología dentro de sus procesos de producción, y el impacto que tuvieron tras la implementación, así como también, conocer de experiencias de otros proyectos para no cometer errores que provoquen que el costo o tiempo de implementación aumenten por problemas inesperados.



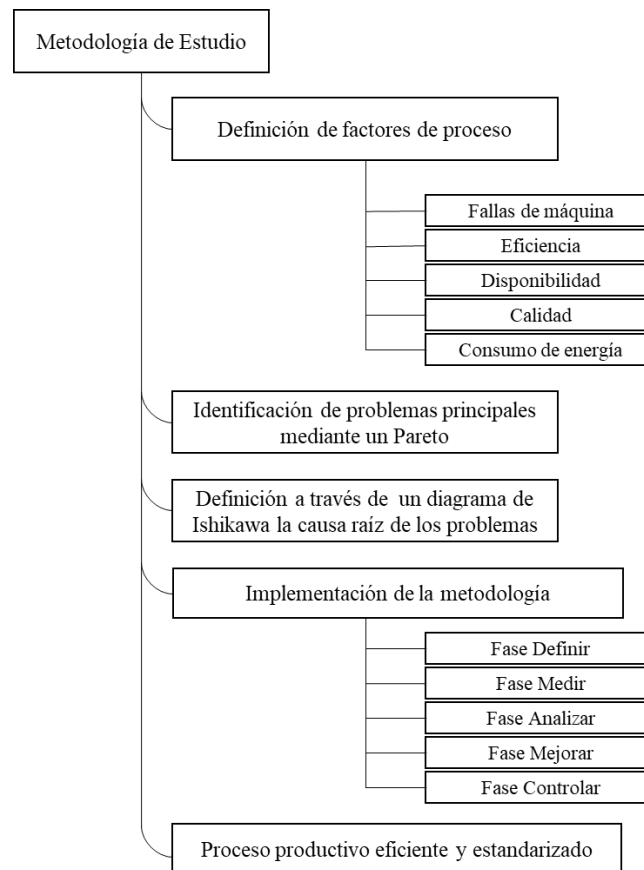


Figura 3. Procedimiento del método empleado

La investigación se llevó a cabo mediante un diseño experimental, ya que a lo largo de la investigación se iban corrigiendo condiciones y variables que modificaban los índices de eficiencia, disponibilidad y calidad. Según su enfoque, es de tipo Cuantitativo porque se analizaron datos de niveles de producción actuales y datos luego de la implementación de la metodología. Además, como se implementó la metodología DMAIC, ésta se sigue en fases, y cada fase cuenta con su propia herramienta o método para ser desarrollada. En la Figura 3 se muestra el método empleado dentro de la investigación.

Los indicadores son claves dentro de los procesos de fabricación para medir el desempeño del proceso, dentro del estudio se va a utilizar el OEE, el cual surge a partir de las siguientes formulas.

$$D = \frac{\textit{Tiempo operativo}}{\textit{Tiempo planificado de producción}} * 100 \quad (1)$$

$$E = \frac{\textit{Cantidad procesada} * \textit{Tiempo de ciclo}}{\textit{Tiempo operativo}} * 100 \quad (2)$$

$$Q = \frac{\textit{Cantidad de productos buenos}}{\textit{Cantidad total producida}} * 100 \quad (3)$$

$$OEE = D * E * Q \quad (4)$$

## 2.1. Fase Definir

Dentro de la fase Definir, se realizó un *Project Charter* o Carta de Proyecto donde se estableció los miembros del equipo, con ellos se definió como problema principal un bajo nivel de eficiencia y disponibilidad de la máquina, encontrándose actualmente con una eficiencia del 76.71 %, una disponibilidad del 81.40 %, y un OEE del 62.42 %. Al tomar como referencia los valores de OEE recomendados a nivel mundial, se planteó como meta mínima alcanzar un OEE del 72 % que se encuentra dentro del rango aceptable de producción, con este objetivo se pretende mejorar los niveles de producción y cumplir con el objetivo principal del proyecto que es reducir el costo de producción.

## 2.2. Fase Medir

### 2.2.1. Identificación de las métricas clave

En la fase medir se recolectan y procesan los datos que los operadores de máquina anotan en la hoja de ruta, en esta hoja anotan la hora de inicio y la hora de finalización de la producción, las fallas que se han suscitado en el transcurso del turno y cuánto tiempo se han demorado en cada una de las fallas registradas. Se registra también la cantidad de producción que la máquina ha realizado en el turno. Además, como un indicador adicional se empezó a registrar el consumo eléctrico de la máquina, con estos datos se realiza los cálculos de Disponibilidad, Eficiencia, Calidad, y el indicador global OEE.

### 2.2.2. Recopilación de datos

Todos los datos contenidos en la hoja de ruta son registrados diariamente por el auxiliar de producción en el sistema RPS que maneja la empresa, en este sistema se coteja la información del departamento de aseguramiento de calidad en cuanto a devoluciones o producto no conforme que afecte los registros de calidad. Para conocer la situación de la empresa antes de la implementación de mejoras se hizo una revisión de los registros de producción del segundo semestre de 2021. En la Figura 4 se muestra datos históricos de indicadores de producción correspondiente al segundo semestre de 2021, en esta se puede ver cómo debido a una baja eficiencia y disponibilidad de la máquina el OEE se ve afectado directamente.

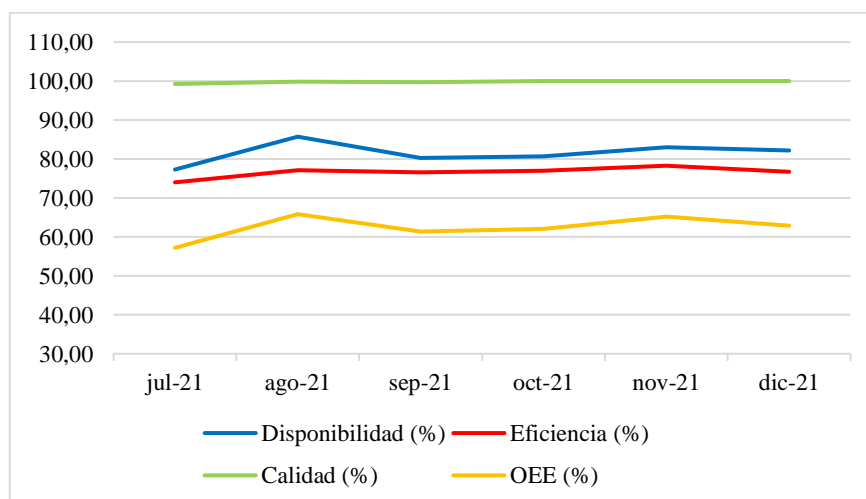


Figura 4. Tendencia de indicadores entre julio y diciembre de 2021

En cuanto al consumo de energía en la máquina, se instaló un dispositivo que mide en tiempo real el consumo eléctrico y registra en una hoja de cálculo para su posterior análisis. Dado que el consumo de energía de la máquina es un indicador nuevo que se implementó, este recién fue instalado en diciembre y empezó a adquirir datos a partir del mes de enero de 2022.

### 2.3. Fase Analizar

En esta etapa de la metodología se realizó un análisis de los datos históricos de fallas para conocer la causa raíz de los problemas que provocan una eficiencia y disponibilidad baja de la máquina. Para determinar los problemas más significativos se utilizó un diagrama de Pareto, el cual identificó el 20 % de problemas que se presentan el 80 % de las veces dentro del proceso, con esto se busca enfocar los esfuerzos en los problemas que más incidencia tengan y con lo que mejores resultados se obtenga al corregirlos.

En la Figura 5 se puede apreciar los principales problemas que registran los operadores en la hoja de ruta, mediante el diagrama de Pareto se identificó que 4 fallas son las más recurrentes, y son en las que se enfocaran los esfuerzos.

En la Tabla 1 se muestra los 4 problemas más significativos y su recurrencia en un turno de 24 horas.

Tabla 1. Problemas significativos

Problemas	Frecuencia (min)
Falla mecánica Envasadora	186
Cambio de formato envasadora	105
Calibración de envasadora (parametrización)	85
Falla mecánica/eléctrica dosificador	71

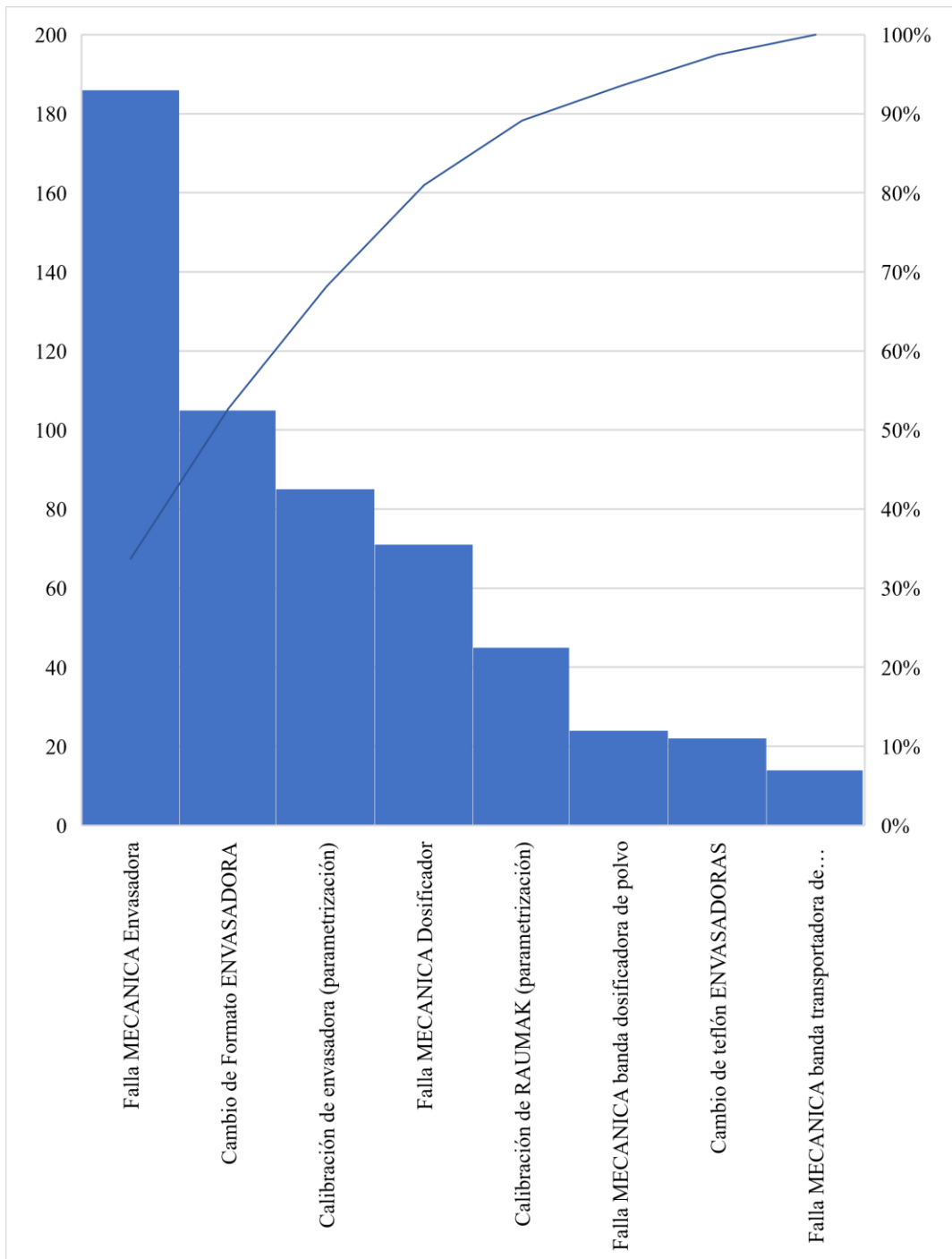


Figura 5. Diagrama de Pareto de fallas registradas

Una vez definido los problemas principales, el equipo de implementación se reunió para mediante una lluvia de ideas elaborar un diagrama de Ishikawa donde se conocieron las causas subyacentes que pueden influir en el problema principal.

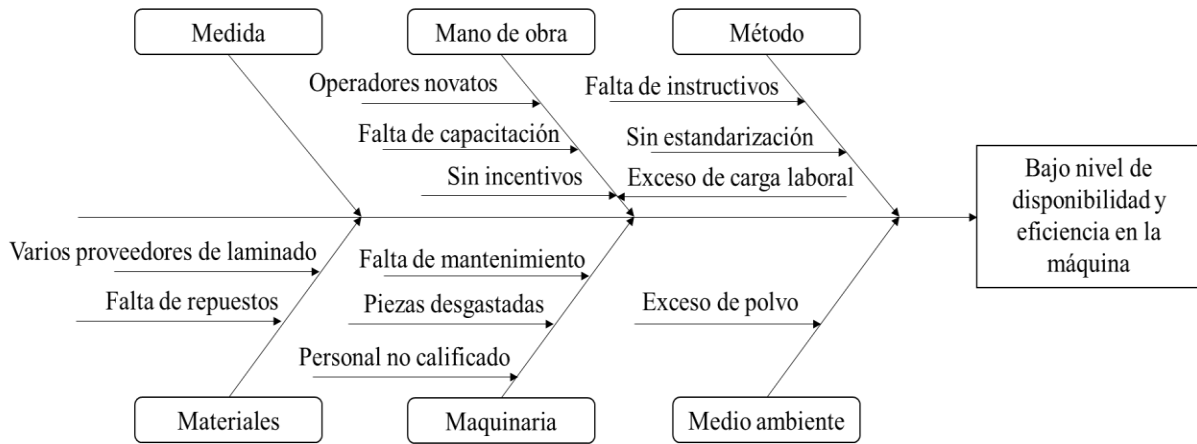


Figura 6. Diagrama de Ishikawa del problema principal

Luego de analizar el diagrama de Pareto de la Figura 5 y el diagrama de Ishikawa de la Figura 6, el equipo de trabajo en conjunto definió que la causa principal de un bajo nivel de disponibilidad y eficiencia en la máquina es producto de operadores que no han sido capacitados para operar adecuadamente la máquina envasadora y dosificadora de producto, y que su falta de conocimiento provoca averías en la máquina, aparte también influye la falta de estandarización y la falta de repuestos.

En cuanto al análisis de consumo de energía se concluyó que la máquina en operación normal consume en promedio 14.6 kW·h en un turno de 24 horas, además, se determinó que por falta de limpieza y mantenimiento del plato vibrador de la máquina dosificadora, el consumo de energía puede llegar a incrementarse hasta en un 20 %, esto debido a que en las paredes del plato vibrador se acumula polvo detergente provocando que sea necesario incrementar el nivel de intensidad de vibración con lo que se aumenta el consumo de energía.

En la Figura 7 se muestra datos de consumo de energía que fueron recopilados luego de una limpieza y calibración de la máquina dosificadora, en esta se puede notar claramente como el consumo de energía va incrementándose conforme las semanas van pasando, esto debido a que al generarse un colchón de producto pegado en el plato vibrador se debe incrementar el nivel de vibración para que el producto siga cayendo en la misma cantidad.

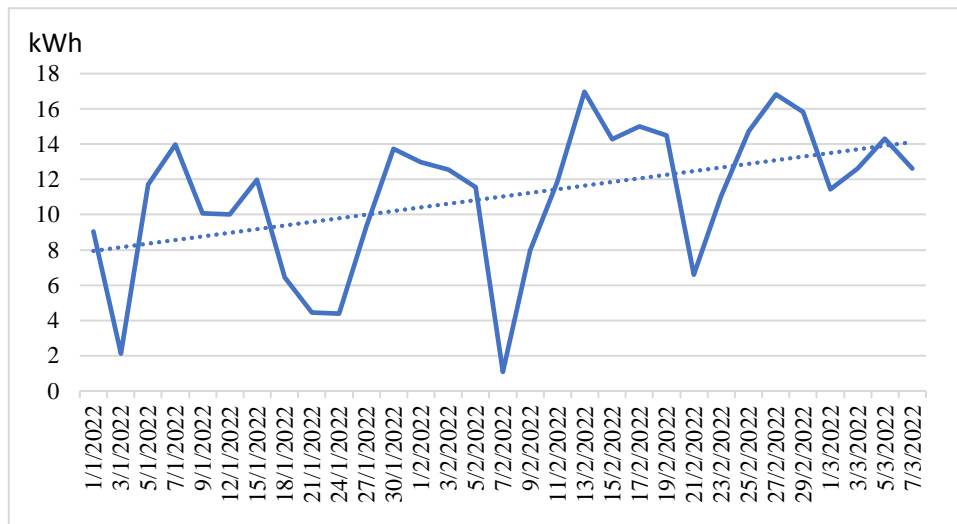


Figura 7. Análisis de consumo de energía de la línea de producción

## 2.4. Fase Mejorar

En esta fase se definió un plan de acción en base al análisis de fallas y a los problemas significativos arrojados por el diagrama de Pareto y el diagrama de Ishikawa de la fase anterior. Para esto el equipo de trabajo multidisciplinario mediante una lluvia de ideas y un consenso entre todas las áreas involucradas acordó efectuar un conjunto de acciones.

### 2.4.1. Plan de acción de mejoras

En la Tabla 2 se muestra las acciones que el equipo de implementación definió con el objetivo de eliminar o minimizar los problemas detectados en fases anteriores.

Tabla 2. Plan de acción de mejoras

<b>Actividades</b>	<b>Dep. responsable</b>	<b>Prioridad</b>
- Capacitación a operadores	Producción- Mantenimiento	Inmediata
- Estandarizar parámetros de operación	Producción	Inmediata
- Crear instructivos de operación	Producción	Corto plazo
- Implementar Poka-Yoke para cambios de formato	Mantenimiento	Corto plazo
- Capacitar en SMED	Producción	Corto plazo
- Implementar 5S	Producción-Calidad	Mediano plazo
- Capacitar e implementar en mantenimiento productivo total	Mantenimiento	Mediano plazo
- Definir un plan de calibración y limpieza de máquina	Mantenimiento	Inmediata
- Levantar un stock de repuestos	Mantenimiento	Corto plazo
- Gestionar mantenimientos preventivos y correctivos	Mantenimiento	Inmediata

Ciertas acciones son de prioridad inmediata, y otros que son un poco más complejos de implementar se dio una prioridad de mediano plazo, definiéndose mediano plazo un periodo de 3 meses, se da este periodo porque tomó 3 meses implementar la metodología DMAIC, y a partir del cuarto mes se empezó a recopilar información con la que se contrastó el nivel en el que mejoró el proceso.

### 2.4.2. Capacitación a Operadores

Del análisis de la sección anterior y de encuestas a los operadores se concluyó que una de las principales falencias de bajos niveles de producción y de disponibilidad de la máquina se debe a que existe personal operando las máquinas con un mínimo de experiencia y que no ha sido capacitada técnicamente para que pueda efectuar su trabajo adecuadamente. Es por esto que se levantó un temario que se muestra en la

Tabla 3 para solventar esos déficits de conocimientos de los operadores que los lleva a cometer errores de operación.

Tabla 3. Temas de Capacitación a Operadores

<b>Temas a impartir</b>	<b>Duración</b>
Introducción a conocimientos fundamentales	
<ul style="list-style-type: none"> <li>· Electricidad</li> <li>· Neumática</li> <li>· Sensores y Actuadores</li> <li>· Servomotores</li> <li>· Variadores de Frecuencia</li> </ul>	10 horas
Neumática aplicada al área de envasado	
<ul style="list-style-type: none"> <li>· Revisión de instrumentos neumáticos</li> <li>· Ejercicios Prácticos con FESTO</li> </ul>	12 horas
FluidSIM	
<ul style="list-style-type: none"> <li>· Evaluación de conocimientos</li> </ul>	
Sensores y Actuadores utilizados en el área de envasado	
<ul style="list-style-type: none"> <li>· Funcionamiento</li> <li>· Posibles fallas</li> <li>· Evaluación</li> </ul>	6 horas
Generalidades Envasadora Bosch SVB 2510	
<ul style="list-style-type: none"> <li>· Obligaciones del Operador</li> <li>· Termosellado               <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Temperatura</li> <li>2. Tiempo de sellado</li> <li>3. Presión de sellado</li> </ol> </li> <li>· Tracción de correas               <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Velocidad de correas</li> <li>2. Tiempo de correas</li> <li>3. Retardo tiempo correas</li> </ol> </li> <li>· Ciclo de máquina</li> <li>· Tiempo de caída de polvo</li> <li>· Cuchilla</li> <li>· Cambio de Formato</li> <li>· Fotocelda</li> <li>· Recomendaciones</li> <li>· Evaluación</li> </ul>	12 horas
Dosificador multi-balanzas Yamato	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Explicación de componentes</li> <li>- Seteo de parámetros</li> <li>- Errores comunes</li> <li>- Evaluación</li> </ul>	8 horas

### 2.4.3. Estandarización de parámetros de operación

La máquina envasadora como la dosificadora cuenta con varios parámetros a los que pueden acceder los operadores, resultando a veces confusos porque ciertos parámetros se relacionan con otros. Entonces, en plan de capacitación se les enseñó una operación correcta de la máquina, pero además se establecieron parámetros con rangos mínimos y máximos que el operador puede configurar sin que la máquina sufra alguna falla.

Instructivos de operación

Con el objetivo de mejorar los niveles de eficiencia y disponibilidad de la máquina teniendo operadores técnicamente capacitados se crearon instructivos de cambio de formato, de cambio de bobina, y de operación tanto de la máquina envasadora como de la dosificadora. Se genera con esto una fuente de conocimiento para los operadores antiguos y para que operadores nuevos tengan herramientas que les permitan aprender con mayor facilidad la operación.

### 2.4.4. Poka-Yoke para cambios de formato

El objetivo de implementar Poka-yokes consistió en reducir el tiempo en el cual los operadores se demoran en cambiar de formato y poner en producción la máquina. Se colocó un poka-yoke para centrar el formador con la mordaza, uno para centrar la bobina, uno para la entrada del ángulo de lámina, para la ubicación de la codificación, y para el centrado de corte de la bolsa.

### 2.4.5. Capacitación en SMED

Esta capacitación consistió en enseñar a los operadores el cambio eficiente de producto o de formato, esto está apalancado con los instructivos y los poka-yokes implementados en la máquina se logró reducir considerablemente el tiempo de cambio de formato que era donde más tiempo se perdía. En la Tabla 4 se observa las mejoras en cuanto a cambio de formato.

Tabla 4. Eficiencia de cambio de formato

Presentación	Cambio de formato (min)	Estándar (min)	Eficiencia (%)	
			Antes	Ahora
200 gr	45	25	55,56	83,33
480 gr	68	30	44,12	81,08
1000 gr	85	40	47,06	88,89

### 2.4.6. Implementación 5S

Esta herramienta se había implementado anteriormente en el área, pero no tuvo continuidad, dado que el personal ya tenía nociones se reforzaron los conocimientos y se retomó con más fuerza y realizando controles por parte del departamento de calidad. Para no cargar y confundir



al personal esta implementación se realizó desde el mes de febrero de 2022 y se dividió como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Implementación de 5S

<b>S</b>	<b>Definición</b>	<b>Implementación</b>
Seiri	Solo lo necesario	Semana 1
Seiton	Orden	Semana 2
Seiso	Limpieza	Semana 2
	Estandarizar-	
Seiketsu	Seguridad	Semana 3
Shitsuke	Disciplina	Semana 4

#### 2.4.7. Definición de un plan de calibración y limpieza de máquina

Esto fue enfocado principalmente a la máquina dosificadora ya que al utilizar por un periodo prolongado sin calibración y limpieza se corre el riesgo de tener fallas en los pesos, la velocidad de dosificación disminuye, se dañan las tolvas de alimentación y pesado, y el consumo de energía eléctrica aumenta. En la Tabla 6 se muestra como quedo definido el tiempo para cada actividad para una operación normal.

Tabla 6. Periodos de limpieza y calibración

<b>Actividad</b>	<b>Máquina</b>	<b>Periodo</b>
Calibración de mordaza	Envasadora	6 meses
Calibración freno de bobina	Envasadora	6 meses
Limpieza de tolvas y plato vibrador	Dosificadora	3 semanas
Calibración de balanzas	Dosificadora	2 meses
Calibración de mecanismos de tolvas	Dosificadora	2 meses
Limpieza interna de formato	Envasadora	1 mes
Limpieza de correas	Envasadora	Diariamente

#### 2.4.8. Levantar un stock de repuestos

En base al registro de fallas el departamento de mantenimiento levanto un listado de piezas que debe mantener en stock ya que en el pasado se dio casos en los que no existía piezas y la maquina debía estar sin funcionar hasta que importen el repuesto o manden a fabricar, con las jefaturas se decidió realizar una inversión importante para realizar un reacondicionamiento

completo a la máquina y prolongar la vida útil disminuyendo la frecuencia con la que suceden fallas por causa del desgaste a causa de la operación, más aún cuando la máquina no ha sido intervenida profundamente desde que fue adquirida en 2016.

## 2.5.Fase Controlar

En esta fase se implementó un tablero donde se muestre la eficiencia, disponibilidad, calidad, y OEE de la máquina. Esta información es cargada diariamente para que los operadores sepan si están realizando un buen trabajo o tienen que esforzarse en mejorar. Además, en este tablero hay un check list del área, en donde se evalúa la limpieza del área, de la máquina, que no haya objetos ajenos al área y que las cosas estén en orden para cumplir con las 5S.

Con el objetivo que las mejoras perduren en el tiempo se definió realizar reuniones mensuales para evaluar el comportamiento de las mejoras implementadas, y brindar capacitaciones cada 6 meses a los operadores para refrescar conocimientos.

## 3. Resultados

Dado que aumentar los niveles de producción y disminuir los desperdicios están directamente relacionados con la reducción del costo de producción, la metodología se centró en atacar todo aquello que generaba desperdicio, que no permitía tener operativa la máquina, y que aumentaba los consumos de energía.

### 3.1. Consumo de energía

Del análisis de consumo de energía se determinó que, a causa de una falta de limpieza de los componentes de la máquina dosificadora, en especial el plato vibrador, el consumo de energía puede incrementarse en un 20 %, en la Figura 7 se puede apreciar como el consumo va incrementando conforme pasan las semanas, por tal motivo se estableció un periodo de limpieza de máximo 3 semanas.

Tabla 7. Consumo de energía fines de semana

<b>Promedio consumo hora sin producción (kW)</b>	<b>Horas libres fin de semana</b>	<b>Consumo fin de semana (kW)</b>
0,26	40	10,4

Otro punto donde se pudo ahorrar energía fue desconectando las resistencias de calentamiento de los sellados horizontal y vertical que son uno de los elementos que más consumen energía cuando la máquina no se encuentra operando, en la Tabla 7 se muestra el consumo promedio de la máquina cuando no se encuentra produciendo, y la horas que pasan hasta que la máquina vuelve a producir los días lunes, con esta acción se pudo ahorrar en promedio 10.4 kW cada fin de semana.

### 3.2. Desperdicios de tiempo y laminado

Luego de implementar poka-yokes, SMED, y estandarización de parámetros de operación, el cambio de formato que antes de la implementación bordeaba los 55 minutos luego de la implementación paso a estar alrededor de 34 minutos, es decir, se obtuvo una disminución de aproximadamente 21 minutos en cada cambio de formato con lo que la disponibilidad subió 7.32 %.

Además de la disminución significativa de tiempo también se tuvo una disminución de laminado de alrededor de 2.5 kilos por cada cambio de formato. Esto debido a que al calibrar más rápido y en conjunto todos los parámetros mecánicos y de operación de la máquina, el operador pone a punto más rápido la máquina y no desperdicia laminado.

### 3.3. Disponibilidad, eficiencia, calidad

Con las mejoras implementadas en los 3 primeros meses de 2022 se empezó a notar cambios favorables, pero se contrastó con datos recopilados desde abril hasta agosto de 2022 para

verificar en qué medida la implementación de mejoras contribuyó a los niveles de disponibilidad, eficiencia, calidad, y por ende del OEE.

En la Tabla 8 se observa como a partir de implementar mejoras en la línea de producción intervenida los índices de disponibilidad y eficiencia mejoraron significativamente.

Tabla 8. Indicadores de productividad luego de implementar mejoras

	<b>Disponibilidad (%)</b>	<b>Eficiencia (%)</b>	<b>Calidad (%)</b>	<b>OEE (%)</b>
abr-22	87,20	86,06	100,00	75,04
may-22	88,61	88,21	99,82	78,02
jun-22	88,49	87,52	100,00	77,45
jul-22	89,76	87,03	99,23	77,52
ago-22	90,15	89,08	99,48	79,89

En la Figura 8 se observa los indicadores de productividad de manera grafica luego de haber sido implementadas las mejoras en el proceso, como fueron capacitación a los operadores, implementación de 5S, creación de instructivos de operación, implementación de poka-yokes, y capacitación en SMED. Se había puesto como meta alcanzar un OEE de al menos el 72 % .

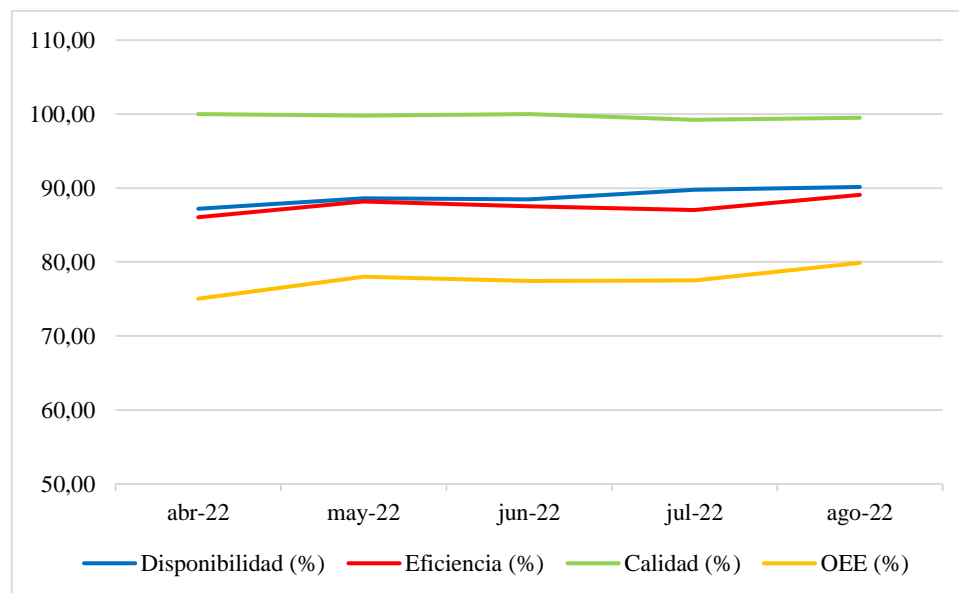


Figura 8. Indicadores de productividad luego de las mejoras

Como se muestra en la Tabla 9 se superó el objetivo que fue planteado por un poco más de 5 puntos, alcanzando el 77,58 % .

Tabla 9. Promedio de indicadores de abril a agosto de 2022

Disponibilidad (%)	Eficiencia (%)	Calidad (%)	OEE (%)
88,84	87,58	99,71	77,58

En la Figura 9 se puede observar todo el esfuerzo que hizo el equipo de implementación para mejorar los niveles de Disponibilidad, Eficiencia, Calidad, con el objetivo de mejorar el resultado global que es el OEE con 5 % más de la meta planeada.

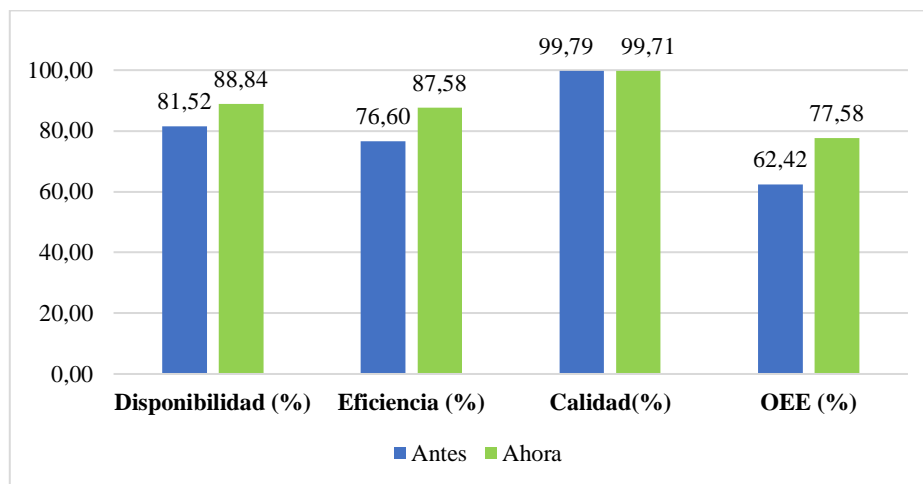


Figura 9. Contraste de indicadores antes y después de la mejora

### 3.4. Costo de producción

Por políticas internas de confidencialidad no se puede divulgar exactamente el valor de costo de producción, pero si un aproximado, entonces se dice que producir una bolsa de 480 gr de polvo detergente antes de la implementación de la metodología DMAIC costaba USD 0,425 incluyendo horas hombre, horas máquina, materiales, y demás rubros.

Tabla 10. Costos de producción de unidades

Costo unitario USD	Costo antes USD	Costo actual USD	Ahorro USD
0,425	0,524	0,478	0,046

En la Tabla 10 se muestra los costos de producción en donde se evidencia que debido a una baja eficiencia y disponibilidad de la máquina el costo de producción se elevaba, llegando a USD 0,524 por cada funda de detergente, dejando a la empresa un margen de utilidad pequeño. Luego de la implementación de la metodología el costo bajo a USD 0,478, representando un ahorro de USD 0,046 en comparación al costo antes de la implementación. Con los índices actuales de disponibilidad y eficiencia de la máquina, se logró un ahorro mensual de USD 71 442,05.

## 4. Conclusiones

La implementación de la metodología DMAIC en la línea de producción número 4 del área de envasado de polvo detergente resulto efectiva tal como se esperaba luego de haber revisado artículos donde la implementación tenía resultados favorables.

Se implemento un indicador de consumo de energía que permitió crear planes de mantenimiento y limpieza que permitan reducir el consumo de energía, mediante este indicador se descubrió que por falta de limpieza de los platos vibradores de la máquina dosificadora a causa de una acumulación de producto en las paredes del mismo, la intensidad de vibración incrementa traduciéndose en un incremento de alrededor del 20 % de consumo de energía eléctrica.

Dentro de la fase mejorar se implementaron varias herramientas de calidad como son las 5S, poka-yokes, SMED, estandarización de parámetros de operación, instructivos, y capacitación a los operadores, todo esto en conjunto contribuyo a que el proceso productivo mejore y se eliminen o minimicen los problemas detectados en la línea de producción. Es así que como se muestra en la Figura 9 la disponibilidad paso de 81,52 % a 88,84 %, la eficiencia paso de 76,60 % a 87,58 %, la calidad se mantuvo, y el OEE paso de 62,42 % a 77,58 %, estando un 5 % por encima de la meta que fue trazada antes de empezar la implementación.

Con el incremento de la eficiencia en la operación de la máquina, y teniendo una disponibilidad mayor al corregir los problemas que aquejaban a la línea, se logró el objetivo principal del proyecto el cual era a través de la implementación de la metodología DMAIC disminuir el costo de producción, se logró reducir USD 0,046 por cada funda producida, resultando un ahorro de USD 71 442,05.

Para continuar con la filosofía de la mejora continua se debe contratar operadores con formación técnica especializada que tengan la capacidad de resolver aquellos problemas que necesitan un análisis más profundo, o a su vez contratar un supervisor que sea especializado en el manejo y operación adecuada de las máquinas, ya que los operadores actuales a pesar de haber sido capacitados carecen de instrucción técnica.

## 5. Referencias

- [1] C. Castro, Z. Castañeda, K. R. Ruiz, G. González, y G. Poveda, “El sector florícola ecuatoriano y su afectación en el mercado internacional producto de la pandemia causada por el Covid-19”, en *congreso internacional virtual sobre covid-19. Consecuencias psicológicas, sociales, políticas y económicas*, 2020, pp. 53–65.
- [2] L. J. D. D. Villar Zamora, “Uso de sistemas expertos en el ciclo de carguío y acarreo y su influencia en el proceso de mejora continua y gestión de costos operativos”, 2020.
- [3] S. Krishna Priya, V. Jayakumar, y S. Suresh Kumar, “Defect analysis and lean six sigma implementation experience in an automotive assembly line”, *Mater Today Proc*, vol. 22, pp. 948–958, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.11.139>.
- [4] O. M. Ikumapayi, E. T. Akinlabi, F. M. Mwema, y O. S. Ogbonna, “Six sigma versus lean manufacturing – An overview”, *Mater Today Proc*, vol. 26, pp. 3275–3281, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.986>.
- [5] D. Skalli, A. Charkaoui, y A. Cherrafi, “Assessing interactions between Lean Six-Sigma, Circular Economy and industry 4.0: toward an integrated perspective”, *IFAC-PapersOnLine*, vol. 55, núm. 10, pp. 3112–3117, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.10.207>.
- [6] A. U. Abhijit y S. v Pillai, “Sustainable practises in lean manufacturing: a critical review”, *International Journal of Management Studies*, vol. 5, núm. 1–2, pp. 1–12, 2018.
- [7] A. Jamwal, S. M. T. I. Nayim, R. K. Shukla, R. Agrawal, y S. Gupta, “Assessment of barriers in lead time improvement: an exploratory study of electronics manufacturing companies in Himachal Pradesh (India)”, *International Journal of Business and Systems Research*, vol. 15, núm. 2, pp. 182–199, 2021.
- [8] D. H. Stamatis, *Six Sigma and Beyond: Design for Six Sigma, Volume VI*. CRC Press, 2002.
- [9] P. Guleria, A. Pathania, R. K. Shukla, y S. Sharma, “Lean six-sigma: Panacea to reduce rejection in gear manufacturing industry”, *Mater Today Proc*, vol. 46, pp. 4040–4046, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.559>.
- [10] M. Smętkowska y B. Mrugalska, “Using Six Sigma DMAIC to Improve the Quality of the Production Process: A Case Study”, *Procedia Soc Behav Sci*, vol. 238, pp. 590–596, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2018.04.039>.
- [11] R. Edwin Joseph *et al.*, “Analysis on productivity improvement, using lean manufacturing concept”, *Mater Today Proc*, vol. 45, pp. 7176–7182, ene. 2021, doi: [10.1016/J.MATPR.2021.02.412](https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2021.02.412).
- [12] N. Nandakumar, P. G. Saleeshya, y P. Harikumar, “Bottleneck Identification And Process Improvement By Lean Six Sigma DMAIC Methodology”, *Mater Today Proc*, vol. 24, pp. 1217–1224, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.436>.
- [13] T. A. Saurin, J. L. D. Ribeiro, y G. Vidor, “A framework for assessing poka-yoke devices”, *J Manuf Syst*, vol. 31, núm. 3, pp. 358–366, 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2012.04.001>.
- [14] G. F. I. Toki *et al.*, “Single Minute Exchange Die (SMED): A sustainable and well-timed approach for Bangladeshi garments industry”, *Clean Eng Technol*, vol. 12, p. 100592, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100592>.
- [15] K. M. Senthil Kumar, K. Akila, K. K. Arun, S. Prabhu, y C. Selvakumar, “Implementation of 5S practices in a small-scale manufacturing industries”, *Mater Today Proc*, vol. 62, pp. 1913–1916, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.402>.

- [16] P. Guleria, A. Pathania, H. Bhatti, K. Rojhe, y D. Mahto, “Leveraging Lean Six Sigma: Reducing defects and rejections in filter manufacturing industry”, *Mater Today Proc*, vol. 46, pp. 8532–8539, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.03.535>.
- [17] S. N. Dinesh, M. Shalini, M. Vijay, R. C. Vijey Mohan, R. Saminathan, y R. Subbiah, “Improving the productivity in carton manufacturing industry using value stream mapping (VSM)”, *Mater Today Proc*, vol. 66, pp. 1221–1227, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.05.015>.
- [18] M. Kharub, B. Ruchitha, S. Hariharan, y N. Shanmukha Vamsi, “Profit enhancement for small, medium scale enterprises using Lean Six Sigma”, *Mater Today Proc*, vol. 56, pp. 2591–2595, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.159>.
- [19] K. Antosz, M. Jasiulewicz-Kaczmarek, R. Waszkowski, y J. Machado, “Application of Lean Six Sigma for sustainable maintenance: case study”, *IFAC-PapersOnLine*, vol. 55, núm. 19, pp. 181–186, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.204>.
- [20] P. Thakur, R. Kumar, S. Kumar, A. Pathania, y B. Goel, “Analysis and optimization of properties of paint materials for reduction of paint defects in agro products”, *Mater Today Proc*, vol. 45, pp. 5617–5623, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.349>.
- [21] I. Daniyan, A. Adeodu, K. Mpofo, R. Maladzhi, y M. G. Kana-Kana Katumba, “Application of lean Six Sigma methodology using DMAIC approach for the improvement of bogie assembly process in the railcar industry”, *Heliyon*, vol. 8, núm. 3, p. e09043, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09043>.
- [22] N. O. Erdil, C. B. Aktas, y O. M. Arani, “Embedding sustainability in lean six sigma efforts”, *J Clean Prod*, vol. 198, pp. 520–529, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.048>.
- [23] C. L. Vásquez Stanescu, A. G. Carillo Ozal, M. E. Tona Castillo, M. V. Galíndez Jimenez, K. A. Macias Camacaro, y C. Esposito de Díaz, “Sistema de gestión energética y ambiental de Productos Alimex CA”, *Suma de Negocios*, vol. 8, núm. 18, pp. 115–121, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.sumneg.2017.11.003>.
- [24] V. MERCADO y J. B. PEÑA, “Modelo de gestión de mantenimiento enfocado en la eficiencia y optimización de la energía eléctrica”, *Saber*, vol. 28, scielon, pp. 99–105, 2016.
- [25] E. Guitérrez y I. Trejo, “Efecto del cambio climático en la distribución potencial de cinco especies arbóreas de bosque templado en México”, *Rev Mex Biodivers*, vol. 85, núm. 1, pp. 179–188, 2014, doi: <https://doi.org/10.7550/rmb.37737>.
- [26] N. Ghaddar y T. Mezher, “Modeling of current and future energyintensity and greenhouse gas emissions ofthe Lebanese industrial sector: assessmentof mitigation options”, *Appl Energy*, vol. 63, núm. 1, pp. 53–74, 1999, doi: [https://doi.org/10.1016/S0306-2619\(99\)00018-5](https://doi.org/10.1016/S0306-2619(99)00018-5).
- [27] P. Thollander, M. Karlsson, M. Söderström, y D. Creutz, “Reducing industrial energy costs through energy-efficiency measures in a liberalized European electricity market: case study of a Swedish iron foundry”, *Appl Energy*, vol. 81, núm. 2, pp. 115–126, 2005, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2004.07.006>.
- [28] A. Aranda-Usón, G. Ferreira, M. D. Mainar-Toledo, S. Scarpellini, y E. Llera Sastresa, “Energy consumption analysis of Spanish food and drink, textile, chemical and non-metallic mineral products sectors”, *Energy*, vol. 42, núm. 1, pp. 477–485, 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.03.021>.
- [29] T. Dunn, “8 - OEE Effectiveness”, en *Flexible Packaging*, T. Dunn, Ed. Oxford: William Andrew Publishing, 2015, pp. 77–85. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-26436-5.00008-4>.



- [30] P. J. López Abad, *Cambia la energía, cambia el clima. Cambio climático y su impacto en el sector energético*. 2016. doi: 10.13140/RG.2.2.10284.62085.