



POSGRADOS

Maestría en PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES

RPC-SO-30-No.506-2019

Opción de
titulación: PROPUESTA METODOLÓGICA Y TECNOLOGÍA
AVANZADA

TEMA :
PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN PARA INCREMENTAR LA EFICIENCIA
OPERATIVA DE LA PLANTA DE ENVASES EN SAN
MIGUEL INDUSTRIAS PET ECUADOR, MEDIANTE UN
MODELO DE GESTIÓN DE MEJORA CONTINUA.

AUTOR :
PEDRO EDUARDO QUEZADA OREJUELA

DIRECTOR :
MSC. TANIA CATALINA ROJAS PARRAGA

Guayaquil - Ecuador
2021

Autor:



Pedro Eduardo Quezada Orejuela
Ingeniero Industrial
Candidato a Magister en Producción y Operaciones Industriales
quezadaorejuela2006@hotmail.com/pquezadao1@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Tania Catalina Rojas Párraga
Ingeniera Industrial
Máster en Gestión de la Productividad y la Calidad
Directora Maestría en Producción y Operaciones Industriales
Universidad Politécnica Salesiana
trojas@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

©2021 Universidad Politécnica Salesiana.

GUAYAQUIL – ECUADOR – SUDAMÉRICA

QUEZADA OREJUELA PEDRO EDUARDO

Propuesta de optimización de los procesos de fabricación para incrementar la eficiencia operativa de la planta de envases en San Miguel Industrias PET Ecuador, mediante un modelo de gestión de mejora continua.

Agradecimiento

Expreso mi más profundo agradecimientos a Dios todo poderoso por darme la vida y permitirme cumplir con mis objetivos.

A mis padres Victor y Maria y mi hermana Mary Elisa quienes han estado a mi lado, brindándonos su apoyo incondicional, tranquilidad y fuerza en todo momento.

Al Ing. Eduardo Jared Suarez, Gerente de producción de San Miguel Industrial por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo de investigación en su organización.

A la Ing. Tania Rojas por apoyo desinteresado e incondicional para la culminación de este trabajo de grado.

A la Universidad Politécnica Salesiana por la enseñanza brindada a lo largo de estos 2 años de carrera de postgrado, los cuales han representado un valor importante en mi carrera.

Dedicatoria

Con todo mi corazón a mi amada esposa Rocio, mi compañera de toda la vida y a mi hija Normita el regalo más grande que la vida me ha dado, sin el apoyo de ellas nada de esto hubiera sido posible.

Declaratoria de responsabilidad

La responsabilidad por las investigaciones realizadas, recolección de datos, resultados, interpretación y conclusiones corresponden exclusivamente al autor del presente trabajo.

.....

QUEZADA OREJUELA PEDRO EDUARDO

C.I.: 092238580-2

Índice general

INTRODUCCIÓN	1
1.1 Justificación	7
1.2. Objetivo General.	7
1.2.1 Objetivos específicos:	8
CAPITULO II	9
MARCO TEÓRICO	9
2.1. Gemba kaizen.	11
2.2. La reingeniería de procesos.	12
2.3. Justo a tiempo.	13
2.4. Norma ISO 9001 Sistemas de Gestión de la Calidad.	13
2.5. Seis sigma.	14
2.6. Ciclo PDCA.	17
2.7. Relación entre el modelo DMAIC y el modelo PDCA.	18
2.8. Identificación de 7 desperdicios.	19
2.9. La manufactura esbelta.	20
2.10. El método de las 5S.	22
2.11. SMED Single Minute Exchange of Die (Cambiar de series en un dígito de minuto).	24
2.12. TPM Total Productive Maintenance.	25
2.13. Kanban.	26
2.14. Taichi Ohno.	27
2.15. Shigeo Shingo.	28
2.16. La TOC (Teoría de las restricciones).	28
2.17. VSM, Value Stream Mapping.	29

CAPÍTULO III.....	36
MÉTODOS Y TÉCNICA DE INVESTIGACIÓN	36
3.1. Tipo, diseño y nivel de investigación	36
Para este estudio se utilizarán los siguientes tipos de investigación:.....	36
3.1.1. Exploratoria.....	36
3.1.2. Descriptiva.....	36
3.2. Método de investigación.....	37
3.3. Determinación de la muestra	37
3.4. Instrumentos de investigación	38
3.5. Tratamiento de la Información.....	38
CAPÍTULO IV	41
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	41
4.1. Fase de definir.....	41
4.1.1. Diseño del mapa de la cadena de valor del proceso de producción de envases PET..	42
4.1.2. Flujo de materiales desde el cliente.....	42
4.1.2.1. Operaciones.....	42
4.1.2.2. Flujo de la información.....	43
4.1.2.3. Cálculo del takt time.....	43
4.2. Fase de medir.....	45
4.2.1. Prueba de normalidad.....	46
4.2.2. Índice de capacidad de proceso de la eficiencia operativa.....	48
4.3. Fase de analizar.....	50
4.3.1. Simulación de resultado de eficiencia por línea.....	56
4.3.2. Diagrama de Pareto de los problemas de equipos.....	58
4.3.3. Diagrama de causa–efecto.....	59

4.3.4. Diagrama de árbol.	60
4.3.4.1. Averías.	61
4.3.4.2. Ajustes de proceso.	62
4.3.4.3. Cambios de formato o referencia.	63
4.4. Fase de implementar/mejorar.	67
4.5. Fase de controlar.	70
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	71
5.1. Conclusiones.	71
5.2. Recomendaciones.	72
Referencias (bibliografía)	73
Anexo 1	77
Comportamiento de la eficiencia operativa de la planta de producción de envases, correspondiente a los meses: octubre, noviembre y diciembre del año 2020.....	77
Anexo 2	78
Tabla de cálculo para el nivel del sigma.	78

Índice de figuras

Figura 1. Ubicación geográfica de la empresa SMI.....	3
Figura 2. Distribución de personal por área en SMI.....	4
Figura 3. Layout de planta de producción.	5
Figura 4. Evolución de la eficiencia operativa en la planta de soplado de SMI.	6
Figura 5. Modelo de mejora continua del sistema de gestión de calidad ISO 9001.....	14
Figura 6. Niveles seis sigma en procesos.....	15
Figura 7. Despliegue de actividades realizadas durante la aplicación del modelo DMAIC.....	17
Figura 8. Modelo PDCA.....	18
Figura 9. Comparación entre los modelos DMAIC y PDCA.	19
Figura 10. Identificación de los 7 desperdicios.	20
Figura 11. Casa de la manufactura esbelta de acuerdo con el modelo Toyota.	21
Figura 12. Modelo de las 5S.....	24
Figura 13. Pilares del TPM.....	26
Figura 14. Mapa de la cadena de valor VSM del proceso de producción de envases.	44
Figura 15. Prueba de normalidad eficiencia operativa planta de soplado.....	46
Figura 16. Informe de resumen de eficiencia operativa planta de soplado.....	47
Figura 17. Análisis de capacidad de procesos de la eficiencia operativa de la planta de soplado.....	49
Figura 18. Comportamiento de eficiencia por línea planta de soplado 2020.....	50
Figura 19. Porcentaje de participación de la capacidad de producción por línea planta de soplado.	52
Figura 20. Grafica de caja de eficiencia operativa por línea.....	54
Figura 21. Grafica de variación de eficiencia por líneas.	54
Figura 22. Grafica de simulación de eficiencia operativa.....	57
Figura 23. Diagrama de Pareto de parada de línea 4.	58
Figura 24. Diagrama de causa y efecto de los problemas detectados en la línea 4.	60
Figura 25. Diagrama de árbol de paradas de línea 4.....	61
Figura 26. Diagrama de Pareto de frecuencia de paradas en línea 4.	62
Figura 27. Grafica de caja tiempos de cambio de formato.	64
Figura 28. Histograma de cambio de formato en línea 4.....	65

Índice de tablas

Tabla 1. DPMO por nivel de sigma	15
Tabla 2 Definición de la simbología utilizada para el mapeo de la cadena de valor	33
Tabla 3. Metodología del modelo DMAIC.....	40
Tabla 4. Diagrama SIPOC	41
Tabla 5. Tiempo ciclo de operaciones en línea 4.....	43
Tabla 6. Tabla de cálculo para takt time de proceso de soplador línea 4.....	44
Tabla 7. Datos descriptivos de eficiencia operativa total.....	48
Tabla 8. Elaborado por: Pedro Quezada Orejuela.....	51
Tabla 9. Capacidad de producción versus eficiencia operativa 2020.	53
Tabla 10. Resumen de impacto de baja eficiencia operativa por línea.	55
Tabla 11. Tabulación de simulación del comportamiento de eficiencia operativa.	57
Tabla 12. Datos descriptivos de tiempos de cambios de formato en línea 4.....	66
Tabla 13. Relación de los problemas con las herramientas lean empleadas.	69
Tabla 14. Matriz de indicadores de control.....	70

Resumen

El presente trabajo de grado tiene como finalidad presentar una propuesta de mejoramiento para los procesos de la planta de producción de envases PET en San Miguel Industrias Ecuador, apoyado en la aplicación de herramientas de la manufactura esbelta y la metodología seis sigma, como primer punto en el proceso de mejora se plantea la aplicación del método DMAIC (definir, medir, analizar, implementar, controlar), como parte del proceso de análisis e identificación de la problemática. En el contexto de la metodología aplicada en bases a los análisis estadísticos, permite la identificación de las principales causales de los procesos producción que impiden el logro de los objetivos por encima del 95% de eficiencia operativa planteados por el corporativo. Al realizar el análisis histórico de eficiencia operativa de los últimos años 2019 y 2020, se encontró que el resultado del desempeño global de la planta es de 93.2%, esto es 1.8 puntos por debajo del objetivo esperado.

Una vez conocido el contexto de la organización en estudio y realizar el planteamiento del problema que está relacionado con los objetivos de manufactura de la compañía, se procede a establecer el objetivo general de este caso de estudio, que está enfocado en la eliminación de las causales que influyen en el bajo desempeño de la planta de producción de envases PET. Mediante el análisis estadístico empleado en este estudio con el método DMAIC, ha podido medir el desempeño actual de los procesos mediante el Cpk que tiene un valor de 0.26, el cual indica que actualmente el proceso es incapaz de cumplir con especificaciones, y posteriormente con la aplicaciones del diagrama de causa-efecto, diagrama de árbol y Pareto se ha de determinar las tres causales principales de la baja eficiencia operativa, que son: ajustes de proceso, retrasos en los cambios de formato y averías. Todo esto enfocado en la línea de producción 3, que es el puesto de trabajo que representa el mayor valor significativo al realizar el proyecto de mejora. En la fase de implementación se plantea la utilización de las tres principales herramientas de la manufactura esbelta, que están relacionado con los problemas detectados y lo podemos visualizar en el cuadro No. 12. Finalmente, en la fase se control se establece los indicadores que se utilizaran para asegurar el rendimiento del proceso.

Palabras claves: Eficiencia operativa, productividad, DMAIC, capacidad de proceso.

Abstract

The purpose of this graduate work is to present an improvement proposal for the processes of the PET container production plant in San Miguel Industrias Ecuador, supported by the application of lean manufacturing tools and the six sigma methodology. As a first point in the improvement process, the application of the DMAIC method (define, measure, analyze, implement, control) is proposed as part of the analysis and identification process of the problem. In the context of the methodology applied on the basis of statistical analysis, it allows the identification of the main causes of the production processes that prevent the achievement of the objectives above 95% of operating efficiency set by the corporation. When performing the historical analysis of operating efficiency for the last years 2019 and 2020, it was found that the result of the overall performance of the plant is 93.2%, which is 1.8 points below the expected target.

Once the context of the organization under study is known and the problem statement that is related to the manufacturing objectives of the company is made, the general objective of this case study is established, which is focused on the elimination of the causes that influence the low performance of the PET container production plant. Through the statistical analysis used in this study with the DMAIC method, it has been possible to measure the current performance of the processes through the Cpk that has a value of 0.26, which indicates that currently the process is unable to meet specifications, and then with the application of the cause-effect diagram, tree diagram and Pareto, the three main causes of low operating efficiency have been determined, which are: process adjustments, delays in format changes and breakdowns. All this focused on production line 3, which is the work center that represents the greatest significant value when carrying out the improvement project. In the implementation phase we propose the use of the three main tools of lean manufacturing, which are related to the problems detected and can be seen in Table 12. Finally, in the control phase we establish the indicators that will be used to ensure the performance of the process.

Key words: Operational efficiency, productivity, DMAIC, process capability.

INTRODUCCIÓN

En la actividad productiva de la elaboración de envases de plásticos PET (Polietileno Tereftalato), las empresas competidoras en este sector comparten mucha similitud en cuanto a procesos de fabricación, y esto se debe mayormente al alcance tecnológico de maquinarias y equipos procesadores de plásticos, tanto inyectoras como sopladoras, en síntesis se puede acotar que se comparten proveedores de materia prima (resina PET), máquinas y equipos para la fabricación de envases que está a libre acceso para cualquier empresa que quiera acceder a ella sin ningún tipo de restricción. En este caso las compañías están a la par en base a tecnología y materiales, por lo tanto, es indispensable crear estrategias competitivas en las operaciones para que la permanencia en el mercado sea sostenible a largo plazo, sin que se vea afectado los costos de fabricación de la empresa y muchas de estas estrategias, en el caso de San Miguel Industrias Ecuador Sanmindec S.A., que a partir de este momento se llamara SMI por su nombre comercial, está basada a generar valor por medio del servicio al cliente y sacar el mayor provecho a los recursos por medio de la optimización de sus procesos.

La medición de la eficiencia como herramienta de diagnóstico, control y mejora dentro de los procesos productivos de las compañías, ha tenido un alto impacto en el desarrollo de la industria ecuatoriana en los últimos años. Medir la eficiencia permite evaluar el comportamiento de todos los elementos de entrada conocidos como *inputs*, ya sean estos insumos recursos o información, utilizados en el proceso productivo y tienen de estos resultados u *outputs* como elementos de salida[1].

El aprovechamiento correcto de los recursos y la disminución de desperdicios dentro de las operaciones de manufactura permite tener procesos más eficientes, dinámicos y esbeltos, con un alto grado de valor agregado para las partes interesadas en el contexto de este tipo de organizaciones. En la actualidad la industria de procesamiento de productos plásticos que está ligada a la conservación, almacenamiento de alimentos y bebidas en el Ecuador cumple un papel cada vez más participativo en el mercado, convirtiéndose en uno de los materiales de empaque con mayor nivel de utilización, de acuerdo con una publicación realizado por la revista vistazo el 25 de julio del 2019.

El incremento en el mercado de compañías que ven en el PET, la opción más rentable de negocios para el almacenamiento y contención de alimentos y bebidas, por el bajo costo que representa en comparación con el tradicional envase de vidrio, como le menciona la cadena de noticias BBC en una publicación el 1 de septiembre de 2018 “*Cuánto costaría realmente dejar de usar envases de plástico*”, en este artículo hace la comparación sobre el peso promedio de un envase de 330ml que plástico sería de 18 g a diferencia de un envase de vidrio de la misma capacidad, pero en este caso el peso estaría entre los 190 g a 250 g. Esto presentaría un 40% de incremento en energía y aumentaría los costos de transporte 5 veces más por botella.

SMI es una empresa ecuatoriana con capital peruano que se especializa en la fabricación y comercialización de productos plásticos, específicamente de envases rígidos, en su mayoría orientamos a sector bebidas y alimentos. Corporativamente la sede de la empresa está ubicada en la ciudad de Lima en Perú y en la actualidad tiene presencia en 9 países de Latinoamérica, entre ellos: Perú, Colombia, Ecuador, Panamá, El Salvador, Guatemala, México, Chile, Argentina. En el Ecuador está ubicada en la provincia del Guayas cantón Durán, casa matriz vía Durán Tambo Solar 6-7, edificio plaza industrial Durán como se puede apreciar en la figura N° 1. La empresa fue fundada en 23 de abril de 2014.



Figura 1. Ubicación geográfica de la empresa SMI.

Fuente: Google maps.

La empresa hasta el año 2019 emplea a 539 personas distribuidas en todas las operaciones de la compañía. La distribución del personal está dividida en tres áreas, conformadas de la siguiente manera: manufactura, logística y administrativos, el área de manufactura está conformado por los departamentos de: producción, mantenimiento, aseguramiento de la calidad, sistemas integrados de gestión y SSOMA (seguridad, salud ocupacional y medioambiente). El área de logística comprende a: almacenamiento, despacho y compras. Los departamentos integrados en el área administrativa son: recursos humanos, comercial, contabilidad y legal. Esta distribución se grafica en la figura 2, en la cual se representa porcentualmente los valores por área que corresponden a los 539 empleados que tiene la empresa.

En sus últimos aspectos financieros destacados, SMI reportó aumento de ingresos netos de 8,8% en 2019. Su activo total registró crecimiento de 9,86%. El margen neto de SMI aumentó 0,63% en 2019. La revista Vistazo en su edición No. 1275 publicada el 30 de septiembre del 2020, ubica a SMI en el puesto 158 dentro del ranking de las 500 mayores empresas del Ecuador correspondiente

al año 2019, reportando ingresos por 102.21 millones de dólares, ubicándose en el segundo lugar de las compañías en la categoría de envases, estos datos son proporcionados por la superintendencia de compañías. Esta ubicación es un progreso importante para la empresa ya que en el año 2018 se ubicaba en el puesto 177 del mismo ranking, lo que representa haber escalado 19 puestos. Esta empresa en la actualidad cuenta con las tres certificaciones dentro de sistema de gestión; ISO 9001 (Sistema de gestión de la calidad), ISO 14001 (Sistema de gestión de ambiental) e ISO 45001 (Sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo).

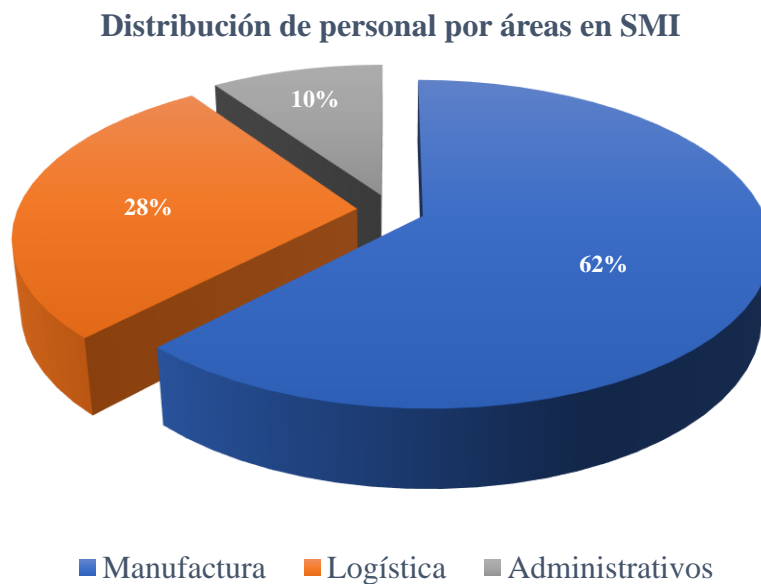


Figura 2. Distribución de personal por área en SMI.

Fuente: Información de la empresa.

La empresa actualmente cuenta con cuatro procesos productivos, los cuales son: inyección PET preformas, soplado PET envases, compresión HDPE (polietileno de alta densidad) tapas, inyección PP (polipropileno) cucharas. Esto la ha permitido alcanzar una capacidad instalada de procesamiento de plástico que bordea las 4,500 toneladas de productos terminado en el 2020. Además de la operación de planta matriz en la ciudad de Durán, la empresa posee 5 operaciones *in-house* en todo el Ecuador, que es básicamente operar dentro de la planta del cliente con la finalidad

de proporcionarle o entregarle los envases en el lugar de llenado y de esta forma no incurrir en gastos logísticos de transporte y almacenamiento.

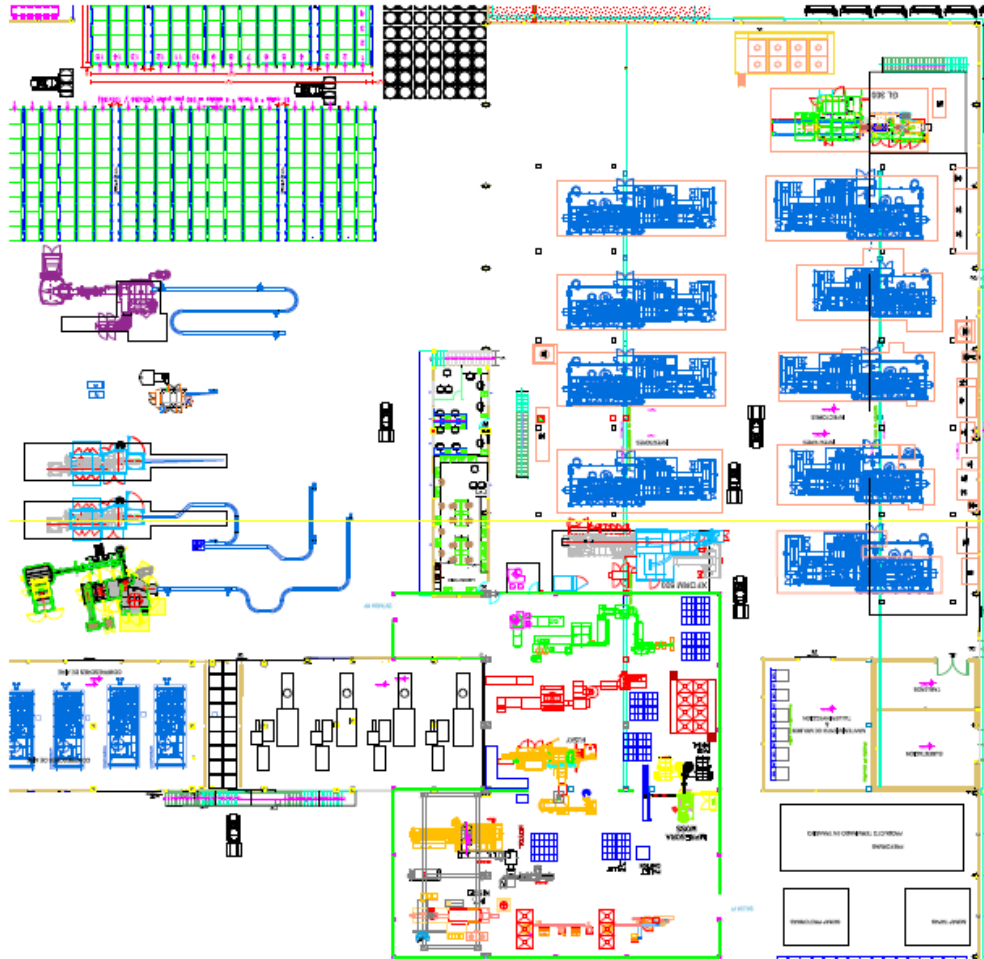


Figura 3. Layout de planta de producción.

Fuente: Información de la empresa

Este estudio será enfocado específicamente en la operación de soplado PET, que es el proceso donde se han encontrado oportunidades de mejora y esto se debe al incumplimiento de los objetivos de eficiencia operacional establecido en SMI, se plantea como el problema principal en el contexto de esta investigación, la eficiencia operativa en la planta de producción de soplado de envases PET y su efecto directo en los resultados financieros ha servido como justificativo para

encontrar soluciones óptimas que mejoren el desempeño de los resultados de los indicadores de gestión de manufactura establecidos por el corporativo a través de la dirección de manufactura[2].

Dentro del sistema de operación de la planta de soplado se identifican factores internos, como son; averías, cadencia por debajo de la velocidad nominal, micro paradas, problemas de procesos de soplado, extensión de los tiempos por cambios de *setup* y externos; falta de repuestos, caída de voltajes, cambios de programación, entre otros, que son directamente la causa principal del no cumplimiento de los resultados. En base a lo expuesto en este estudio se tiene como información preliminar datos de reportes de indicadores que muestran los niveles de eficiencia en los 2 últimos años de la planta de producción de envases, como se muestra en la figura 3. Donde se pueda observar los resultados de medición de la eficiencia que no han llegado al nivel de cumplimiento tomando que es del 95% a excepción de abril del 2020.

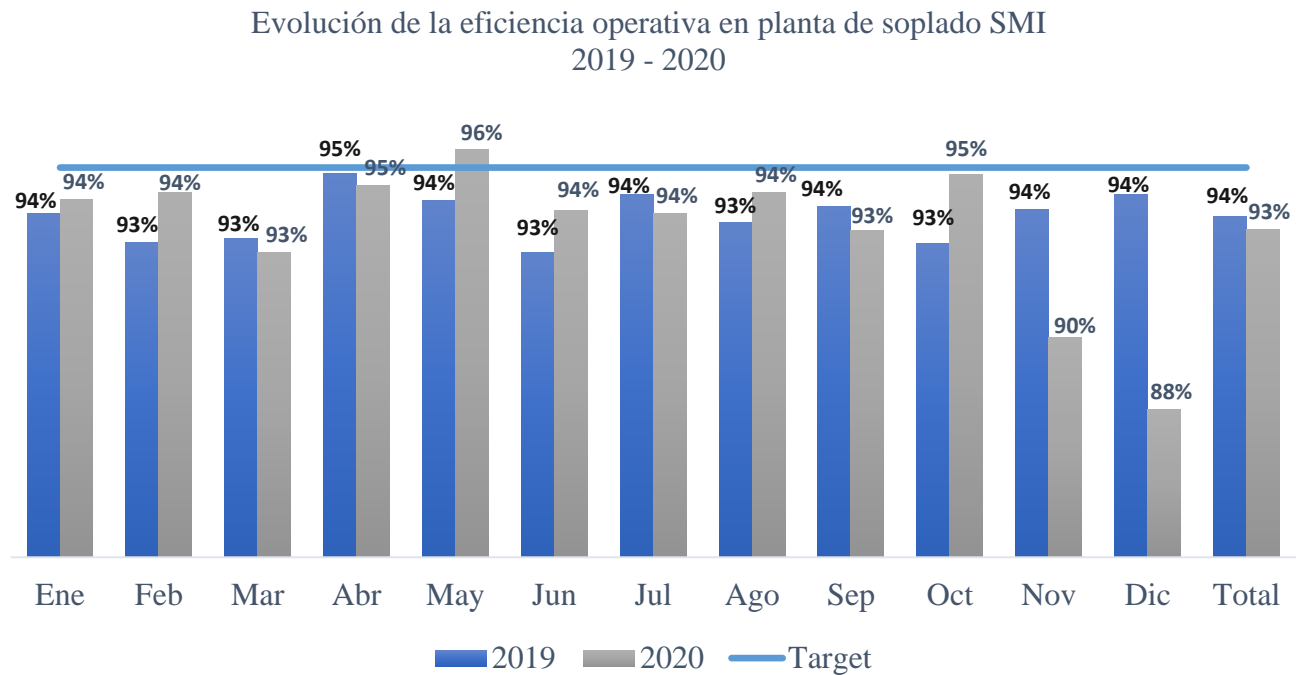


Figura 4. Evolución de la eficiencia operativa en la planta de soplado de SMI.

Fuente: Información de reporte de indicadores de manufactura SMI.

Por lo que se plantea generar alternativas, que a más de dar soluciones generen valor en el proceso de producción de envases. Se espera que de esta manera se puedan cumplir con el objetivo corporativo de la empresa que es del 95% de eficiencia, aumentando la rentabilidad del negocio creando una empresa más competitiva en el sector del plástico en el mercado ecuatoriano.

1.1 Justificación

El justificativo de este trabajo de investigación se sustenta en la necesidad de presentar una propuesta para la optimización de los procesos de fabricación de envases, en la empresa San Miguel Industrias PET y de esta forma poder incrementar la eficiencia operativa por arriba del 95% de la planta de soplado, mediante un modelo de gestión de mejora continua, apoyado en la aplicación de herramientas de la manufactura esbelta y el seis sigma. La consecución de este objetivo permitirá a la compañía obtener resultados operativos que desde el punto de vista financiero permitirá que el negocio sea más rentable.

La importancia de la eficiencia operativa como medida de desempeño dentro de los procesos de producción en la empresa San Miguel Industrias PET, se constituye indudablemente en la medida de rendimiento más importante para la organización, por esta razón, todos los elementos y factores relacionados con la producción tiene un impacto considerable en los resultados financieros. La eficiencia operativa de la empresa en estudio en los años 2019 y 2020, en la planta de producción de envases, se ha visto afectada por factores que han incidido regularmente en su desempeño y esto no ha permitido que se llegue al objetivo planteado por la compañía que es de 95% por lo tanto se hace imprescindible en este estudio generar aportes para mejorar su desempeño.

1.2. Objetivo General.

Diseñar una propuesta de optimización de los procesos de fabricación para el incremento de la eficiencia operativa de la planta de envases en San Miguel Industrial PET Ecuador.

1.2.1 Objetivos específicos:

- Analizar cuantitativamente la eficiencia operativa en la planta de soplado de producción de envases PET para la reducción de los tiempos de ciclos.
- Identificar los factores que influyen en el bajo desempeño de la eficiencia operativa en la planta de producción de envases PET y su correlación con otros indicadores de desempeño operativo para aumentar la productividad de la línea.
- Determinar el modelo de optimización adecuado para reducir el desperdicio de la planta de producción de envases en San Miguel PET Ecuador.
- Establecer los lineamientos de aplicación del modelo de optimización para la mejora de la efectividad total de los equipos.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

La optimización de los procesos de fabricación a lo largo de la historia ha experimentado varios cambios ya sean estos motivados por el afán de generar mayor ganancia o aumentar los volúmenes de producción generando progresos desde el inicio de la revolución industrial[3].

En 1911 cuando a través de una publicación el Ingeniero Mecánico y Gerente de manufactura estadounidense Frederick Winslow Taylor expuso su trabajo que realizó en la industria del acero, conocida como “Principios de Administración científica” que posteriormente se lo conocería como Taylorismo[4]. Este trabajo se basaba principalmente en la observación y la medición de resultados que se enfocaban a la reducción o eliminación de movimiento innecesarios por parte de los obreros[5][6]. Con estas teorías se abrió paso a una corriente de ideas que buscaba incrementar la productividad y la eficiencia dentro de las operaciones industriales, lo que posteriormente se conocería con estandarización del trabajo. Los aportes de Taylor estaban enfocados principalmente a incrementar la productividad de la empresa mediante el aumento de eficiencia en el nivel operacional, es decir al nivel de los obreros[7]. Esto llevo a establecer los procedimientos operativos que dividen el trabajo hasta la mínima expresión, así como los estudios de trabajo, y la medición del trabajo; concibiéndose que las modificaciones de las partes llevan a cambios del conjunto. La Administración o Dirección Científica se centra por lo tanto, en el cómo, y en elaborar procedimientos buscando la optimización del tiempo de trabajo[8].

Otro aporte importante en este contexto es el realizado por Henry Ford fundador la compañía Ford Motor Company en 1903, con la creación de la línea o cadena de montaje en la fábrica Highland Park introdujo por primera vez este concepto en la fabricación del Modelo T[3]. La idea principal de Ford era que, si fabricaba coches en serie, los costes de producción del automóvil se reducirían, lo que permitiría bajar también el precio de venta y eso haría aumentar la demanda, el mercado y los ingresos[3], al principio el modelo T tenía un costo de \$850 lo que representaba un valor económico para la fecha, pero no para las aspiraciones de Ford, que creía que se podría bajar a un más el costo de producción. Ford consulto a Frederick Taylor para crear un sistema de trabajo más eficiente y guiado por un concepto que tenía acerca de la línea de ensamble en mataderos del medio

oeste y también en los sistemas de cintas transportadoras que para aquella época era muy conocido en los almacenes de la región. La producción del Modelo T aumentó de forma muy significativa.

El tiempo de producción para un solo automóvil se redujo de más de 12 horas a solo 93 minutos debido a la introducción de la línea de ensamblaje. La tasa de producción de Ford en 1914, de 308.162 piezas, eclipsó la cantidad de autos producidos por todos los demás fabricantes de automóviles juntos. Estos conceptos permitieron que Ford aumentara su margen de rentabilidad y redujera el costo de sus vehículos para los consumidores. El precio del Modelo T bajó a \$ 260 en 1924, lo que sería aproximadamente \$ 3.500 hoy en día[9].

La medición de la eficiencia de un proceso sea este interno de la compañía, permite conocer el comportamiento, evolución y las problemáticas que pueden estar afectando el desempeño del proceso[10], para lo cual es importante tener una idea clara sobre los conceptos de eficiencia y eficiencia operativa y cuales son pros y contras en base al cálculo de cada indicador y cuál es el aporte de estos a la medición del desempeño de la operación en el contexto de la producción.

La eficiencia mide el resultado general de toda la operación y esto se basa prácticamente dividir los resultados obtenidos versus los resultados planificados en un proceso o línea de producción, todos estos en función del tiempo. Esto a su vez considera todas las paradas programadas por el área de planificación que tengan que ver con: cambios de formato, pruebas, validaciones.

- Tiempo planificado = es el tiempo programado por el área de planificación en el cual la maquina o equipo está produciendo.
- Tiempo real de producción = esto se basa en la cantidad de unidades producidas buenas, dividido para la cadencia nominal de la maquina en unidades por hora.

En función de fórmula se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Tiempo real producción}}{\text{Tiempo planificado}} \times 100$$

La eficiencia operativa, en cambio no considerar estos valores de paradas programadas por parte del área de planificación, sino que su cálculo se basa sobre todo el tiempo que tiene el equipo disponible para producir, viéndolo como fórmula de la siguiente manera quedaría expresado así:

$$\text{Eficiencia operativa} = \frac{\text{Tiempo producción real}}{\text{Tiempo planificado} - \text{paradas programadas}} \times 100$$

Es importante acotar que todas las paradas programadas tienen un tiempo estándar definido, que es un consenso entre las áreas de producción y planificación y los retrasos ocasionados entre estos tiempos programas afectan directamente a la eficiencia operativa. Todos estos criterios para el cálculo de la eficiencia operativa son parte de las directrices de la organización por parte del directorio de manufactura y se comparte para todas las operaciones de la compañía en todos los países y filiales.

La mejora continua es un proceso que les ha permitido a las compañías en gran manera mejorar notablemente sus productos, servicios y procesos[11]. El aporte de las filosofías en la cultura organizacional de la empresa representa en algunos casos un conjunto de técnicas y cambio de pensamiento y paradigmas para lograr resultados permanentes a mediano y largo plazo[12]. En la actualidad existen muchos modelos de gestión de mejorar continua que se describirá a continuación:

2.1. Gemba kaizen.

Esta filosofía de mejoramiento continuo está enfocada a dirigir a las organizaciones y sus procesos de forma ordenada y participativa [13]. Es decir, más que una técnica o metodología es una disciplina de trabajo que aspira a conseguir la información requerida para la mejora, directamente donde se procure el fenómeno. La manera de resolver un problema en el contexto del kaizen es acudir directamente al "Gemba" (lugar donde suceden o se hacen las cosas) puesto de trabajo, máquina, área de la planta, taller, en definitiva, es decir, al sitio donde se presenta el evento que impide que las cosas funcionen correctamente [13].

El Kaizen tiene su origen en la cultura japonesa, que engloba 2 significados: kai (cambio) y zen (para mejorar)[14]. Uno de los objetivos de la mejora continua es obtener resultados similares a las empresas de países de occidente considerador potencias mundiales y de esta forma poder alcanzar y nivelas industriales y así ganar el sustento para una gran población que habite vive en un país con recursos limitados o escasos, como fue caso del Japón de las postguerras[15].

En una visión renovada, exige la necesidad imperativa de cumplir con las expectativas de los consumidores, clientes y usuarios de bienes y servicios, la innovaciones y creatividad colocada al servicio y generar productos de alta calidad con costos establecidos por el mercado, esos son en gran parte los objetivos de las empresas [16]. Estos objetivos no son algo que se pueda lograr de la noche a la mañana, por un lado, requiere concientización y sacrificio para conseguirlo, pero, por otro lado, necesita de una disciplina y ética de trabajo que lleven a empresas, líderes y trabajadores a superarse día a día en la búsqueda de nuevos y mejores niveles de performance que los mantengan en capacidad de competir [17].

2.2. La reingeniería de procesos.

Es una de las más recientes tecnologías de gestión que surgió a partir de la década de los 80´[16]. El rediseño de un proceso en un negocio se constituye en un cambio drástico de un proceso de una empresa. A pesar de que este concepto resume la idea principal de la reingeniería esta frase no envuelve todo lo que implica la reingeniería. Reingeniería es comenzar de cero, es un cambio de todo o nada, además ordena la empresa alrededor de los procesos. La reingeniería requiere que los procesos fundamentales de los negocios sean observados desde una perspectiva transfuncional y en base a la satisfacción del cliente. En todo caso representaría a las organizaciones una gran ventaja competitiva dado que, si se realiza de una forma adecuada, de esta forma se mejoraría el desempeño y reducción de costos en la compañía[17].

Para que una organización pueda adoptar la reingeniería como proceso de mejora, necesariamente debe tener la capacidad y predisposición de deshacerse o separar desplazar. de su contexto el conjunto estándares o políticas consideradas las reglas y políticas convencionales, que aplicaba como parte de su filosofía organizacional con anterioridad y estar predispuesta estar abierta a a los cambios que puedan presentase, considerando que a través de por medio de los cuales sus negocios estos puedan llegar a ser organizaciones técnicamente más productivas [18].

2.3. Justo a tiempo.

JIT, por sus siglas en Ingles, es más que una filosofía creada en la industria japonesa en la década de los años 70's, que principalmente buscada la optimización y uso de los recursos debido a la escasez de materiales en busca de la calidad. Se puede concluir que en parte el principio en el cual se fundamenta el JIT es la eliminación de todo aquellos que tenga que ver o tener relación directa con algún tipo de desperdicio dentro las fábricas.

El principio fundamental en el que se sustenta basa el JIT es precisamente la eliminación de todos aquellos aspectos que le involucren a la organización un desperdicio[19], el cual significa un costo, por lo que precisa de realizar todas aquellas actividades necesarias que permitan aprovechar todos los recursos y que a su vez permitan a las empresas alcanzar la excelencia, ser productivo y competitivo[20]. El principio del JIT es eliminar fuentes de pérdida industrial consiguiendo la cantidad correcta de materiales brutos y produciendo la cantidad correcta de productos en el lugar correcto en el momento correcto.

El principal objetivo del sistema JIT es intenta reducir la ineficiencia y el tiempo improductivo de los sistemas de producción, a fin de mejorar continuamente dichos procesos y la calidad del producto o servicio correspondiente[21]. Un sistema de JIT incluye una estrategia de flujo de línea para lograr una producción de alto volumen a bajo costo. Tiene como objetivo un procesamiento continuo, sin interrupciones de la producción[22].

2.4. Norma ISO 9001 Sistemas de Gestión de la Calidad.

La norma ISO 9001, es un conjunto de estándares y requerimiento sobre calidad y administración de la calidad, que han sido establecidas por la Organización Internacional de Normalización (ISO) [25]. Esta norma tiene la capacidad de poder aplicarse en cualquier tipo organización o compañía la cual se dedique a la producción de bienes o servicio que tenga como objetivo satisfacer una necesidad.

Esta norma internacional recopila tanto el contenido mínimo como las guías y herramientas específicas de implantación, como los métodos de auditoría. ISO 9001 especifica la manera en que una organización opera, sus estándares de calidad, tiempos de entrega y niveles de servicio [26]. La implementación de esta norma, supone una arduo esfuerzo por todos los miembros de la

organización, ofrece numerosas beneficios y ventajas competitivas para las empresas, de las cuales se menciona a continuación:

- Estandarizar las actividades del personal que labora dentro de la organización por medio de la documentación,
- Aumentar considerablemente el nivel de satisfacción del cliente,
- Medir y monitorear el desempeño de los procesos de la organización,
- Disminución de los reprocesos,
- Aumentar la eficacia y/o eficiencia, en la consecución de los objetivos de la organización,
- Mejoramiento continuo de los procesos, productos, eficacia, etc., de la organización-
- Reducir las incidencias de producción o prestación de servicios.

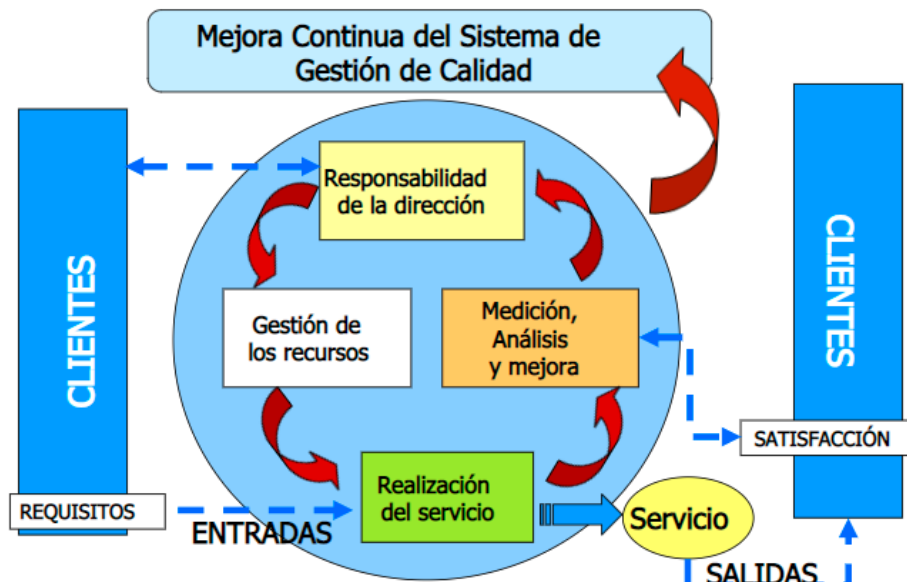


Figura 5. Modelo de mejora continua del sistema de gestión de calidad ISO 9001.

2.5. Seis sigma.

Es un enfoque de gestión que mide y mejora la calidad en las compañías. Ha llegado a ser un método de referencia para la satisfacción de las necesidades de los clientes y al mismo tiempo, lograrlo con niveles próximos a la perfección[23]. El seis sigma, es una filosofía de trabajo y una estrategia de negocios, la cual se basa en el enfoque hacia el cliente, en un manejo eficiente de los

datos y metodologías y diseños robustos, que permite eliminar la variabilidad en los procesos y alcanzar un nivel de defectos menor o igual a 3,4 defectos por millón[24]. La identificación del nivel del sigma de una organización empleada es el denominado como defecto por millón de oportunidades (DPMO)[25], el cual en su mayoría es usado en referencia de calidad y defectos[26]. A continuación, se observa en la siguiente tabla el valor del DPMO por nivel del sigma que pueden llegar a alcanzar las compañías:

Nivel sigma	DPMO	Error	Rendimiento
6	3.4	0.00034%	99.99966%
5	233	0.023%	99.977%
4	6210	0.62%	99.38%
3	66807	6.68%	93.32%
2	308537	30.85%	69.15%
1	690000	69.15%	30.85%

Tabla 1. DPMO por nivel de sigma

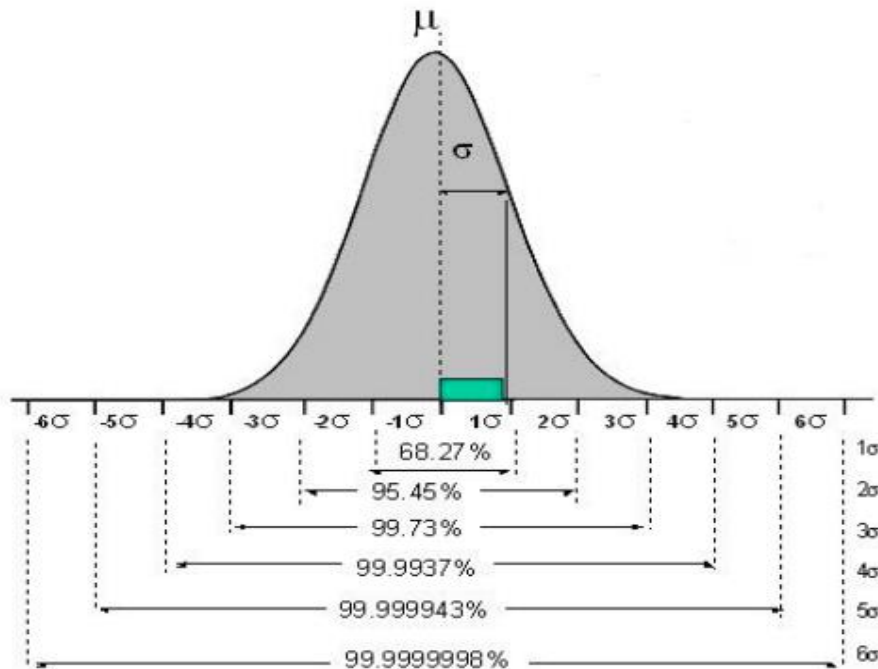


Figura 6. Niveles seis sigma en procesos.

La metodología de aplicación para el seis sigma, es la denominada DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Implementar/Mejorar, Controlar), utiliza herramientas estadísticas. Además, dispositivos que observan las variables de los procesos y sus relaciones, que ayudan a gestionar sus características. A continuación, se detallarán las 5 fases del DMAIC, para una mejor comprensión del proceso:

1. **Fase 1 definir**, se identifican los posibles problemas u oportunidades de mejora que tenga la compañía, que deben ser evaluados por la dirección para evitar la infrautilización de recursos. Una vez que se ha hecho la selección, se prepara, se establece el objetivo y se selecciona el equipo más adecuado, asignándole la prioridad necesaria[27].
2. **Fase 2 medir**, consiste en la caracterización del proceso identificando los requisitos clave de los clientes, las características clave del producto (o variables del resultado) y los parámetros (variables de entrada) que afectan el funcionamiento del proceso y las características o variables clave. A partir de esta caracterización, se define el sistema de medida y se mide la capacidad del proceso[24].
3. **Fase 3 analizar**, se analizarán los datos de resultados actuales e históricos. Se desarrollan y si fuera el caso pruebas de hipótesis sobre posibles relaciones causa-efecto con la aplicación herramientas estadísticas acordes al caso. De esta manera, se procede a establecer determinantes del proceso, esto quiere decir, se establecen las variables críticas de entrada o “pocos vitales” que afectan a las variables de respuesta del proceso[28].
4. **Fase 4 mejorar**, en esta cuarta fase se trata de establecer una relación directa entre las causa-efecto, y de esta manera poder predecir, mejorar y optimizar el funcionamiento del proceso que se quiere mejorar [29].
5. **Fase 5 controlar**, en esta fase se realiza el diseño de los controles necesarios para asegurar que lo conseguido mediante el proceso de seis sigma se mantenga una vez que se hayan implantado los cambios[23]. Una vez que se ha logrado los objetivos y se dé por finalizado el proyecto de mejora, el equipo informa a la dirección y se disuelve[30].

A continuación, se presenta las etapas con sus respectivas actividades realizadas durante la implementación del modelo DMAIC. Figura. 7.

Definir	Medir	Analizar	Implementar/Mejorar	Controlar
<ul style="list-style-type: none"> • Definir problema. • Formar equipos. • Desarrollar un plan de trabajo. • Identificar cliente. • Identificar entradas y salidas del proceso. • Identificar y priorizar requerimientos del cliente. • Documentar el proceso en curso. 	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar que se va a medir. • Análisis de valor agregado. • Calculo de variables. • Determinar capacidad de proceso. • Índice de capacidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar que factores causo la variación. • Definición del problema en términos de indicadores. • Lluvia de ideas para mejorar el proceso . • Explorar las causas potenciales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Matriz de priorización. • Plan de mejor. • obtener aprobación de los planes propuestos. • Finalizar el plan de implementación. • Implementar los cambios apropiados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer métricas. • Desarrollar la estrategia de control. • Celebrar y comunicar éxitos. • Implementar plan de control. • medir y continuar mejorando.

Figura 7. Despliegue de actividades realizadas durante la aplicación del modelo DMAIC.

2.6. Ciclo PDCA.

Dentro de las técnicas de la calidad se considera que el análisis mediante el Ciclo PDCA, conocido como círculo de Deming, es una de las técnicas fundamentales a la hora de identificar y corregir los defectos. En el entorno de la manufactura esbelta, el ciclo planificar-ejecutar-verificar-actuar debe guiar todo el proceso de mejora continua[31], tanto en las mejoras drásticas o radicales como en las pequeñas mejoras:

- **P Plan** (Planear / Planificar), En esta etapa se realiza la planificación, es decir, se definen las actividades necesarias para cumplir con el objetivo deseado. Aquí es donde se obtienen datos relevantes sobre el proceso actual, se establecen los requisitos del nuevo proceso y se detallan las especificaciones que se desean obtener;
- **D Do** (Hacer), realizar el plan, se efectúan los cambios que se consideren necesarios. En lo posible, su implementación podría realizarse a una baja escala, antes de ponerlos a funcionar plenamente. Incluso, se pueden realizar pruebas piloto[32].
- **C Check** (Verificar), se analizarán los resultados obtenidos y luego de un tiempo acordado previamente, se verifica el estado actual del proceso a través de datos, para poder compararlo con los requisitos establecidos en el primer paso. Existen varias herramientas que puede utilizarse en esta etapa, las cuales son: los diagramas de causa-efecto, los diagramas de Pareto, las listas de control, por ejemplo[33].

- A (act), actuar, se actúa en consecuencia a los resultados obtenidos en la etapa de verificar. Específicamente de esto depende el éxito de esta metodología como herramienta de mejora continua.

El funcionamiento del ciclo del PDCA depende significativamente de la mejora es continua, por lo que luego de actuar se reinicia automáticamente a planificar e ir perfeccionando sistemáticamente el proceso.

A continuación, se detalle de forma gráfica el modelo PDCA, en la siguiente figura:



Figura 8. Modelo PDCA.

2.7. Relación entre el modelo DMAIC y el modelo PDCA.

El modelo PDCA (Plan – Planificar, Do – Hacer, Check – Verificar y Act – Actuar), como el modelo DMAIC son herramientas enfocadas en la mejora continua de procesos y pueden ser aplicadas en los más diversos ámbitos para la resolución de problemas. Sin embargo, el uso de una herramienta no elimina el uso de la otra, podemos decir que son complementarias.

Como ya se ha mencionado, el PDCA y el DMAIC son metodologías destinadas a los procesos de mejora continua. Las semejanzas que existe entre ambos modelos de gestión de mejora se extienden por sus pasos también, pues ambas poseen las fases de planificación, ejecución y control, o sea, en algunos casos se considera al DMAIC una evolución del PDCA. La principal diferencia

entre el DMAIC y el PDCA es que en el DMAIC la planificación se suele hacer de forma más detallada a través de un estudio más profundo de lo que se hace en el PDCA, recurriendo a menudo a métodos estadísticos. Por permitir un análisis más estructurado y profundizado en la planificación, el DMAIC es la herramienta base de la metodología Seis Sigma.

P	Planificar	D	Definir
		M	Medir
		A	Analizar
D	Ejecutar	I	Implantar/ mejorar
C	Verificar	C	Controlar
A	Actuar		

Figura 9. Comparación entre los modelos DMAIC y PDCA.

2.8. Identificación de 7 desperdicios.

La manufactura esbelta es una filosofía de gestión iniciada en Japón en la fábrica de Toyota, la misma que tiene el fin de mejorar los procesos, en base de la eliminación procesos que no aportan valor al producto final[32]. La manufactura esbelta es “un proceso continuo y sistemático de identificación y eliminación del desperdicio en todas las etapas del proceso de fabricación, de los cuales se los clasifica como los 7 desperdicios [33], que se mostraran a continuación:

1. **Sobreproducción:** Este despilfarro se manifiesta cada vez que la producción no responde a la demanda, es decir, supone producir productos para los que no hay una necesidad por parte del cliente.
2. **Tiempo de esperas:** Son esperas de tiempo al recibir materiales, instrucciones de trabajo, órdenes de fabricación, inspecciones, entre otros. que hacen que las personas y/o las máquinas estén paradas.
3. **Transporte:** Corresponde a todos aquellos movimientos innecesarios para apilar, acumular, desplazar materiales.
4. **Procesos:** Se incluyen aquellos procesos ineficientes o inútiles pero que a menudo son aceptados como imprescindibles.

5. **Inventario o existencias:** Constituyen un conjunto de materiales o productos que se almacenan sin una necesidad inmediata.
6. **Movimientos:** Son movimientos improductivos, que no aportan valor al proceso; demasiado lentos o rápidos. También son posiciones o acciones innecesarias o incómodas para los trabajadores.
7. **Defectos:** Se asocia a los costes que suponen estos defectos en el producto o el servicio: inspecciones, reparaciones, defectos, entre otros.



Figura 10. Identificación de los 7 desperdicios.

2.9. La manufactura esbelta.

Fue introducido como concepto por el Dr. James P. Womack en el año de 1990 en Estados Unidos de Norteamérica, con la publicación del libro “la máquina que cambió al mundo”[34], como el resultado de cinco años de estudio del Sistema de Producción Toyota realizado por el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) [35] por sus siglas en inglés, dentro de su programa internacional de vehículos de motor (IMVP) por sus siglas en inglés. el concepto y la manufactura esbeltos persiguen mejoras sustanciales el desempeño operacional de las compañías y refiere

ventajas competitivas como: calidad, costo, precio, velocidad en la entrega, consistencia en la entrega, innovación y flexibilidad, esto es posible a través de la identificación y eliminación continua y sistemática de los desperdicios o “mudas”, con el activo involucramiento de todos los empleados de una organización en proyectos de mejora continua [33]. La eliminación de las “mudas” como: sobreproducción, esperas, transporte, procesos innecesarios, inventario, movimientos y defectos se realiza a través de 5 principios rectores del pensamiento esbelto que son:

- a) definición de valor desde la perspectiva del Cliente,
- b) mapeo de los procesos de producción y de servicios,
- c) crear flujo en los diferentes procesos,
- d) jalar la producción
- e) y búsqueda de la perfección a través de la mejora continua.

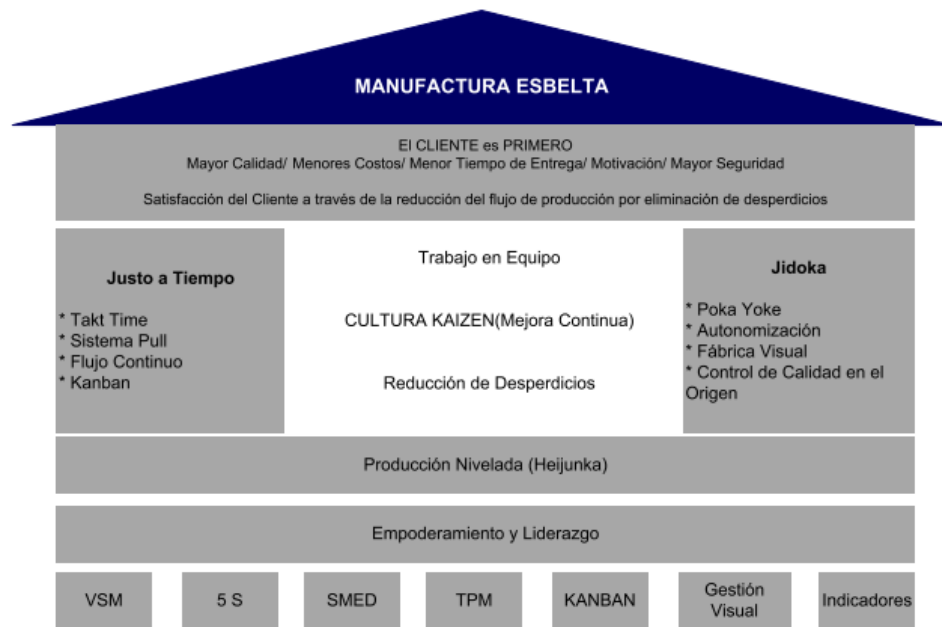


Figura 11. Casa de la manufactura esbelta de acuerdo con el modelo Toyota.

De la misma manera se define como una filosofía de gestión enfocada en la creación valor para el cliente mediante la eliminación de las actividades que no agregan valor, maximizando el flujo de

los procesos, esto quiere decir más con menos tiempo, menos espacio, menos esfuerzo humano, menos maquinaria, menos materiales[31], siempre y cuando se le esté dando al cliente lo que desea. Las técnicas utilizadas en la manufactura esbelta son:

2.10. El método de las 5S.

El método de las 5S es una técnica de gestión originaria de Japón basada en cinco principios o fases muy sencillas, que comienzan por S (en japonés) y que son las que dan nombre al método. Su origen está en 1960 en la ciudad de Toyota y su objetivo era conseguir lugares de trabajo que estuviesen mejor organizados. Para ello se basa en dos principios básicos: el orden y la limpieza, también se considera como una serie de técnicas utilizadas para mantener el orden y la limpieza en los puestos de trabajo, mediante la disciplina y estandarización. Como su nombre lo indica, este método japonés está compuesto por cinco fases en las que se llevan a cabo una serie de acciones, las cuales se describen a continuación:

1. **Clasificación (Seiri)**, en esta etapa del método de las 5S, lo que se pretende es separar lo innecesario de los lugares o puestos de trabajo, así de esta manera se elimina del espacio en el que se desempeña el trabajo todo aquello que no sea útil, se debe llevar a cabo una clasificación de los objetos y elementos presentes en el lugar de trabajo. Eliminar todo lo innecesario liberará espacio y mejorar los tiempos que se dedican a buscar las herramientas o limpiar la zona y áreas de trabajo[38].
2. **Organización (Seiton)**, cuando se ha finalizado la clasificación, lo siguiente es organizar. Es decir, una vez eliminados o retirados todos los elementos, materiales u objetos que no son necesarios para desempeñar correctamente el trabajo, deben ordenarse aquellos que sí se han considerado importantes o necesarios para el trabajo cotidiano dentro del área o puesto de trabajo. El principal objetivo de esta técnica se traduce en ayudar a ser más rápido a la hora de encontrar las herramientas necesarias, así como en una gran claridad a la hora de abordar el trabajo[39].
3. **Limpieza (Seiso)**, el principal objetivo del seiso es eliminar la suciedad del lugar asignado o puesto de trabajo. Mejorar el nivel de limpieza en los lugares de trabajo y alrededores, de una forma estimula la actitud de los trabajadores, eliminara, entre otras cosas también ayuda a la reducción de los accidentes de trabajo, aumentando exponencialmente la

seguridad y la autoestima del equipo de trabajo. De esta forma, la calidad en los procesos p producción se verá directamente afectada por la mayor o menor limpieza del lugar de trabajo.

4. **Estandarizar (Seiketsu)**, La estandarización por su parte gira en torno a la necesidad de señalar anomalías. Con la intención de prevenir que surja el desorden y la suciedad (ya eliminados mediante las técnicas anteriores) en el lugar de trabajo, es necesario establecer estrictas normas y procedimientos. Únicamente a través del establecimiento de consignas relacionadas con la estandarización de los métodos de trabajo y favoreciendo la gestión visual se permitirá un mantenimiento del orden y limpieza; así como de una mayor velocidad en la toma de decisiones[39]. De este modo, todo ello incidirá positivamente en la productividad.
5. **Seguir mejorando (Shitsuke)**, La técnica de la disciplina se centra en el hecho de seguir mejorando. La situamos en el final de la lista, precisamente porque ha de aplicarse después de las técnicas anteriores. La disciplina rígida permite sacar el máximo partido al resto de elementos que conforman las 5S, pues facilitan su aplicación rigurosa y efectiva. El mantenimiento de la disciplina irá en estrecha relación con la necesidad de aplicar un riguroso control del sistema en su aplicación; así como un seguimiento continuo de la productividad[39].



Figura 12. Modelo de las 5S.

2.11. SMED Single Minute Exchange of Die (Cambiar de series en un dígito de minuto).

Esta técnica busca la reducción del tiempo de cambio o preparación de máquinas y herramientas en una producción y utillajes[36]. Este cambio significativo se podrá llevar a cabo estudiando detenidamente el proceso, así como actividades que podrían estar relacionadas y que tendrían un impacto directamente en el proceso, pero el principal objetivo de esta herramienta es producir realmente lo que el mercado demanda, ayudando a mejorar la eficiencia[37]. Entre los principales beneficios de la implementación de SMED, encontramos los siguientes puntos:

1. Disminuir los tiempos de preparación y volverlo tiempo productivo.
2. Disminuir el tamaño del inventario
3. Disminuir el tamaño de lotes de producción
4. Disminuir varios modelos o productos el mismo día en la misma máquina o línea de producción.

2.12. TPM Total Productive Maintenance.

Su traducción al español es; Mantenimiento Productivo Total (TPM), es una filosofía de mantenimiento cuyo objetivo es eliminar las pérdidas en producción debidas al estado de los equipos, o, en otras palabras, mantener los equipos en disposición para producir a su capacidad máxima productos de la calidad esperada, sin paradas no programadas. El TPM es un concepto japonés innovador. El origen del TPM se remonta a 1951, cuando se introdujo el mantenimiento preventivo en Japón. Sin embargo, el concepto de mantenimiento preventivo fue tomado de los Estados Unidos. Para que una estrategia tan ambiciosa tenga éxito esperado dentro de la organización, debe estar fundamentada en los 8 pilares del TPM, que se muestran a continuación:

1. Enfoque en las mejoras
2. Mantenimiento autonomía
3. Mantenimiento de gestión de la calidad
4. Mantenimiento planificado
5. Gestión de equipos nuevos
6. Formación continua
7. Higiene y seguridad en el trabajo
8. TPM a nivel administrativo



Figura 13. Pilares del TPM.

2.13. Kanban.

Es un método visual para controlar la producción y que forma parte de JIT. Es un sistema de señales, que se va utilizando a través de la cadena de producción, desde la demanda del cliente hasta que llegamos a las materias primas[22]. Controla lo que se produce, en qué cantidad y cuándo. Su propósito es asegurar que sólo produces lo que el cliente está pidiendo y nada más, entendiendo como cliente, el proceso que se encuentra en la siguiente etapa del proceso de producción[38]. Kanban es una palabra de origen japonés que significa tarjeta, su concepto ha evolucionado hasta convertirse en señal, y se puede definir como un sistema de flujo que permite, mediante el uso de señales, la movilización de unidades a través de una línea de producción mediante una estrategia *pull* o estrategia de jalonamiento[39]. Un sistema de flujo *pull* consiste en optimizar los inventarios y el flujo del producto de acuerdo con el comportamiento real de la demanda.

La Técnica Kanban se implementa en 4 fases:

Fase 1: Entrenamiento de personal.

El objetivo de esta fase es ayudar cada uno del miembros de la organización o del equipo a tener conocimientos a través de capacitaciones y crear conciencia sobre el manejo de la

metodología y de todos los beneficios de su implementación. El entrenamiento principalmente se da con el personal continuo en la línea de Producción.

Fase 2: Identificación e implementación en componentes problemáticas.

Esta fase de implementación se da principalmente en la línea, etapas o procesos que presentan problema, o una serie de dificultades. Esta etapa permite enfatizar o señalar en los problemas que son difíciles de detectar.

Fase 3: Implementar Kanban en los demás componentes.

Solo se implementa el sistema en el resto de los componentes cuando han sido halladas soluciones para aquellos que presenten problemas de mayor nivel de importancia para la organización. En esta fase, los miembros del equipo tienen una mayor conciencia y manejo de Kanban, por lo tanto, ya conocen sus ventajas. Además, se supone que los operarios de la empresa, categorizados por áreas, ya manejan pormenorizadamente el sistema Kanban, de modo que es fundamental informarles cuándo se estará trabajando en su área y escuchar sus dudas / opiniones.

Fase 4: Revisión del sistema Kanban Además de los niveles de inventario y los tiempos de pedido entre un proceso y otro.

Esta cuarta fase consiste en realizar una revisión exhaustiva del sistema para determinar los puntos que deben reordenarse. En esta fase, es muy importante constatar que ningún trabajo se realice fuera de secuencia y que cualquier problema se notifique lo más pronto posible al supervisor.

2.14. Taichi Ohno.

Ingeniero de manufactura en la fábrica automotriz de Toyota en la década de los 70[40], quien mediante el concepto de JIT que en síntesis quiere decir producir solo lo necesario en el tiempo correcto[9]. Este principio busca eliminación de “mudas” desperdicios en todas las fases o etapas del proceso productivo ayudado por varias técnicas que Ohno durante los 30 años que trabajó en

Toyota pudo implementar entre ellas se destaca: “*single minute exchange of die*” (SMED) que en español significa “cambio de matriz en menos de 10 minutos”, 5’s, Kanban, mantenimiento productivo total (TPM), justo a tiempo (JIT), entre otras[41]. Con la aplicación de estas técnica Toyota mejoro la calidad de los productos, la eficiencia y logro hacer los procesos más flexibles[32].

2.15. Shigeo Shingo.

Ingeniero mecánico nacido en Saga, Japón el 8 de enero de 1909, colaboro con Taichi Ohno en la implementación del SMED y JIT en la planta manufacturera de Toyota. Sus aportes tanto en las operaciones de producción como en el control estadístico de calidad son considerados logros importantes dentro del sistema de producción Toyota (TPS) por su acrónimo en inglés. Se le atribuye la implementación de los sistemas a prueba de error Poka Yoke dentro de la línea de ensamble aplicando una serie de dispositivos mecánicos muy sencillos de instalar.

2.16. La TOC (Teoría de las restricciones).

Formulada por el físico y empresario israelí Eliyahu M. Goldratt, es una filosofía de gestión que se basa en los métodos de la ciencia para interpretar y optimizar sistemas integrados[43]. Esta teoría postula que, en un proceso multitarea, independientemente del ámbito en el que se desarrolle, el ritmo será dictado por el 'engranaje' más lento. Si se toma como referencia el ejemplo anterior, es claro que el ritmo de producción, distribución y comercialización se ve limitado por la velocidad de las tareas de abastecimiento [44]. Este último se convierte en una restricción que perjudica el proceso [45][46]. Ante estos casos, la teoría de las restricciones sugiere a las empresas dirigir sus esfuerzos en estos puntos críticos para optimizar el proceso más débil y, como consecuencia, lograr mejoras en la actividad integral de la organización [44].

Al abordar todo el contexto de eficiencia como medio de resultado de una operación o gestión, es importante señalar lo siguiente: capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un efecto determinado. “Expresión que mide la capacidad o cualidad de la actuación de un sistema o sujeto económico para lograr el cumplimiento de un objetivo determinado, minimizando el empleo de recursos”[42].

Otro estudio considera a la eficiencia como el logro de un objetivo al menor costo unitario posible. En este caso se busca un uso óptimo de los recursos disponibles para lograr los objetivos

planificados[10]. Por los cuales se considera el aporte directo a la eficiencia a los resultados financieros de la organización, medidos a través de indicadores de costos, como es el caso de los costos de transformación.

Para este estudio se hace imprescindible abordar los conceptos de la manufactura esbelta y el aporte que tiene en el mejoramiento de los procesos productivo. Con la aplicación del conjunto de herramientas que tiene esta metodología se puede conseguir cambios significativos dentro de los procesos ya sean estos de bienes o servicios, reduciendo considerablemente los desperdicios y de esta manera minimizando los costos.

2.17. VSM, Value Stream Mapping.

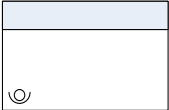

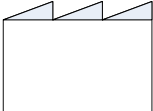
Mapeo de la cadena de valor, por su traducción a la lengua española, es una de las herramientas más importa de la manufactura esbelta[43]. Se trata de una representación gráfica que permite analizar y visualizar el flujo de materiales y la información, dentro del sistema de producción en su estado actual y posteriormente futura. Este análisis se lo hace considerando todas las actividades dentro de la operación hasta la entrega del producto o servicio al cliente[44], esto permite identificar las actividades que no agregan valor al proceso y posteriormente iniciar acciones para eliminarlas.

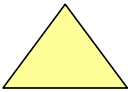


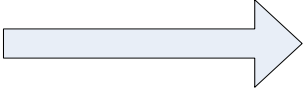



Esta sencilla y potente herramienta, permite alinear y el verdadero valor del producto como ninguna otra herramienta. El punto fuerte de esta herramienta es su utilidad y su simplicidad[45]. Los pasos de la implementación del mapeo de la cadena de valor son los siguientes como se mostrarán a continuación:

1. Selección de un área crítica productiva
2. Preparación del mapa del estado actual
3. Revisión documentación existente
4. Identificación procesos principales
5. Definir qué datos hacen falta y deben recopilarse
6. Recoger la información
7. Análisis del mapa del estado actual
8. Mapa del estado futuro
9. Cálculo del tack time
10. Establecer tiempo deseado




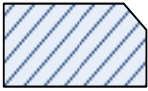
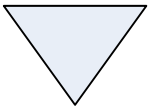

11. Implementación de herramientas de mejora.

En la siguiente tabla se define cada uno de los iconos usados para el mapeo de la cadena de valor:

ICONO	REPRESENTA	NOTAS					
ICONOS DE MATERIAL							
	Proceso de Manufactura	Una caja es igual a un área de flujo continuo. Todos los procesos deben ser identificados.					
	Control de Producción	Las cajas de proceso se utilizan para identificar departamentos como control de producción.					
	Fuentes Externas	Usados para mostrar proveedores, clientes y procesos externos de manufactura.					
<table border="1" data-bbox="329 1646 496 1776"> <tr> <td>C/T = 145 seg</td> </tr> <tr> <td>C/O = 90 min</td> </tr> <tr> <td>3 turnos</td> </tr> <tr> <td>4 % desperdicio</td> </tr> <tr> <td> </td> </tr> </table>	C/T = 145 seg	C/O = 90 min	3 turnos	4 % desperdicio		Caja de datos del Proceso	Se utiliza para registrar información respecto a un proceso de manufactura, departamento, etc.
C/T = 145 seg							
C/O = 90 min							
3 turnos							
4 % desperdicio							

	Inventario	Se debe anotar la cantidad y el trabajo que representa.
	Camión de Embarque	Anotar la frecuencia de embarques.
	Sistema Pull (Movimiento de Material de Producción)	Material que es producido y movido hacia adelante antes de la necesidad del siguiente proceso.
	Movimiento de Producto Terminado al cliente	
	Supermercado	Inventario controlado de partes que son utilizadas para programar la producción en un proceso anterior.
	Retirada Física	Retiro de materiales normalmente del supermercado.
	Secuencia de Flujo primeras entradas, primeras salidas.	Es un dispositivo que indica un inventario en un sistema en el cual el que primero entra es el primero que sale.

ICONOS DE INFORMACIÓN

	<p>Información Manual</p>	<p>Representa el flujo de información como por ejemplo: programa de producción, programa de embarque.</p>
	<p>Información electrónica</p>	<p>Representa el intercambio electrónico de datos. Por ejemplo: correos.</p>
	<p>Kanban de Producción</p>	<p>Activa la producción de un número determinado de piezas en un sistema de producción.</p>
	<p>Kanban de Retirada</p>	<p>Informa a un encargado del área que debe trasladar los materiales desde un lado hasta el proceso de reposición.</p>
	<p>Kanban de Señalización</p>	<p>Instrucción de producción. Indica cuando se encuentre un punto de reorden y otro lote necesita ser producido. Utilizado donde el proceso proveedor debe producir en lotes.</p>
	<p>Círculo de Retirada</p>	<p>Da permiso para producir un tipo predeterminado y una cantidad</p>



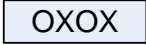


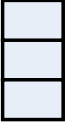

	Ubicación de Kanban	Lugar donde especifican que los Kanban son colectados para su recolección.
	Kanban por Lotes	Llegada de tarjetas Kanban en lotes.
	Nivelación de Carga	Herramienta para nivelar el volumen y mezcla de Kanban en un periodo específico de tiempo
	“Ve a ver” Programa de Producción	Recolección de información mediante la observación.
ICONOS GENERALES		
	Estallido Kaizen	Necesidad de mejorar en un proceso determinado.
	Existencias de Seguridad/Reguladoras	Inventario de seguridad para evitar que la línea de producción pare.
	Operador	Persona que ejecuta una actividad dentro del proceso.

Tabla 2 Definición de la simbología utilizada para el mapeo de la cadena de valor

La aplicación disciplinada, comprometida y eficazmente liderada de estos principios eventualmente conduce a las plantas hacia la conversión en empresas esbeltas y a la obtención de enormes beneficios en términos de eficiencia operacional y ventajas competitivas[34].

Es importante incluir como marco de referencia los aportes que han realizado en su proyectos de tesis de implementación de manufactura esbelta en la industria plástica, como es el caso de (Sarmiento, 2018)[46] presenta los beneficios de la implementación de herramientas de la manufactura esbelta, en la eliminación de desperdicios, reducción de costos.

Una contribución importante en materia de manufactura esbelta es la realizada por Mamani Laricano, Luis Franz, “*Optimización del Proceso Productivo en el Área de Producción de una Industria Plástica*” 2018 hace referencia a la importancia del sistema de producción Toyota y el éxito que ha tenido a lo largo de su implementación en la línea de montaje[47]. Este trabajo aportara significativamente en este estudio de investigación ya que debido a la naturaleza de su proceso comparte similitud a los de la planta en estudio.

Podemos también considerar que a través de la manufactura esbelta se puedes mejorar varios aspectos de los procesos de la compañía, de los cuales mencionamos los siguientes: la rentabilidad, incrementar el nivel de servicio, reducir tiempos de procesamientos y aumentar la autoestima del personal en cuanto a temas laborales debido a su involucramiento dentro de todo el plan de mejora[48].

En base a lo mencionado, cada vez se hace necesario la optimización y aprovechamiento de los recursos en los procesos productivos de cada operación, es decir dirigir todos los esfuerzos y objetivos a mejorar el desempeño de las operaciones con enfoque en la eficiencia operativa. Por lo cual es importante entender que muchos de los indicadores claves de desempeño, están ligados directamente a los resultados de la eficiencia. La industria del plástico no es la excepción en este caso y la eficiencia operativa en este tipo de negocios generar una importante ventaja competitiva, que le permite a las compañías permanecer vigentes en el mercado y cada vez más poder ofrecer nuevas soluciones a los clientes sin sacrificar costos de operaciones debido a la optimización de sus recursos. Considerando el área de producción de envases, que se constituye en la base de este estudio de investigación, encontramos varios elementos que se consideran de impacto en los resultados de desempeño de la eficiencia operativa. La planta de producción de envases PET está conformada por 5 líneas de producción, todas similares entre sí, en cuanto a proceso de producción de soplado, pero con distintas capacidades de producción como se explicará más adelante. Esta capacidad de producción de una línea y otra juega un papel fundamental en el resultado global de la eficiencia operativa de planta, que ya las líneas con mayor velocidad o candencia de producción

en este caso unidades por hora, son las que tienen el peso más significativo dentro de los resultados de la planta de producción de envases.

CAPÍTULO III

MÉTODOS Y TÉCNICA DE INVESTIGACIÓN

En este capítulo se delimitan la metodología y las técnicas utilizadas para compilar y analizar la información utilizada en este proyecto. En el que se expondrá, el tipo de investigación, el diseño de investigación, que sirvieron para la recolección de datos, la selección de la población, los criterios de confiabilidad y validez y las estrategias con las cuales se procedió a obtener y procesar la información de este trabajo de investigación, para finalmente exponer la propuesta más viable para la institución.

Las siguientes fases del proyecto están compuestas por un diagnóstico de la situación actual del proceso de producción de fabricación de envases PET de la empresa SMI, la caracterización de dicho proceso, el diseño propuesto de los modelos de planeación estratégica y táctica y por último las conclusiones y recomendaciones extraídas a partir de todo lo anteriormente propuesto. A continuación, se presenta el diseño metodológico utilizado.

3.1. Tipo, diseño y nivel de investigación

Para este estudio se utilizarán los siguientes tipos de investigación:

3.1.1. Exploratoria.

Permitirá explorar el problema planteado, formulando hipótesis de trabajo, mediante la información que se ha captado en la SMI. Este tipo de investigación permitirá describir, especificar las características del problema, como se originó o como ha ido evolucionando durante todo este tiempo, aplicando métodos, técnicas de investigación y control, así como también permitirá medir estadísticamente la relación existente entre variables del objeto de estudio

3.1.2. Descriptiva.

Permitirá recopilar datos relacionados con la información del problema que se ha encontrado, además de medir y evaluar con la finalidad de realizar una descripción del problema. Se aplicará

con el propósito de desarrollar y describir como incide la ausencia de un modelo de gestión de producción en el incremento de la eficiencia operativa en la empresa SMI, evaluando las características del fenómeno en mención, es decir se encargará de describir y medir con la mayor precisión posible el mismo, tomando en cuenta espacio tiempo, también tendrá como técnicas de recolección de información primaria la utilización de la encuesta y la observación de campo.

El diseño de este trabajo de investigación es cuasi experimental debido a que las variables utilizadas para el análisis de datos no van a ser manipuladas como el caso de eficiencia operaciones en la planta de producción de envases PET.

3.2. Método de investigación.

El método de investigación aplicado a este estudio es de tipo explicativo, debido a que se necesita determinar los motivos que generan el problema del bajo nivel de eficiencia operativa en el proceso de fabricación de envases. Este estudio permitirá establecer causa-efecto para encontrar las razones que ocasionan el fenómeno en estudio. Adicional este tipo de método permitirá familiarizarse en el tema que se va a analizar.

En base a lo mencionado se justifica la aplicación del método de investigación explicativa como la base de este estudio que permitirá encontrar respuestas a las causales del problema de la eficiencia operativa de las líneas de producción de envases PET.

3.3. Determinación de la muestra

La determinación de la muestra para este caso de estudio toma como referencia todo el proceso de producción de envases PET de la planta de soplado y se va a enfocar en la línea de producción que tiene mayor oportunidad de mejora.

La muestra de análisis comprende al proceso de producción de envases PET en la planta de soplado de SMI, debido a que los resultados de eficiencia operacional no han llegado a meta esperada por la dirección de manufactura y donde se presentan varias oportunidades de mejora. Se ha seleccionado una muestra no probabilística.

3.4. Instrumentos de investigación

En correspondencia con la información primaria y secundaria seleccionada para el estudio, se recopila información que sirve de guía para alcanzar los objetivos ya planteados. La obtención de esta información será mediante técnicas e instrumentos que pueden ir variando a lo largo del desarrollo de este estudio. La recopilación de datos se lo hará mediante:

- Reporte e informes de producción.
- Reporte de indicadores de manufactura
- Entrevistas con el personal ligado al proceso productivo, utilizando preguntas abiertas que también serán consideradas dentro de la lluvia de ideas.
- Información suministrada por la empresa a través de sitios web.
- Lluvia de ideas con las personas involucradas en el proceso productivo, con la finalidad de indagar en la problemática más común dentro del proceso de producción.

De igual manera se utilizará el método de observación, que se efectuará realizando visitas a la planta de producción, de esta forma entender el contexto de la organización de forma visual, adicional se analizará el flujo de procesos actual.

3.5. Tratamiento de la Información

Se analizará cuantitativamente los resultados históricos del comportamiento de la eficiencia operacional en la planta de fabricación de envases PET en los últimos 2 años (desde enero 2019 a diciembre 2020), para lo cual se utilizará como información preliminar de reportes mensuales y registros de producción, reportes de indicadores y otros datos considerados información relevante para este estudio como es el caso de reportes de paradas de línea de los 6 últimos meses del año 2020, periodo que comprende desde julio a diciembre. De igual manera se extraerá información de reportes diarios de eficiencia en la cual coincidan las cinco líneas programadas, toda esta data tiene que estar compuesta por una base de información no menor a 30 datos, para que sea considerado valores significativos. Esta información proporcionada por la organización ayudará a realizar el diagnóstico inicial y obtener una perspectiva más amplia de las falencias y problemas de mayor impacto dentro del proceso productivo de las operaciones de la planta de soplado.

Adicional se analizará la información cualitativa extraída de lluvia de idea y de entrevistas con personal relevante dentro del procesos de producción, la cual ayudará la estructuración de diagramas de causa-efecto y diagramas de árbol, muy importantes en la determinación de causa raíz de problemas.

El procesamiento de información se lo realizará con ayuda de hojas de cálculo de Excel que servirá para la tabulación de datos que posteriormente pasarán a minitab 19 para la ejecución de pruebas estadísticas y uso de herramientas para la construcción de gráficos como es MSVISIO.

Como parte de la metodología aplicada para este trabajo de investigación, que comprende el análisis de la situación actual de la empresa en estudio y la propuesta de implementación que aplique un sistema de mejora continua, se hará uso del modelo de seis sigma expuesto en el marco teórico, conocido como DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar/Implementar, Controlar). Cabe indicar que la aplicación de la metodología DMAIC servirá como modelo para el planteamiento y la estructuración para la resolución de problemas; así también con la implementación del proceso de mejora y la aplicación de todo el conjunto de herramientas estadísticas que van a ser usadas en este estudio. A continuación, se mostrará el sistema metodológico a seguir para este trabajo de investigación, apegado al modelo DMAIC:

ETAPA	PASO	HERRAMIENTA
Definir	Estableces los objetivos del proyecto.	Carta del proyecto.
	Establecer los integrantes de proyecto.	El criterio de selección se basa en el nivel experiencia y antigüedad de los participantes.
	Identificación de clientes y necesidades.	Mapeo de Proceso. (Basada en la metodología Lean Manufacturing VSM)
	Identificación de las variables críticas de entrada y salida del proceso.	Voz del Cliente (VOC) y diagrama SIPOC
Medir	recopilación de la información y de Datos.	Plan de recolección de datos. Comportamiento histórico de la información.

		Medición del proceso actual a través del índice de capacidad de proceso.
Analizar	Confirmación de las variables críticas de entrada y salida del proceso.	Priorización de línea: análisis de capacidad de línea. Diagrama de Causa - Efecto Diagrama de árbol.
	Desarrollo Estadístico	Diagrama de Pareto. Análisis de probabilidad.
Implementar/mejorar	Optimización del Proceso	Plan de Acción Propuesta de implementación de herramientas de lean manufacturing.
Controlar	Implementación de los controles para mantener las condiciones ideales.	Plan de Control Implementación de indicadores.

Tabla 3. Metodología del modelo DMAIC

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Fase de definir.

Es preciso indicar que parte del proceso de definir en el marco del modelo DMAIC, es poder entender el proceso actual de la empresa en estudio, para cual se utilizará como herramienta de análisis el diagrama SIPOC (proveedor, entrada, proceso, salida, cliente), para tener un enfoque amplio sobre las interacciones, en este caso el proceso de fabricación de envases PET en la planta de soplado.

S	I	P		O	C
Proveedor	Entradas	Proceso	Descripción	Salidas	Clientes
Proveedor	Cuales son las entradas?.	Cuales es el proceso que será observado?	Quien ejecuta el proceso? Documento y normativas utilizadas en el proceso?.	Cuales son los elementos de salida?.	Quien recibe el producto? Cual es el cliente?.
Planificación y control de la producción.	Programa de producción.	1. Elaboración de orden de fabricación.	Asistente de producción. Elaboración de orden. Programa de producción de envases.	Requerimiento de materiales. Orden de fabricación	Operador líder de soplado.
Almacen	Preformas. Material de embalaje: Bandejas de cartón, pallet de madera, zuncho plástico, cinta de embalaje, grapa, stretch film. Etiquetas rollfilm.	2. Recepción de preformas y material de embalaje.	Operador líder. Pedido de traslado interno. Recepción de materiales.	Contabilización e ingreso de preformas y material de embalaje.	Planta de soplado.
Almacen	Preformas.	3. Vaciado de preformas en tolva.	Operador de soplado.	Ingresos de preformas en maquina.	Operador de soplado.
Asistente de producción	Orden de fabricación. Preformas.	4. Soplado de envases	Operador de soplado. Hoja de especificaciones de envase. Hoja de parametria de procesos, recetas.	Envases sopladas	Proceso de etiquetado.
Proceso de soplado	Envases sopladas	5. Transporte de envases	N/E	Envases sopladas	Proceso de etiquetado rollfilm
Soplado	Orden de fabricación. Envases soplado. Adhesivo hot melt. Etiquetas rollfilm.	6. Etiquetado rollfilm	Operador de etiquetadora. Especificaciones de etiquetado.	Envases etiquetados	Proceso de paletizado de envases.
Etiquetado	Envases sopladas y etiquetas. Bandejas de cartón. Pallets de madera.	7. Paletizado de envases	Ayudantes de producción. Norma de embalaje: cantidad de unidades por pallet.	Envases paletizadas.	Embalado/rotulado
Paletizado de botellas	Orden de fabricación. Envases paletizadas.	8. Embalado/rotulado	Ayudantes de producción. Consumo de preformas en Orden.	Pallets de botellas de producto terminado. Notificación de producto terminado.	Entrega de producto terminado.
Embalado/rotulado	Pallets de envases de producto terminado.	9. Entrega de producto terminado.	Operador líder. Liquidación de envases.	Producto terminado.	Área comercial Almacen de PT.

Tabla 4. Diagrama SIPOC

Elaborado por: Pedro Quezada Orejuela.

En la tabla 4, se muestra toda la interacción del producción del proceso, el cual abarca las entradas al proceso que son parte de los necesidades del cliente canalizadas por PCP (planificación y control de la producción) a través del programa de producción y la salida de las mismas por medio del producto terminado al área de Almacén, que se convierte en el custodio, pero el área que se considera como dueño y administrador del inventario es el de procesos de comercialización, que es el encargado de disponer directamente de este recurso para la venta. Por lo cual se hace imperativo en esta primera etapa se identifiquen todos los factores que impiden el cumplimiento del plan de producción, que prácticamente se convierte en el objetivo principal de la planta de soplado y su proceso de producción de envases PET.

4.1.1. Diseño del mapa de la cadena de valor del proceso de producción de envases PET.

El proceso de mapeo de la cadena de valores dentro del proceso de producción de envases PET, en la planta de soplado se inició con un recorrido por la planta de producción. La atención se dirigirá a cada etapa del proceso que se conseguirá se reconoció cada una de las etapas del proceso desde el ingreso de la materia primer, que para este caso con las preformas, hasta su etapa final que es la entrega de los pallets de producto terminado al área de almacén, de esta forma obteniendo así un bosquejo preliminar del recorrido del producto, a partir del cual se graficara el mapa de la cadena de valor del proceso.

4.1.2. Flujo de materiales desde el cliente.

En esta etapa se reunió toda la información necesaria para gestión de las operaciones en la planta de soplado, y esta información va desde la demanda del producto y los requerimientos de materia prima. De acuerdo con los reportes de demanda de los clientes con respecto a los envases producidos en la línea 4, en un período de tiempo de 6 meses correspondientes al año 2020, la demanda del producto en promedio por mes fue de 3.7 millones de envases.

4.1.2.1. Operaciones.

A partir de la información recopilada durante el recorrido en planta se procede a construir el mapa de la cadena de valor del proceso de fabricación de envases PET, en los cuales se plasman los cuatro subprocesos que comprende la elaboración del producto, indicando sus tiempos de ciclo y número de operarios intervinientes. Esta interacción de las velocidades y TC los podemos observar en la siguiente tabla:

Operaciones	Tiempo	Unidad	Timpor ciclo seg.
Alimentación de preformas en tolva	8,000	Bxh	0.45
Soplado	8,000	Bxh	0.45
Traslado en transportado aéreo	8,000	Bxh	0.45
Etiquetado	10,000	Bxh	0.36
Paletizado	13,000	Bxh	0.28
Embalado/Rotulado	13,000	Bxh	0.28
Total de tiempos			2.26

Tabla 5. Tiempo ciclo de operaciones en línea 4.

Elaborado por: Pedro Quezada Orejuela.

4.1.2.2. Flujo de la información.

La demanda del producto se genera a través de las ordenes de compras como información de entrada a PCP, los cuales se cumplen mediante un cronograma de entregas semanales. De acuerdo con los pedidos recibidos, el área comercial de la empresa programa semanalmente su producción, así como también planifica las necesidades de preformas con la planta de inyección PET. En este criterio las preformas son pedidas directamente al Almacén de producto terminado de preformas, las etiquetas son proporcionadas por el cliente y su control es a través de reportes de inventarios semanales y los insumos son controlados por el área de compras.

4.1.2.3. Cálculo del takt time.

El cálculo del takt time para el proceso de fabricación de envases PET de la planta de soplado, se basa en la información obtenida sobre la demanda promedio de envases en los últimos 6 meses del 2020 y la disponibilidad de planta se realiza el cálculo que se observa en la siguiente tabla. En la siguiente fórmula se muestra el criterio para el cálculo, que es en base a tiempo disponible y la demanda del cliente.

$$\text{Takt time} = \frac{\text{Tiempo disponible de trabajo}}{\text{Demanda del cliente}}$$

Disponibilidad	Cantidad	Unidades
Demanda mensual 2020	3,700,000	Unidades
Tiempo disponible por día	12	Horas
Turnos por día	2	Turnos
Días disponibles	26	Días
Tiempo disponible por mes	624	Horas
Tiempo disponible por mes	37,440	Minutos
Tiempo disponible por mes	2,246,400	Segundos
Takt Time (TT)	0.61	Seg. / Unidad

Tabla 6. Tabla de cálculo para takt time de proceso de soplador línea 4.

Elaborado por: Pedro Quezada Orejuela.

A continuación, se muestra en la figura 14, el VSM del proceso de fabricación de envases PET de la planta de soplado, en las condiciones actuales.

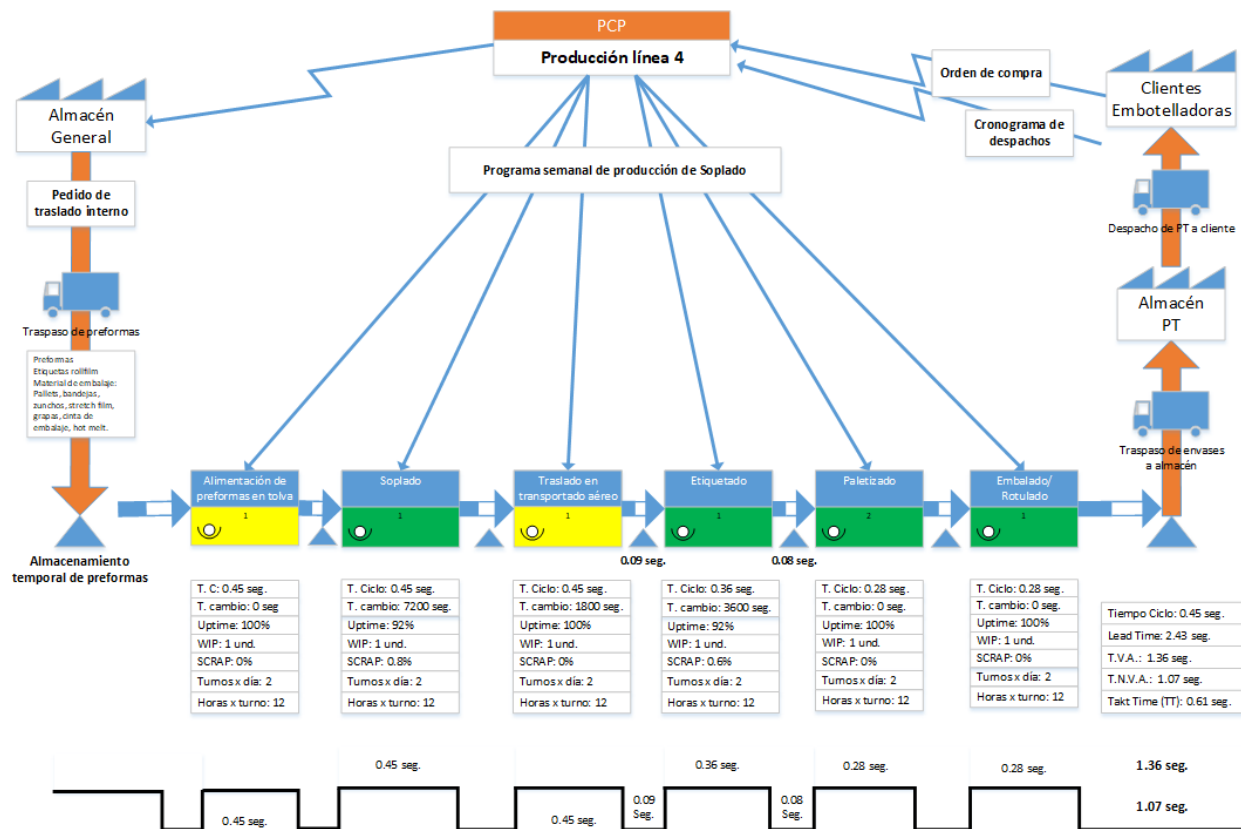


Figura 14. Mapa de la cadena de valor VSM del proceso de producción de envases.

Elaborado por: Pedro Quezada Orejuela.

La figura 14, tiene la finalidad de mostrar todo el flujo de información y de materiales a lo largo del proceso de producción de envases PET. En este sentido lo primero que se observa es el balance entre las tres primeras operaciones de la cadena de valor, lo cual marca el tiempo ciclo del proceso que es de 0.45 segundos por unidad producida. Se observa un tiempo de valor agregado (T.V.A) de 1.36 seg., marcadas las operaciones con color verde y el tiempo de valor no agregado (T.N.V.A) de 1.07 seg. Marcado con color amarillo, que corresponde al 44% del tiempo total del proceso, que corresponden a *WIP “work in progress”* por sus siglas en inglés, o trabajo en proceso que corresponde a todo el inventario que existe a lo largo de la cadena en función del tiempo, cabe indicar que este *WIP* se trata del inventario de preformas al inicio de proceso y los envases que se trasladan a lo largo del transportado de botellas y finalmente como pallets de producto terminado. Una oportunidad considerable de mejorar está ubicada en el proceso de soplado en el tiempo de cambio, que actualmente tiene un tiempo programando de 7200 seg. y en las operaciones alimentación de preformas en la tolva y el traslado en transportador aéreo de botellas, que son las dos actividades necesarias, pero que no agregan valor al proceso.

El objetivo de esta etapa es definir el problema que se requiere resolver o la oportunidad de mejora en la que se desea intervenir. Considerar lo expuesto en el planteamiento del problema, tenemos que la problemática a tratar es el incumplimiento del objetivo de eficiencia operativa en el área de producción de envases del proceso de soplado PET.

Los resultados presentados en la figura 4, muestran el comportamiento de los resultados de eficiencia operativa en los años 2019 y 2020, en los cuales el valor acumulado para los dos años no llega al valor esperado que es de 95% del objetivo planteado por el corporativo de SMI y de igual manera el comportamiento mensual. También esta relaciona el hecho que este problema conlleva a otro efecto consecuente que de forma directa derivarán en problemas, afectarán el cumplimiento del programa de producción y a su vez retraso en la entrega con los clientes.

4.2. Fase de medir.

Dentro de la fase de medir para el proceso que se ha considerado crítico de este estudio se ha considerado la utilización del análisis de capacidad de procesos *Cpk*, lo que va a permitir evaluar la situación de los resultados obtenidos, considerando 32 observaciones de los 3 últimos meses del

año 2020. Estos 32 datos corresponden a días en los cuales la planta tuvo producción con las 5 líneas, es decir programadas al cien por ciento de su capacidad disponible siendo una muestra significativa para este estudio.

4.2.1. Prueba de normalidad.

Se debe considerar que previo a realizar el análisis de capacidad de procesos, se tiene que realizar la prueba de normalidad, lo cual permitirá conocer si los datos obtenidos de la eficiencia operativa corresponden a una distribución normal.

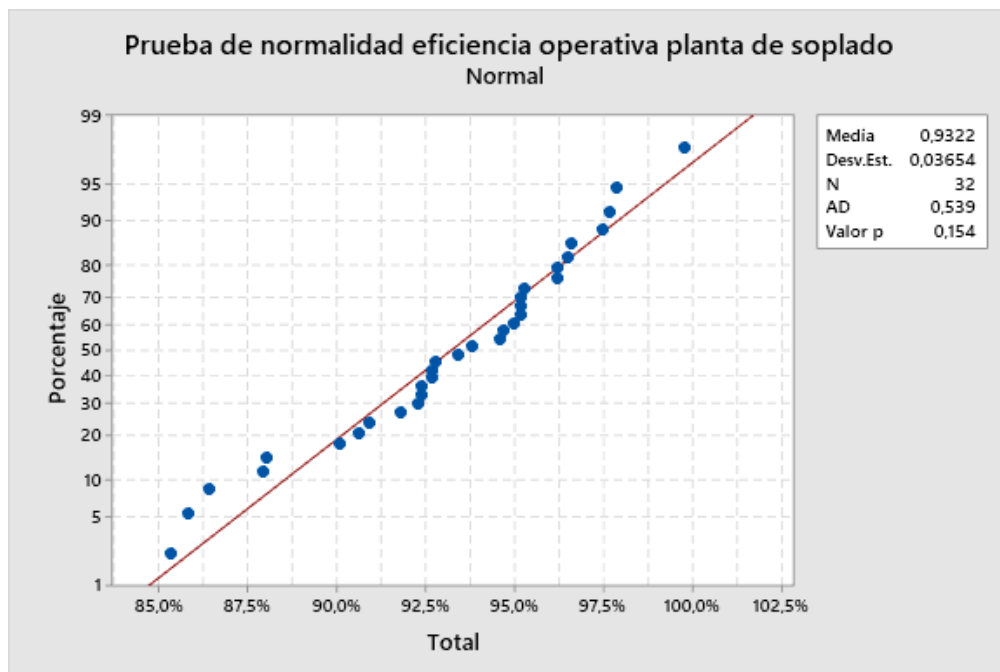


Figura 15. Prueba de normalidad eficiencia operativa planta de soplado.

Elaborado: Pedro Quezada Orejuela.

El resultado de la prueba de normalidad aplicó el método de Anderson-Darling, utilizando el programa Minitab 19 y para validar si la muestra se ajusta a una distribución normal se cumplió con la siguiente hipótesis:

H0 = Los datos obtenidos corresponden a una distribución normal.

Ha = Los datos obtenidos NO corresponden a una distribución normal.

Por lo tanto, SI:

Valor $P < \alpha$: Se rechaza H_0 , a favor de H_a

Valor $P > \alpha$: No se rechaza H_0

En este caso no existe evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula H_0 con un P valor de 0,154 mayor a α que es de 0,05, por lo no existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula en favor de la hipótesis alterna, es decir que se concluye que los datos presentados corresponden a una distribución normal.

De esta forma se presentan la distribución de los datos a través de un histograma de frecuencia en el cual se podría visualizar los valores descriptivos. Se presenta a continuación:

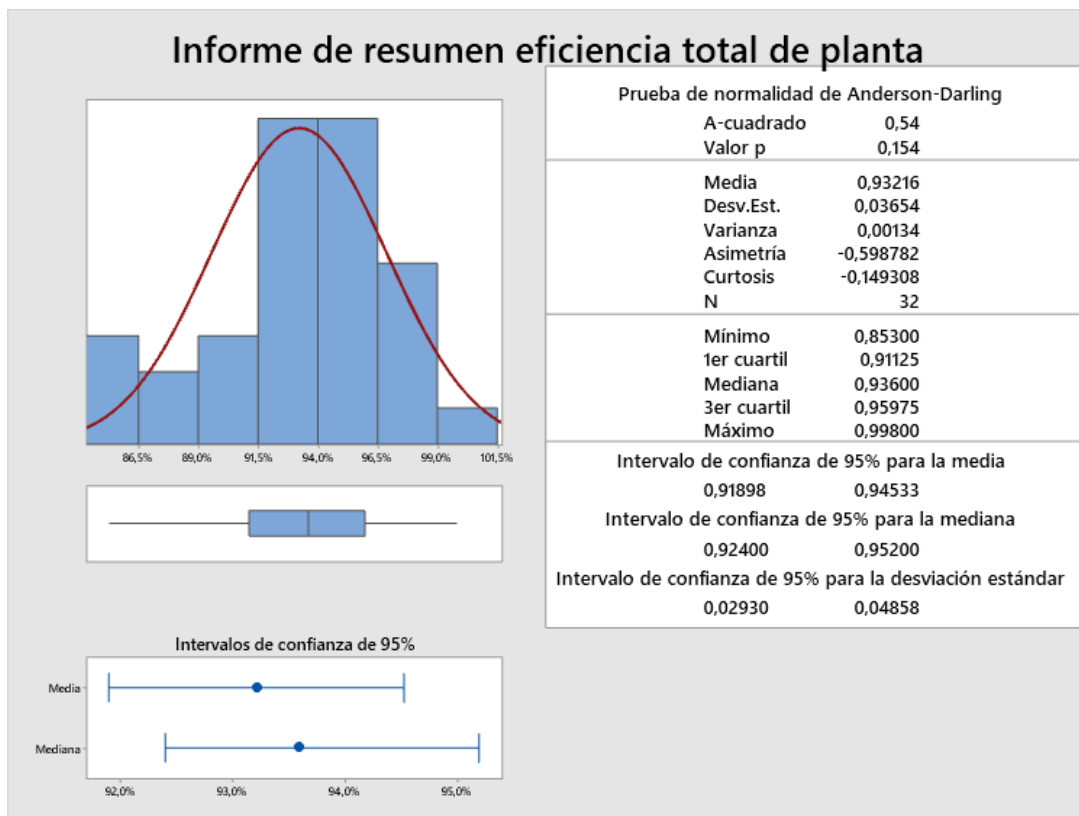


Figura 16. Informe de resumen de eficiencia operativa planta de soplado.

Elaborado: Pedro Quezada Orejuela.

Variable	Conteo								
	total	Media	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo	Rango
Total	32	93.2%	3.7%	85.3%	91.1%	93.6%	96.0%	99.8%	14.5%

Tabla 7. Datos descriptivos de eficiencia operativa total.

Elaborado por: Pedro Quezada Orejuela.

Los datos obtenidos a partir del análisis descriptivo dan como resultado lo siguiente; de la muestra de 32 datos de eficiencia en la planta de soplado, nos da un valor medio de eficiencia operativa de 93.2%, lo que representa 1.8 puntos por debajo de la meta propuesta, la desviación estándar muestra que la dispersión de los datos con relación a la media es de 3.7% el dato máximo de eficiencia reportado está en 99.8%, que correspondería a 4.8% por arriba del objetivo, pero poco frecuente si analizamos el histograma de frecuencia de la figura 16. Otro aspecto analizado entre los datos descriptivos es la amplitud de la dispersión de los datos entre la valor máximos y mínimos que se ve reflejado en el rango, dando un valor 14.5 punto porcentuales. En el análisis de los cuartiles vemos que el 50% de los datos están los valores entre 91.1% y 96% de la eficiencia operativa total de la planta, esto incluye el valor de la media y del objetivo de eficiencia.

4.2.2. Índice de capacidad de proceso de la eficiencia operativa.

De esta forma se procederá a realizar el índice de capacidad de procesos, lo que permitirá evaluar el comportamiento actual de los datos con respecto a la eficiencia operativa en la planta de producción de envases y determinar cuál es el nivel sigma. En este caso de igual forma que en la prueba de normalidad se utilizarán los mismos datos y se procesarán mediante el software de minitab 19. Los límites de especificaciones utilizada para este análisis están en función de los objetivos de eficiencia establecidos, que son:

- Límite superior LES: 100%, como límite máximo de especificación.
- Límite inferior LEI: 90%, que es el valor mínimo requerido por el departamento de planificación.

- Como objetivo se asigna la meta a considerar por el corporativo de la compañía, que es del 95% de eficiencia operativa.

Hay que mencionar que el criterio de la asignación de los límites de especificación para este análisis está en base a: el valor máximo de eficiencia operativa que se puede obtener que es el 100% y el valor del límite inferior está sujeto al criterio de capacidad de línea durante el horizonte de planificación por PCP. Este valor del límite inferior es sujeto a variación de acuerdo con la evolución y mejorar que se hagan en el proceso posteriormente.

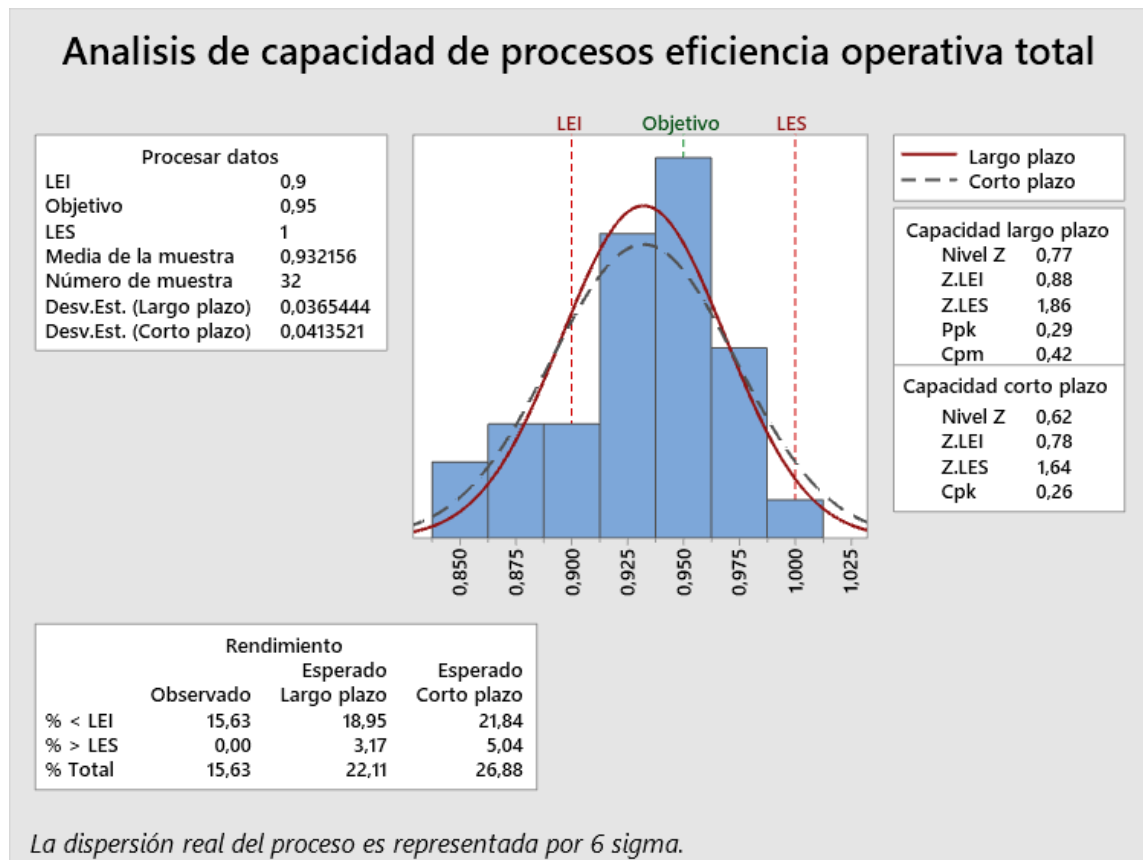


Figura 17. Análisis de capacidad de procesos de la eficiencia operativa de la planta de soplado.

Elaborado por: Pedro Quezada Orejuela.

Los resultados obtenidos del análisis de capacidad de proceso muestran el niveles de Cpk 0.26, muy por debajo del valor de referencia que tiene que ser mayor a 1.33, para los límites de especificación establecidos, por lo que se concluye que el proceso no es capaz de cumplir con

especificaciones establecidas por PCP y el corporativo. Se puede observar que la distribución de los datos en el proceso actual presenta problema de centramiento y variación, existe mayor oportunidad de mejora en el rendimiento porcentual esperado a largo y corto plazo en LEI del 18.95%, que corresponden a los valores que están por fuera de límites y a su vez es la probabilidad de fallo del proceso. También se observa un nivel de sigma del 0.61.

4.3. Fase de analizar.

En esta etapa del modelo DMAIC, se identifica la causa raíz del problema. Como resultado de este paso, se espera que se crean oportunidades de mejora. Como parte del análisis del problema planteado en esta etapa, a primera instancia se evaluará el comportamiento individual de cada una de las cinco líneas de producción de la planta de producción de envases, y a su vez este estudio permitirá que el enfoque este dirigido a las líneas que cuyo resultado este por debajo del objetivo de eficiencia operativa. La información histórica individual por línea presentado en la figura 18, correspondiente al año 2020.

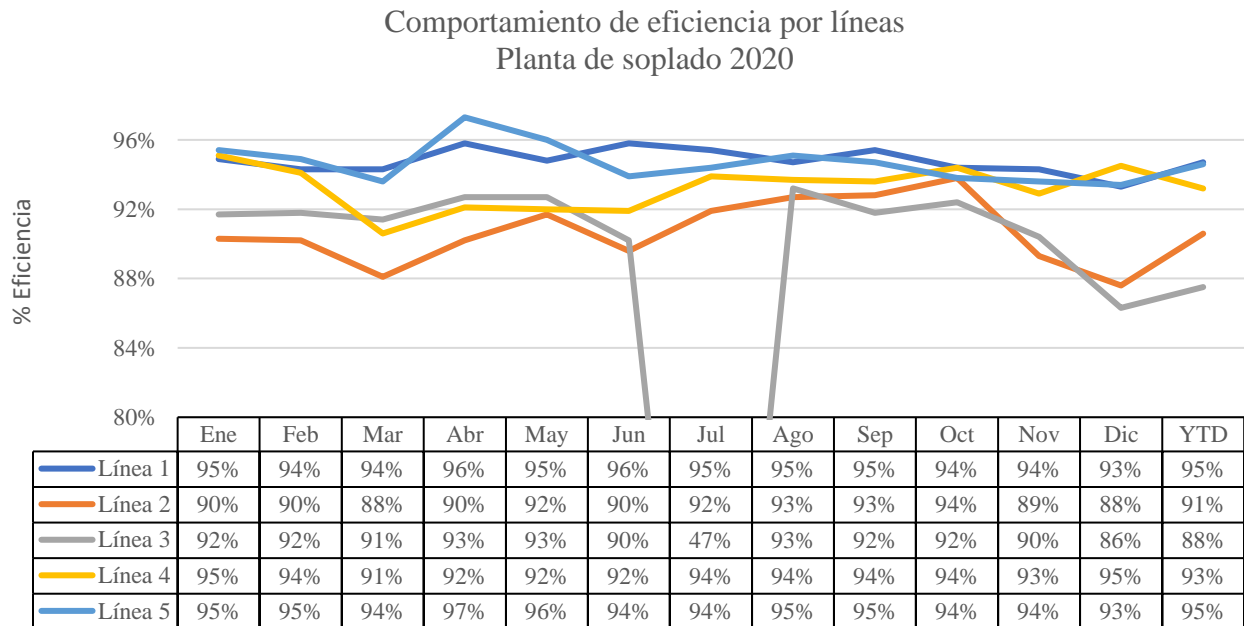


Figura 18. Comportamiento de eficiencia por línea planta de soplado 2020.

Fuente: Información de la empresa SMI.

Al observar el desempeño individual de las líneas de producción en el año 2020, de acuerdo a la figura 18, se puede visualizar que el promedio de todos de la eficiencia operativa de la columna

del YTD, la línea 1 muestra un resultado dentro del objetivo de eficiencia operativa con 95% y la línea 5 de igual manera con el mismo valor, distinto a las líneas 2, 3 y 4 cuyos promedios durante el año 2020 fueron de 91%, 88% y 93% respectivamente para cada línea, y como dato adicional a este análisis se observa que en ningún mes del año el valor de eficiencia operativa llega al objetivo de 95% en el caso de las tres líneas. Al revisar el comportamiento de eficiencia operativa por línea, se puede indicar que el enfoque a determinar, las oportunidades de mejoras, identificación de problemas y elaboración de estrategias para la consecución de los objetivos planteados en este trabajo de investigación, van a ser direccionadas las tres líneas de producción que tienen menor desempeño dentro de la planta de producción en el período analizado. Adicional se plantea realizar un análisis las capacidades de producción de cada una de las líneas, como se observará en la siguiente tabla de participación de la capacidad porcentual por línea en planta de soplado SMI.

Líneas	Velocidad de línea (cadencia técnica) botellas por hora	Porcentaje de participación de capacidad por línea	Capacidad Produccion al día al una disponibilidad 100% botellas por día
Línea 1	13,000	49%	312,000
Línea 2	2,000	7%	48,000
Línea 3	1,800	7%	43,000
Línea 4	8,000	30%	192,000
Línea 5	2,000	7%	48,000
Total	26,800	100%	643,000

Tabla 8. Elaborado por: Pedro Quezada Orejuela.

Elaborado: Pedro Quezada Orejuela.

La información mostrada en la tabla 8, muestra la capacidad de producción por línea, de la planta de fabricación de envases, el cual toma un valor importante en este análisis, pero antes se procederá a explicar el significado de cada columna:

- **Velocidad de línea (cadencia técnica) botellas por hora**, estos valores son datos técnicos indicados por el fabricante del equipo, son la base del cálculo para la capacidad de producción y eficiencia operativa considerados para la planificación ya sea esta a mediano o corto plazo. Se denomina cadencia a la cantidad de unidades o botellas que la máquina es capaz de producir en una hora y la unidad de medida que se usa para este cálculo esta dado en unidades.

- **Porcentaje de participación de capacidad por línea**, está en base a la capacidad de producción de cada línea. Este valor se da dividiendo el valor individual de la línea para el total que genera toda la planta. Esto permite identificar el aporte porcentual que tiene cada línea en la capacidad de producción total de la planta.
- **Capacidad Produccion al día a una disponibilidad 100% botellas por día**, este valor es el resultado de multiplicar la cadencia de la línea que está dado en botellas por horas por el tiempo disponible que la línea tiene para producir día. El valor de horas disponibles considerado es de 24 horas, pero en algunos casos va a depender de las necesidades que tenga PCP (planificación y control de la producción).

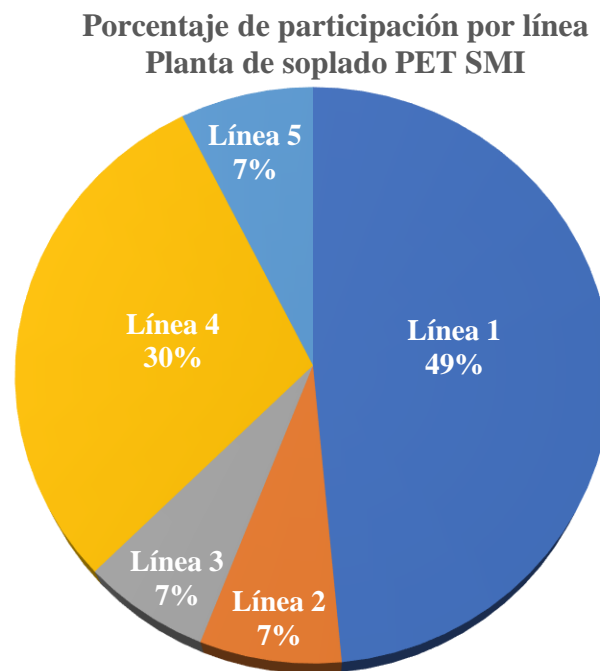


Figura 19. Porcentaje de participación de la capacidad de producción por línea planta de soplado.

Mediante la tabla de distribución de capacidad por línea y la figura 19, se puede observar que las líneas con mayor porcentaje de capacidad de producción, está en las líneas 1 y 4. Ambas líneas está concentrado el 79% de la capacidad total de la planta, por lo que se considera que todas las acciones de mejorar o análisis de problemas tendrían que enfocarse principalmente en el funcionamiento de estas líneas. Las líneas 2, 3 y 5 suman el 21% de la capacidad disponible de la

planta. Como resumen en base a la información obtenida y expuesta en esta fase, se muestran en la siguiente tabla:

Líneas	Porcentaje de participación de capacidad por línea	Resultado de eficiencia promedio 2020	Nivel de cumplimiento
Línea 1	49%	95%	Dentro de objetivo
Línea 2	7%	91%	Fuera de objetivo
Línea 3	7%	88%	Fuera de objetivo
Línea 4	30%	93%	Fuera de objetivo
Línea 5	7%	95%	Dentro de objetivo

Tabla 9. Capacidad de producción versus eficiencia operativa 2020.

Elaborado: Pedro Quezada Orejuela.

El resultado de los valores de eficiencia en la tabla 9, demuestra que 3 de las 5 líneas de producción están fuera de objetivo, esto a su vez se podría considerar que el 60% de las líneas están fuera de meta, considerándolo desde la perspectiva de total de línea, pero si se lo analiza desde el nivel de capacidad que concluye que hay una oportunidad de mejora del 44%. Para poder determinar la prioridad de la línea producción a las cuales se requiere dirigir el enfoque, se hace imprescindible indagar ¿Cuál de las líneas fuera de objetivo, al aumentar su eficiencia operativa, aporta significativamente al incremento de la eficiencia operativa total de la planta?

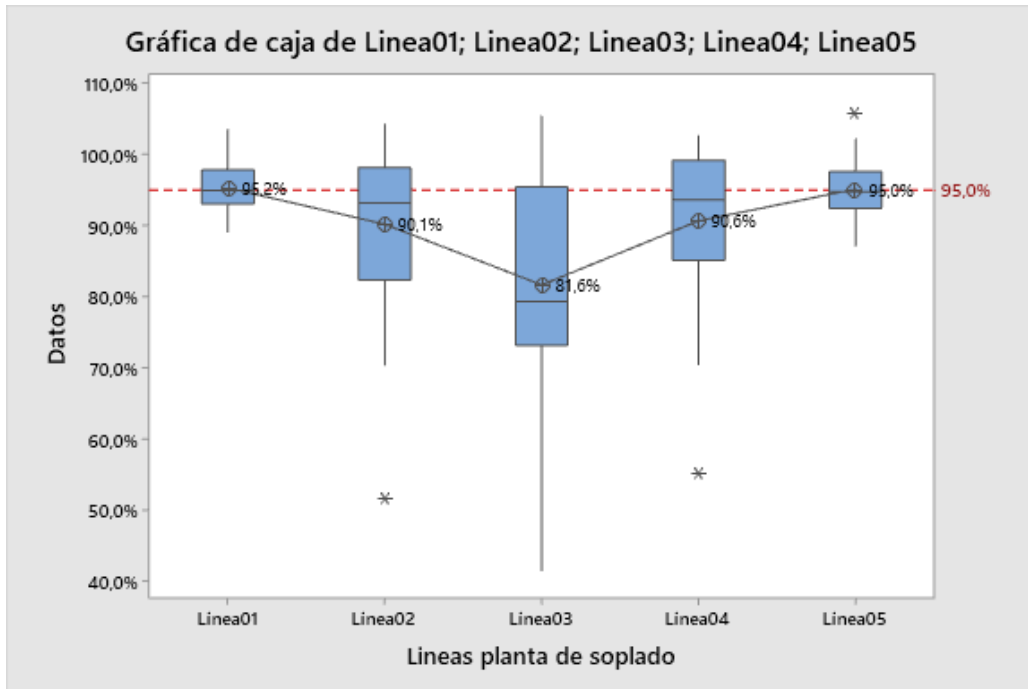


Figura 20. Grafica de caja de eficiencia operativa por línea.

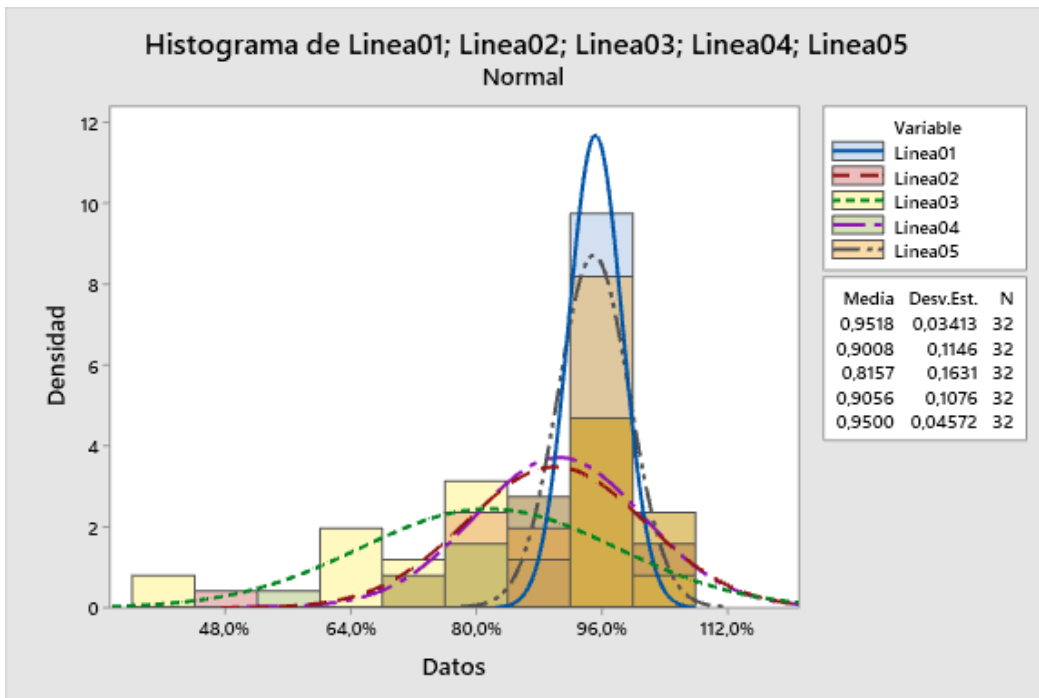


Figura 21. Grafica de variación de eficiencia por líneas.

el análisis de las líneas de producción de la planta de soplado realizado a través de la gráfica de cajas mostrado en la figura 21, se puede observar la interacción de los valores de las medias de cada una de las línea de producción con respecto a la eficiencia operativa, así también la aproximación de hacía a la línea de referencia del 95% que es el objetivo, de esta forma se evidencia el cumplimiento las líneas de producción 1 y 5 con relación al objetivo.

En el caso de las líneas de producción 2 y 4 se observa que los valores de las medias de ambas elementos no llega a la línea de referencia de eficiencia operativa, pero en el rango de datos entre la agrupación de datos de la caja del segundo y tercer cuartil existen grupos de datos que están dentro del objetivo.

Por último, la línea de producción numero 3 es la más alejada de la línea de referencia objetivo con respecto a la media de sus datos y se observar que existe mayor variabilidad de acuerdo con el tamaño de la caja. De igual manera se observa la distribución de las líneas en el histograma de la gráfica 21, que se distingue las campanas de la línea 1 y 5 con variaciones un poco similares a diferencia de la línea 2, 3 y 4, en que la variabilidad es mayor.

Considerando el cuestionamiento planteado en el párrafo anterior, es importante realizar una descripción a medida de resumen, en el cual se expongan los resultados de eficiencia obtenidos en el año 2020, las variables a considerar por el área de PCP y el impacto provocado por el incumplimiento de la eficiencia operativa en cuanto a cantidad de producto no fabricado, descrito en función de millares y las horas no aprovechadas en el proceso, como tiempo perdido.

Líneas	Linea01	Linea02	Linea03	Linea04	Linea05	Total planta
Eficiencia obtenido por línea (E.O.L)	95%	91%	88%	93%	95%	92%
Objetivo de eficiencia por línea	95%	95%	95%	95%	95%	95%
Gaps (objetivo - resultado)	0%	4%	8%	2%	0%	3%
Cadencia (botellas x hora)	13,000	2,000	1,800	8,000	2,000	26,800
% Capacidad disponible por línea (%.C.D.L)	49%	7%	7%	30%	7%	100%
Horas programadas (mes)	624	624	624	624	624	3,120
Producción programadas (Millares x mes)	7,706	1,186	1,067	4,742	1,186	15,887
Producción obtenida (millares x mes)	7,706	1,131	983	4,653	1,186	15,658
Diferencia (millares x mes)	-	55	84	90	-	229
Tiempo perdido (horas)	-	27	47	11	-	85

Tabla 10. Resumen de impacto de baja eficiencia operativa por línea.

Elaborado: Pedro Quezada Orejuela.

Como se puede observar la línea con mayor nivel de incumplimiento es la línea 3, con una brecha de 8 puntos por debajo del objetivo, sin embargo, la línea 4 que es la línea con menor gap de pérdida de eficiencia operativa, ocupa el puesto de trabajo con mayor pérdida en función de volumen de producción con 90 millares al mes, esto representa 11 horas totales. Considerando la información de la tabla 10, se puede determinar que, para el caso de la planta de envase, la eficiencia operativa va a depender directamente de la capacidad de producción de línea y el aporte porcentual que esta representa en el desempeño global de la misma. Dicho esto, lo representamos de la siguiente forma:

$$\text{Resultado eficiencia operativa} = \sum (E.L * C.L)$$

E.L: eficiencia operativa por línea.

C.L: Participación de la capacidad de línea.

4.3.1. Simulación de resultado de eficiencia por línea.

Lo expuesto en la formula, indica que el resultado del mejoramiento o evolución de la eficiencia operativa va a depender la sumatoria de multiplicar; la eficiencia operativa de cada línea por el porcentaje de capacidad disponible por línea. Se puede simular el resultado de la eficiencia operativa total de planta, manipulando la eficiencia individual de cada línea, para de esta forma considerar cual línea tiene el mayor aporte en el resultado final. Ya se ha evidenciado que las líneas de producción 2, 3 y 4 están fuera de meta y que, de las 3 líneas, la tercera tiene la mayor capacidad de producción disponible, pero el cuestionamiento radica en saber en cuanto puede subir el rendimiento de la planta si cualquiera de las 3 líneas llega al objetivo. A continuación, se presenta la simulación, manipulando la variable de eficiencia utilizando la fórmula descrita y tabulando los datos en una hoja de cálculo de Excel y presentados gráficamente en el software de minitab 19.

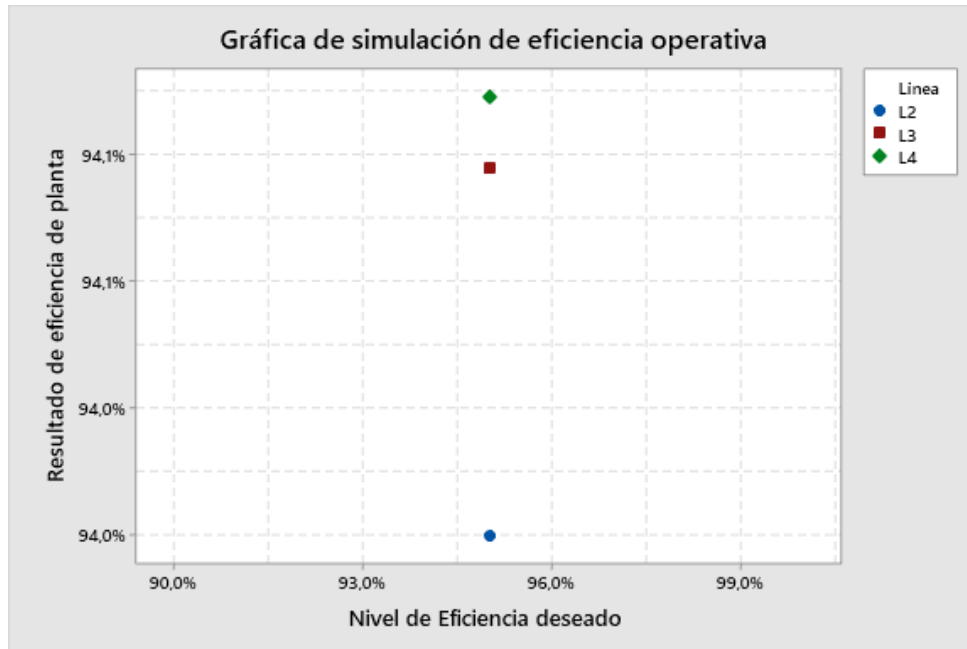


Figura 22. Grafica de simulación de eficiencia operativa.

Descripción	Línea02	Línea03	Línea04
Eficiencia obtenido por línea (E.O.L)	90.6%	87.5%	93.4%
Nivel de Eficiencia deseado	95.0%	95.0%	95.0%
% de incremento eficiencia por línea	4.4%	7.5%	1.6%
Resultado de eficiencia de planta	94.0%	94.1%	94.2%
% de incremento eficiencia en planta	2.0%	2.2%	2.2%

Tabla 11. Tabulación de simulación del comportamiento de eficiencia operativa.

Elaborado: Pedro Quezada Orejuela.

Los resultados obtenidos de la simulación utilizando un método heurístico, muestra que la línea con mayor impacto en el desempeño de los resultados de eficiencia operativa en la planta de producción de envases PET, es la línea 4. Esta línea si alcanza el objetivo de 95% de eficiencia, los que representaría un aumento del 94.2% en la eficiencia total de planta. Por lo tanto, al determinar que la línea 4 es el puesto de trabajo que mayor aporte significativo realiza a la eficiencia global de la planta, esta etapa de análisis estará dirigida específicamente a esta línea y posteriormente se replicará el modelo a las siguientes líneas.

4.3.2. Diagrama de Pareto de los problemas de equipos.

A continuación, se analiza la información de las paradas de línea con el uso del diagrama de Pareto. Para este análisis se hará uso de registros de paradas de línea reportadas en los 6 últimos meses del año 2020, que va desde julio a diciembre. El análisis muestra únicamente solo datos de parada de equipos de la línea 4, que es donde se han encontrados mayor oportunidad de mejorar debido al peso significativo que esta línea tiene, con respecto la capacidad disponible.

El objetivo principal de este análisis es determinar el proceso que genera mayor tiempo de paradas en la línea de producción, que directamente inciden en el bajo desempeño de la línea. Por lo tanto, esto va a permitir dirigir todo esfuerzo.

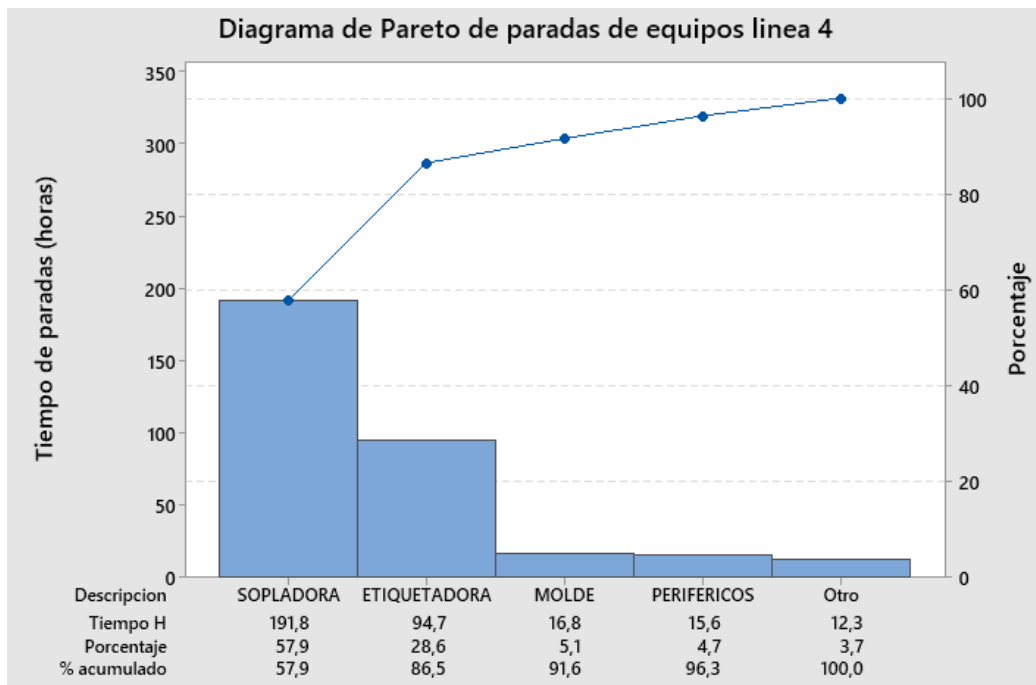


Figura 23. Diagrama de Pareto de parada de línea 4.

Fuente: Reporte de paradas de línea.

Este análisis presenta los datos de paradas de equipos en los cuales observar que la sopladora es el equipo de línea donde se registran el mayor número de paradas, con un tiempo de 191.8 horas que representa el 57.9% y la etiquetadora con 94.7 horas, que a su vez tiene un impacto del 28.6% de paradas. Considerando solo los dos equipos de la línea, presenta un valor acumulado del 86.5% de

todas las paradas de la línea. considerando este principio es necesario analizar las principales causales que generan paradas y de acuerdo con los resultados obtenidos realizar planes de acción para atacar la causa raíz de estas fallas.

4.3.3. Diagrama de causa–efecto.

La identificación de los factores o causas que inciden directamente en el nivel de eficiencia operacional en la planta de fabricación de envases PET será analizados mediante el diagrama de causa efecto mediante el método de las 5 M (manos de obra, materia prima, métodos, maquinaria y medio ambiente)[11]. De esta forma se evaluará todas las causas que están relacionado con el problema que para este caso de estudio es la baja eficiencia operacional.

La metodología aplicada inicia con lluvia de ideas, en este caso al abordar la problemática se hace indispensable involucrar en la reunión al grupo considerado de expertos en el proceso, conformado por líderes de línea, operadores, técnico de procesos y personal de mantenimiento, con el fin de conocer toda la problemática que influye en el desempeño operativo de la línea 4. El aporte de las ideas inicia exponiendo la problemática actual, las cuales son registradas una a una sin importar el orden a manera de lista. Una vez enumerado todos los factores que se consideran parte de los problemas que tiene la línea de producción, estos son categorizados de acuerdo con el modelo criterio general de la metodología utilizada, es decir se los relaciona con cada una de las M del modelo original de diagrama de causa - efecto y los subgrupos de igual forma relacionarlas con una de las causas. Debido a que el método permite a las personas interactuar y generar ideas, muchas de estas pueden llegar a tener cierta similitud una con otro, por lo que le modelador en el momento de realizar la relación deberá descartar las que se consideran repetidas.

En la siguiente figura se muestra el diagrama de causa efecto, con las causas y subcausas con relación al método de las 5Ms:

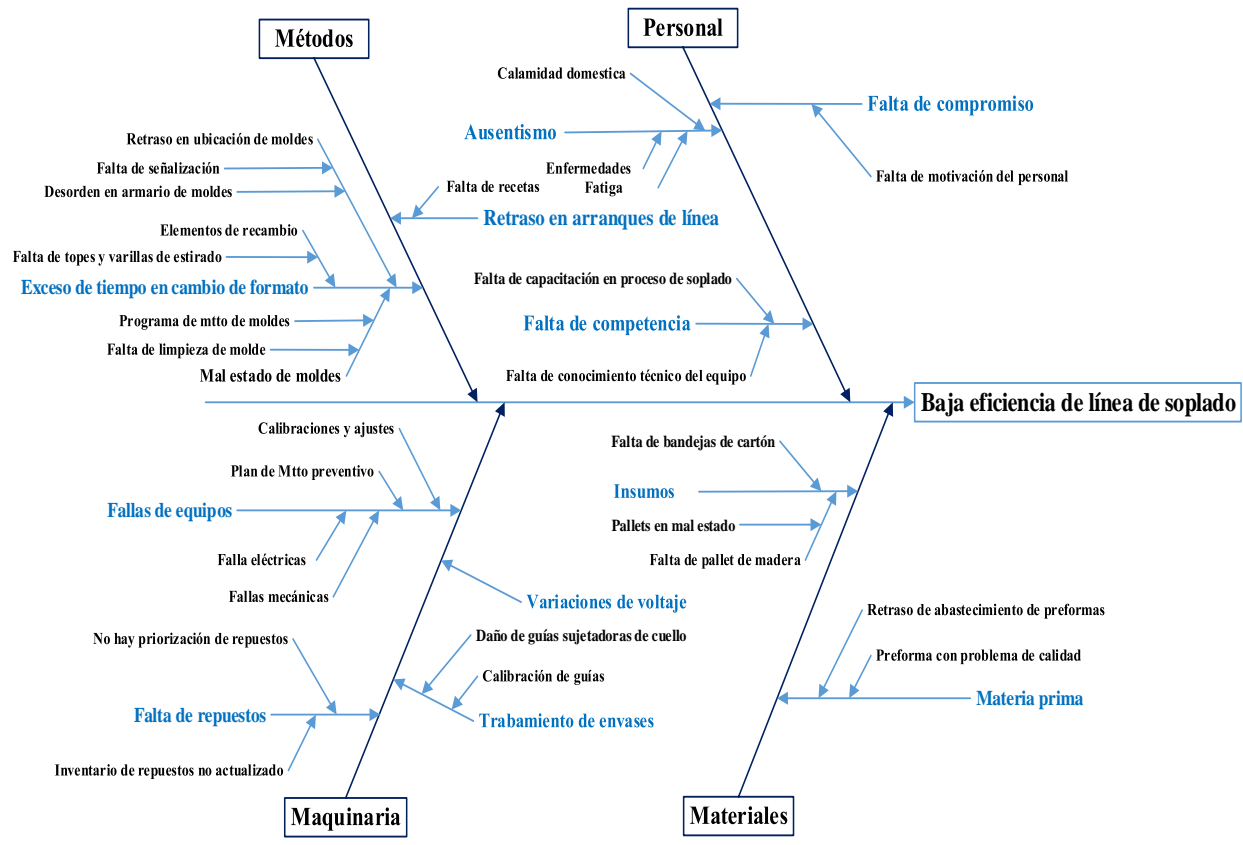


Figura 24. Diagrama de causa y efecto de los problemas detectados en la línea 4.

En el diagrama de causa-efecto para la problemática de la baja eficiencia de línea de soplado orientado a la línea 4, podemos apreciar una mayor acumulación de causas y subcausas en; maquinaria y métodos. En maquinaria describe causales de problemas, las fallas de equipo que estaría en el rango de averías, la falta de repuestos que se da de acuerdo con una falta de control del inventario, pero por concepto de planificación de pedidos de refacciones y de actualización de ítems. En los métodos de trabajo, están los factores de carácter procedimental, que agrupan causas como el exceso de tiempo en los cambios formato, problemática que afecta la planificación de la producción, atrasando el tiempo de entrega en los pedidos, los arranques de producción después de los setup o posteriores a una desprogramación del equipo también entran en este rubro.

4.3.4. Diagrama de árbol.

Al realizar un análisis más directo sobre las problemáticas descritas en el diagrama de causa-efecto se concluye que la principal causa del incumplimiento del objetivo de eficiencia operación en la

línea 4 son las paradas de máquina, que están descritas en tres principales factores que se los detalla en el diagrama de árbol que se presenta en la figura 23, que se muestra a continuación:

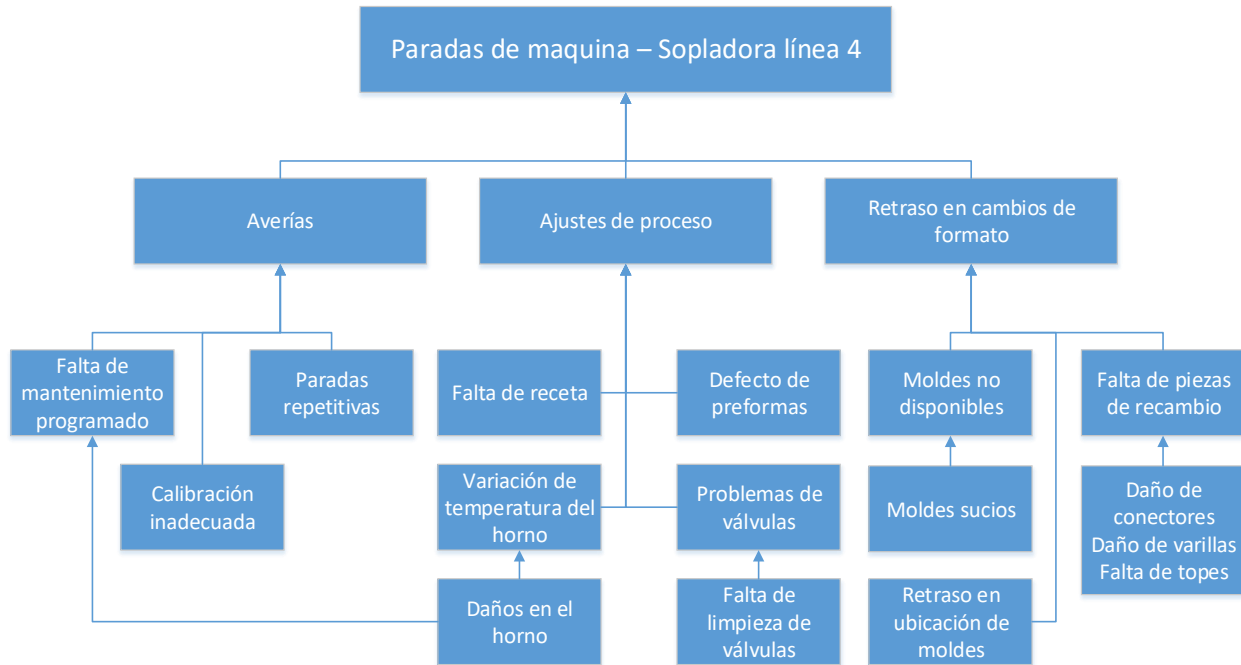


Figura 25. Diagrama de árbol de paradas de línea 4.

La descripción de las tres principales causas de las paradas de máquina en la línea 4, que se presentan en la sopladora de envases son:

4.3.4.1. Averías.

También descritas como falla de equipos en el diagrama de causa-efecto, representa todas las paradas generadas cuando el equipo sufre algún tipo de daño o rotura, que puede derivarse de una mala calibración, una falla repetitiva o falta de realizar labores de mantenimiento preventivo. Las pueden ser de orden mecánico o eléctrico y tiene el potencial de causar daños graves en el activo, que puede a más de generar retrasos en entrega de pedidos, ocasionar defecto en el producto final, que para este caso son los envases.

4.3.4.2. Ajustes de proceso.

Son unos de los temas más extensos cuando se aborda problemática en proceso de soplado de envases PET. Los ajustes de proceso pueden generarse por diversos motivos dentro de la corrección de problemas en el proceso de soplado, y depende en tanto de la pericia, criterio y experiencia del operador en cuanto a la novedad que se presente en el momento. Esto consiste en hacer cambio de parámetros cuando se detecta o visualiza un defecto en el envase o variación de especificación cuando se ejecuta las validaciones o arranques de línea. Las variables para considerar dentro del ajuste de procesos son las siguientes: temperatura del horno de la sopladora, tiempos de tanto en el estirado, soplado primario y soplador secundarios, flujo o caudal de aire, entre otros. Las causas principales de inestabilidad dentro del proceso de soplado son varias y estas van desde: los cambios de temperatura dentro de la sala de soplado, cambios de lotes de producción de preforma, cambios de resinas, defectos no imperceptibles en la preforma, condiciones no adecuadas en las máquinas, como problemas en horno o en puestos de soplado.

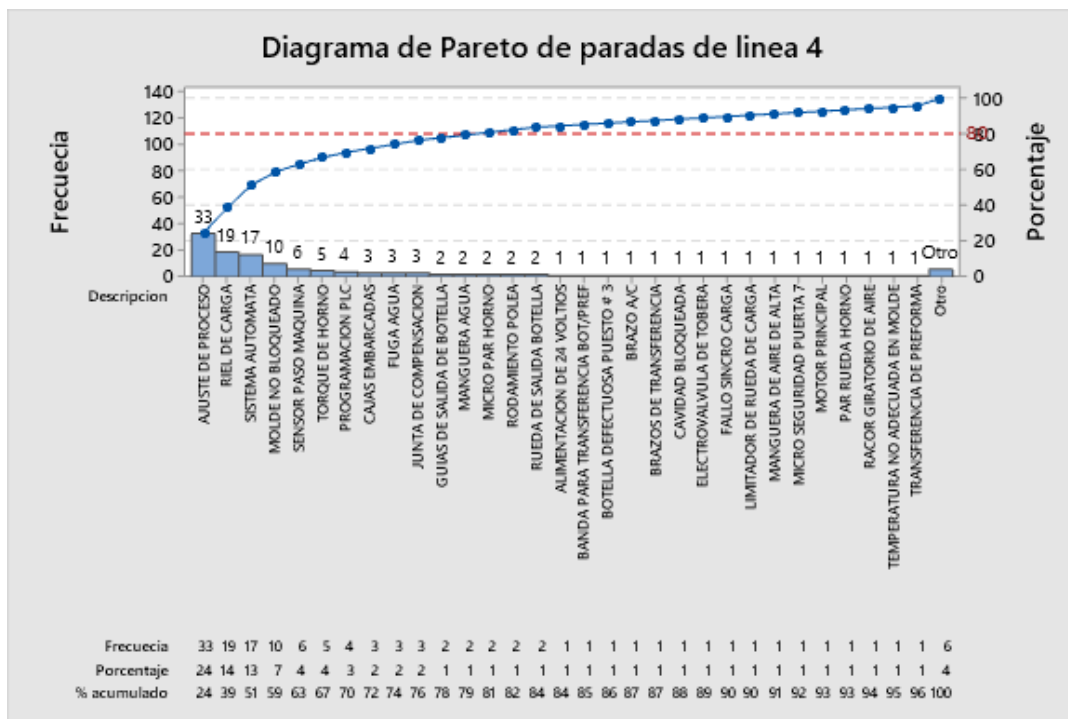


Figura 26. Diagrama de Pareto de frecuencia de paradas en línea 4.

En la figura 26, se visualiza el diagrama de Pareto en el cual se representa la repetitividad de la frecuencia de las paradas de línea, es decir el número de veces que se repite o que se presenta la falla en el periodo comprendido de los 6 últimos meses, que van desde julio a diciembre del 2020. La información presentada justifica principalmente las dos causales expuestas anteriormente las cuales son: averías y ajustes de procesos, descritas en el diagrama de árbol. Como se puede visualizar, la causa con mayor repercusión de las paradas de línea son los ajustes de procesos con una incidencia 33 veces reportada que corresponde al 24% del total de paradas, seguido por riel de carga, falla de sistema autómatas, molde no bloqueado, hasta llegar a micro par de horno que representa el 81% del total de paradas de la línea. El enfoque permite enfocarnos en este grupo de evento considerados vitales y de mayor relevancia.

4.3.4.3. Cambios de formato o referencia.

Esta causal por lo general representa retrasos en la planificación de la producción, en varios casos extienden la campañas o corridas de producción. Las principales causas o los factores que generan este tipo de problema están dados por: moldes no disponibles, problemas para ubicar los moldes, falta de elementos de calibración como topes de estirados o varillas de estirado en malas condiciones, falta de personal, lo que obliga a realizar la actividad una sola persona y en otros casos la falta de comunicación o errores en la planificación. Todas estas causas pueden ser también consideradas como una carencia de procedimientos.

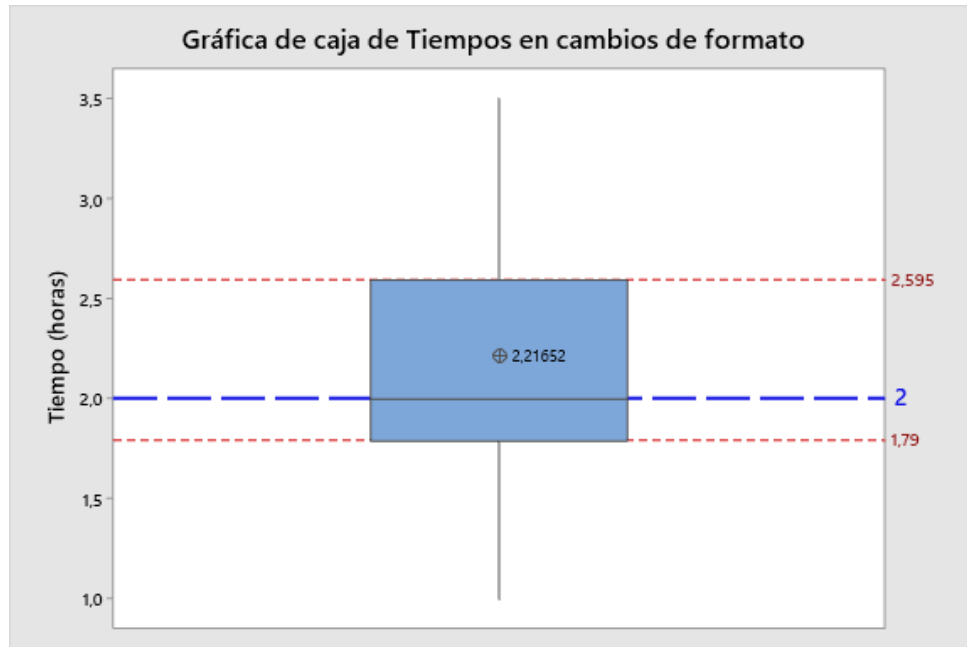


Figura 27. Grafica de caja tiempos de cambio de formato.

Los resultados presentados en la figura 27, en el diagrama de caja y bigote muestran el comportamiento de los tiempos reportados de los cambios de formato en los últimos 6 meses en la línea de producción de envases 4. De una total de 69 cambios de formato la media registrada es de 2.216 horas, por arriba del tiempo asignado que es de 2 horas. Los valores representados en el cuartil 2 o Q2 están dados por la mediana que en este caso es 2 horas, lo que indica que de los 69 datos obtenidos solo el 50% de ellos está dentro del tiempo asignado y para el caso de cuartil 3 o Q3 tendríamos que el 75% de los tiempos de cambios de formas serían menores a 2.59 horas. Otra manera de representar el comportamiento de los datos en los cambios de formato es a través de un histograma de frecuencia como se podrá apreciar en la figura 27.

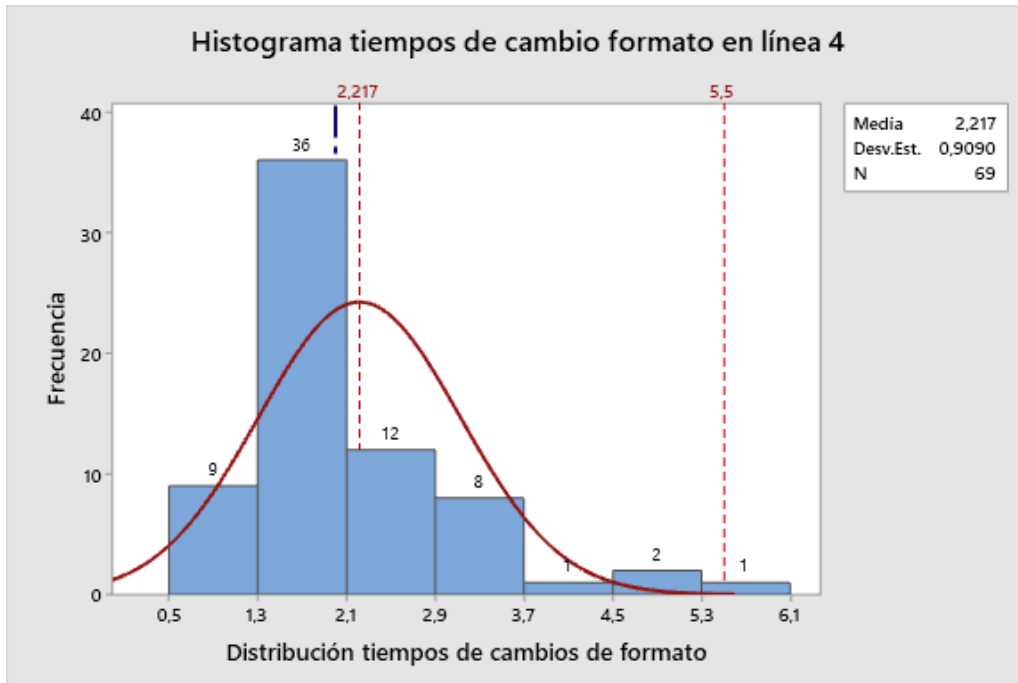


Figura 28. Histograma de cambio de formato en línea 4.

El histograma de la figura 28, muestra la distribución de los datos con respecto a los tiempos reportados por cambio de formato, esto considerando las 69 observaciones de la data obtenida de los seis últimos meses del año 2020. Se puede visualizar que la distribución de los datos no obedece a una distribución normal, con un P valor menos al 0.005, como se puede visualizar en la figura 29, y sesgada hacia la derecha y considerando los datos estadísticos presentados en la tabla 12, el valor medio del tiempo de cambio de formato está en 2.217 horas, es decir 0.217 horas por arriba del valor asignado y llegando a presenta un valor máximo de 5.5 horas, es decir 3.5 horas por arriba del valor asignado. El valor de la moda es de 2 horas (valor que concuerda con el tiempo de cambio de formato planificado) que se repite 26 veces y que correspondería al 37.68% de los datos observados durante el análisis.

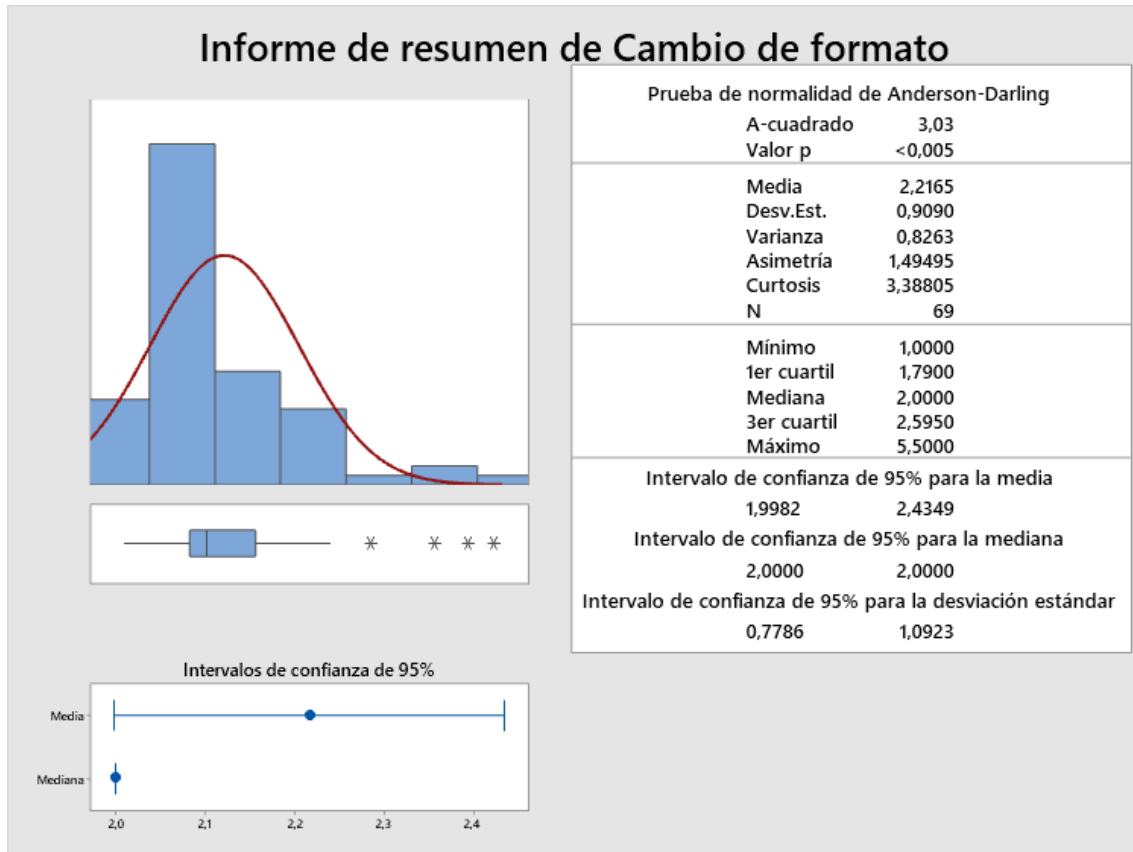


Figura 29. Histograma de cambio de formato en línea 4.

Variable	Conteo Total	Media	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo	Rango
Tiempos cambios de formato	69	2,217	0,909	1,000	1,790	2,000	2,595	5,500	4,500

Variable	Modo	N para moda
Tiempos cambios de formato	2	26

Tabla 12. Datos descriptivos de tiempos de cambios de formato en línea 4.

La interpretación de los datos nos indica que la moda o el valor que más se repite es igual a 2 horas, que es igual a la mediana y el valor establecido por PCP para el cambio de formato. El valor

máximo reportado dentro de los 69 datos registrados es de 5.5 horas, aunque datos se repite una sola vez. En base a los datos descriptivos se procederá a calcular la probabilidad en al cual los tiempos de cambio de formato son mayor a tiempo planificado.

4.4. Fase de implementar/mejorar.

El propósito de esta etapa del DMAIC es encontrar soluciones optimas o viables a los problemas identificados en la etapa anterior de este estudio de investigación, como parte del proceso de mejora continua. por lo cual se procederá a presentar alternativas de solución a estas oportunidades de mejoras en el proceso de producción de envases en la línea 4 de la planta de producción de envases PET, que por ende aportaría mejoras significativamente al incremento de la eficiencia operativa de toda la planta.

A continuación, se presenta el siguiente cuadro, en el cual se describe la problemática descrita en la fase de análisis, detallando las causas que originan este problema, el tipo de desperdicio originado a causa de este evento y enmarcado en la metodología lean de los 7 grandes desperdicios, también ubicamos en este cuadro la herramienta lean que sería aplicable a la resolución de este problema y una breve descripción de la acción a tomar para la aplicación de la herramienta.

Problemática actual del proceso	Causas relacionadas al problema	Tipo de desperdicio	Herramienta lean aplicable	Descripción de actividad / fases de implementación	
Averías	Falta de mantenimiento programado	Defectos.	TPM	Planta de mantenimiento preventivo. Análisis AMEF.	
	Calibraciones inadecuadas		TPM	Mantenimiento autónomo.	
	Fallas repetitivas		TPM	Planta de mantenimiento preventivo. Análisis AMEF.	
Ajustes de proceso	Variación de temperatura	Defectos.	-	Realizar propuestas para instalación de sistema de climatización de temperatura en sala de soplado.	
	Preformas con defectos		JIDOKA	Inspección en la recepción de preformas.	
	Problemas con válvulas de soplado		TPM	Plan de mantenimiento preventivo: Planeación de limpieza de conjunto de válvulas de: soplado, presoplado, desgasificación, compensación, de accionamiento de estirado. Realizar cambio de kit de válvulas cada 4000 horas. Gestionar compra de kit de válvulas y valvular completas.	
				TPM	Programa de mantenimiento del horno y cadena del horno. Limpieza la lámparas y reflectores. Mantenimiento de ventiladores.
					Problemas en hornos
Retraso en cambios de formato	Moldes no disponibles por falta de limpieza	Tiempo de espera.	5S	Programa de 5s enfocado en Seiso (limpieza), que consiste en limpieza de los moldes post-uso. Identificación y evaluación de estado de moldes durante la limpieza para prevenir averías.	

	Falta de piezas de recambio: varillas, topes y conectores de agua.		JIT	Realizar reposición de varillas, topes de estirado y conectores rápidos.
	Moldes no daños		TPM	Efectuar inventario moldes y evaluar estado actual.
				Realizar plan de reparación de moldes en base a la criticidad y frecuencia de uso.
	Retraso en ubicación de moldes		5S SMED	Programa 5s en área de moldes de soplado:
				Seiri (clasificación), realizar inventario de moldes y enviar a custodio los moldes no utilizados.
				Seiton (organización), Organizar en percha los moldes por frecuencia de uso.
Seiso (limpieza), Realizar limpieza de los moldes y descartar elementos no utilizables dentro del área.				
		Seiketsu (estandarización), Realizar delimitación de secciones del área de molde, señalización y rotulado.		
		Shitsuke (seguir mejorando), Realizar planes de mejorar con el equipo de trabajo.		

Tabla 13. Relación de los problemas con las herramientas lean empleadas.

Elaborado por: Pedro Eduardo Quezada Orejuela.

4.5. Fase de controlar.

Finalmente, en esta fase se implementarán los mecanismos de control que servirán para que este proceso sea sostenible en el tiempo, por esta razón se hace imprescindible la aplicación de metodologías de control que estén relacionadas con el objetivo general de este trabajo de investigación y que a su vez consideren los planes de acción presentados en la fase anterior del DMAIC.

En consideración a lo indicado se establece como medida de control o principal indicador la eficiencia operativa, indicador que ya es parte de los procesos de control de la organización y que será evaluado de forma mensual. El índice de capacidad de proceso permitirá de igual manera visualizar la evolución del sigma para este proceso de mejora. Esto a su vez genera un alto impacto en la reducción de la variabilidad en los resultados obtenido a lo largo del proceso de mejora.

A continuación, se presenta la matriz de indicadores que servirán para la fase de control:

Reporte	Objetivo	Indicador	Definición	Frecuencia	Responsable
Reporte de eficiencia operativa de soplado	> 95%	Eficiencia Operativa	Tiempo producción Real / Tiempo planificado - paradas de línea	Semanal	Jefe de planta
Reporte de cambios de formato	< 2 horas	Tiempo cambio de formato	Tiempo planificado/Tiempo real	Semanal	Operador líder
Índice de capacidad de proceso.	> 3	Cpk	Límites naturales del proceso vs. Límites de especificación	Semanal	Jefe de planta
Reporte de indicadores de mantenimiento	Por definir	MTBF: Tiempo Medio Entre Fallas	(Tiempo total de funcionamiento) / (número de fallas)	Semanal	Coordinador de mantenimiento
	Por definir	MTTR: Tiempo Medio Para Reparar	(Tiempo total de inactividad) / (número de fallas)	Semanal	Coordinador de mantenimiento

Tabla 14. Matriz de indicadores de control.

Elaborado: Pedro Eduardo Quezada Orejuela.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

Al realizar el análisis de la eficiencia operativa de la en la fabricación de envases PET de la planta de soplado, se evidencian valores por debajo del objetivo establecido por el corporativo que es de 95%. Estos valores, mostrados en el capítulo I, donde se observa el comportamiento en los años 2019 y 2020 establecen el punto de partida para realizar una investigación más profunda para la obtención de una data con una base significativa de datos que ratifica el resultado previo en el capítulo IV en la fase de medir, con un promedio de 93.22%.

Los factores que influyen en el bajo desempeño de la eficiencia operativa de la planta de producción de envases PET, esta direccionado a lo analizado en la línea 4 que es el foco de atención en este análisis y es el lugar donde se encuentra la mayor cantidad de oportunidades, como se demostró en el capítulo IV en la fase de definir. En esta esta se pudo observar que de las 3 líneas con bajo rendimiento la línea 4 que es la que genera un impacto mayor al aumentar su valor de eficiencia, con un valor del 93.4% y al incrementar a 95% la eficiencia de la planta se incrementa en un 94.2%. Mediante el análisis de Pareto se pudo determinar que el equipo que mayormente impacta al desempeño de la línea es la maquina sopladora con un tiempo de 191.8 horas que representa el 57.9% del total de paradas de la línea y los factores de mayor impacto de acuerdo con el diagrama de causa-efecto y análisis de causa raíz son: las averías, los ajustes de proceso y los tiempos excesivos en los cambios de formato.

El modelo que servirá para la optimización y reducción del desperdicio para este caso de estudio en la planta de producción de envases PET está orientado principalmente en la aplicación de modelo DMAIC en todas las fases de esta metodología de mejoramiento continuo y la aplicación de las herramientas de la manufactura esbelta para la eliminación de desperdicios. De los cuales, las herramientas propuestas para su aplicación son: 5´s, smed, tpm, jit, jidoka.

Los lineamientos para la aplicación y optimización de la eficiencia operativa total de los procesos en la planta de producción de envases, está determinada por el impacto de la capacidad instalada de cada línea, este aspecto influye directamente en el resultado global, por lo cual la estrategia de mejoramiento continua está enfocada a las líneas con mayor capacidad y que su resultado de eficiencia está por debajo meta, como es la línea 4.

5.2. Recomendaciones.

Como principal recomendación en este estudio, es la aplicación del mismo modelo en las líneas 2 y 3 que fueron los lugares donde se encontraron oportunidades de mejora, así también podría trasladarse a otros procesos de la compañía.

Referencias (bibliografía)

- [1] A. Cobos and M. Armijos, "Eficiencia de las empresas manufactureras de Ecuador del 2007 al 2018: dos enfoques de análisis intraindustrial," *X-pedientes económicos*, vol. 4, no. 8, pp. 19–37, 2020.
- [2] B. Villarreal, I.-V. Benavides-Peña, V. Garza-Amaya, and C. Garza-Madero, "Improving distribution efficiency to increase agility: An application to a Mexican company," in *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 2017, pp. 873–884.
- [3] N. R. Filinich, "El Capitalismo Y El Rechazo De Los Límites: El Caso Ejemplar Del Taylorismo Y El Fordismo," *Acta Sociológica*, vol. 69, pp. 17–50, 2016, doi: 10.1016/j.acso.2016.02.002.
- [4] A. Barba Álvarez, "Frederick Winslow Taylor y la administración científica: contexto, realidad y mitos," *Revista Gestión y estrategia*, no. 38, pp. 17–30, 2010.
- [5] Fernanda D Carro and A. Caló, "La Administración Científica De Frederick W. Taylor: Una Lectura Contextualizada," *La Plata*, pp. 7–10, 2012.
- [6] V. Reta, "Las Formas de Organización del Trabajo y su incidencia en el campo educativo," *Fundamentos en Humanidades*, vol. X, no. 19, pp. 119–137, 2009.
- [7] L. A. Bellón, "¿del fordismo a la acumulación flexible? Comparaciones y críticas a las diferentes formas de producción," *Mercados y negocios*, vol. 14, no. 7, pp. 44–60, 2006.
- [8] C. A. Hernández, U. Rafael, and B. Chacín, "Taylorismo : Modelo gerencial de las pequeñas empresas de confección de ropa Taylorism : a Management Model for Small Garment Manufacturing Businesses," *Telos*, vol. 9, pp. 458–474, 2007.
- [9] R. Carlos M., "Oligopolio y competencia mundial en la industria automotriz. La emergencia del Toyotismo y la caída del Fordismo," *Economía Informa*, vol. 383, pp. 107–130, 2013, doi: 10.1016/s0185-0849(13)71344-6.
- [10] J. C. Montero V, C. A. Díaz R, F. E. Guevara T, A. H. Cepeda R, and J. C. Barrera H, *Modelo para medición de eficiencia real de producción y administración integrada de información en Planta de Beneficio Producción*, no. 33. 2013.
- [11] I. D. E. La *et al.*, "INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA MUNDIPLAST MEDIANTE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN ESBELTO LEAN MANUFACTURING," 2018.
- [12] CASTILLO PÉREZ SANDRO, "DISEÑO DE UN PLAN ESTRATÉGICO Y TÁCTICO DE PRODUCCIÓN Y OPERACIONES ENFOCADO EN EL APROVECHAMIENTO DE LLANTAS USADAS PARA LA OBTENCIÓN DE GRANO DE CAUCHO RECICLADO.," no. 14, 2016.
- [13] E. Kaizen, "Relación entre Kaizen y cultura laboral en sistemas productivos," 2018.

- [14] L. Sánchez and B. Blanco, "Análisis de la producción científica hispana en mejora continua : 1990-2011," vol. 39, no. 1, pp. 1–12, 2016.
- [15] E. Chirinos, "El Kaizen como un sistema actual de gestión personal para el éxito organizacional en la empresa ensambladora Toyota," *Revista Científica Electrónica Ciencias Gerenciales / Scientific e-journal of Management Science*, p. 24, 2010.
- [16] G. E. Izquierdo, C. Masa, U. San, and P. Ceu, "Implantación de la reingeniería por procesos: actividades, técnicas y herramientas.," pp. 1–15, 2015.
- [17] B. R. Process, "Reingeniería de procesos," *3C Empresa*, pp. 81–91, 2017.
- [18] S. Rafoso, "Reingeniería de procesos: conceptos, enfoques y nuevas aplicaciones," *Ciencias de la Información*, vol. 42, 2011.
- [19] E. Albizu, "La producción flexible: Just in time vs. organización científica del trabajo." 1996.
- [20] V. Rodriguez, S. Maria, S. Maria, and V. Rodrlguez, "Estrategia logística del justo a tiempo para crear ventajas competitivas en las organizaciones," *Universidad Autónoma del Caribe*, 2007.
- [21] A. Chavez, "Revista de Análisis Cuantitativo y Estadístico Determinación de Factores Criticos de Éxito para la Implementación de Justo a Tiempo : Análisis Factorial Revista de Análisis Cuantitativo y Estadístico," *Revista de Análisis Cuantitativo y Estadístico*, vol. 2, no. 4, pp. 348–360, 2015.
- [22] H. Juárez, "Los sistemas just-in-time/Kanban, un paradigma productivo," *Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco*, 2002.
- [23] J. Cervera, "Aplicación del seis sigma en los modelos de gestión de la calidad," *Universidad Simón Bolívar*, vol. 1, no. 2, 2013.
- [24] A. Montoya, "Aplicación de six sigma en las organizaciones," *Universidad Tecnológica de Pereira*, 2008.
- [25] R. Iza and E. Hermosa, "Implementación de la metodología seis sigma en la empresa ineligent," *Escuela Superior Politécnica del Ejército, Ecuador*, pp. 1–10, 2016.
- [26] M. Buest, "Aplicación de la metodología Seis Sigma para reducir la pérdida de café al granel en una planta de envasado," pp. 1–10, 2013.
- [27] E. Pérez-lópez, "Implementación de la metodología DMAIC- Seis Sigma en el envasado de licores en Fanal Implementation of the methodology DMAIC- Six Sigma in packaging of liquor in Fanal," 2014.
- [28] R. Andrés and G. Montoya, "Seis sigma : un enfoque teórico y aplicado en el ámbito empresarial basándose en información científica *," 2011.
- [29] C. Torres, "APLICACIÓN DE METODOLOGÍA SEIS SIGMA PARA DISMINUIR INTERVENCIONES EN PROCESO DE FABRICACIÓN DE VIDRIOS / Application of Six Sigma Methodology to reduce the glass manufacture proce ... APPLICATION OF SIX METHODOLOGY TO REDUCE THE GLASS," no. March, 2017.

- [30] J. A. Del, "Implementación del Seis Sigma a través de la metodología DMAIC para la gestión de calidad en las compañías de seguros generales en Colombia Implementation of the Six Sigma through ... Implementación del Seis Sigma a través de la metodología DMAIC para la ," no. June, 2020.
- [31] J. Rosas, "Aplicación de la ingeniería de métodos para mejorar la productividad en el proceso de montaje en la línea de producción de reconectores en la empresa resead s.a.c. puente piedra, 2017.," *Universidad César Vallejo*, 2017.
- [32] T. Fontalbo Herrera, E. de la Hoz Granadillo, and J. Morelos Gómez, "Productivity and its factors: impact on organizational improvement," *Dimensión Empresarial*, vol. 16, no. 1, pp. 47–60, 2017, doi: 10.15665/dem.v16i1.1897.
- [33] H. P. La and M. Continua, "Herramientas de mejora continua," pp. 1–78, 2017.
- [34] F. Arce Rodríguez, "Manufactura esbelta para elevar la productividad en una empresa manufacturera de línea blanca, Lurín - 2017," *Universidad César Vallejo*, 2017.
- [35] R. Velázquez, "Desarrollo de un simulador conductual para la formación en gestión empresarial basada en LEAN," *Universidad Politécnica de Catalunya*, 2011.
- [36] C. Monge, J. Cruz, and F. López, "Impacto de la manufactura esbelta, manufactura sustentable y mejora continua en la eficiencia operacional y responsabilidad ambiental en México," *Informacion Tecnologica*, vol. 24, no. 4, pp. 15–32, 2013, doi: 10.4067/S0718-07642013000400003.
- [37] E. Y. T. Adesta and H. A. Prabowo, "The Evaluation of Lean Manufacturing Implementation and Their Impact to Manufacturing Performance," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 453, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/453/1/012031.
- [38] J. C. Hernández, *Lean manufacturing: Conceptos, técnicas e implementación*. 2013.
- [39] J. C. Martínez López, "Aplicación de herramientas Lean Manufacturing en el proceso productivo de una empresa del sector del juguete," *Universidad Politecnica de Valencia*, 2018.
- [40] R. Correa *et al.*, "COMO REDUCIR EL TIEMPO DE PREPARACIÓN How to Reduce Setup Time Cellular Manufacturing Total Quality Teams Rapid Setup (SMED) Kanban," 2009.
- [41] V. Ames, W. Vásquez, I. Macassi, and C. Raymundo, "Maintenance management model based on Lean Manufacturing to increase the productivity of a company in the Plastic sector," *Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology*, vol. 2019-July, no. July 2019, pp. 24–26, 2019, doi: 10.18687/LACCEI2019.1.1.33.
- [42] V. Pérez and E. Thamara, "Herramientas tecnológicas aplicables al Kanban para la optimización de los procesos en la empresa," no. March, 2016.
- [43] M. Darío, A. Serna, L. Felipe, and C. Zapata, "Mejoramiento de procesos de manufactura utilizando Kanban Manufacturing process improvement using the Kanban," vol. 14, no. 27, pp. 221–234, 2015.

- [44] B. Resta, S. Dotti, P. Gaiardelli, and A. Boffelli, "Lean manufacturing and sustainability: An integrated view," *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, vol. 488, pp. 659–666, 2016, doi: 10.1007/978-3-319-51133-7_78.
- [45] O. D. J. Azabache, "Mayor eficiencia operativa a mayor grado de implementación de herramientas lean en empresa de energía, Lima, Perú," pp. 1–97, 2016.
- [46] M. Rojas, L. Jaimes, and M. Valencia, "Efectividad, eficacia y eficiencia en equipos de trabajo," *Espacios*, vol. 39, no. 6, 2018.
- [47] I. P. and H. I. Fitriadi,*, Sofiyanurriyanti, DA Lubis, "Lean Manufacturing Approach to Minimize Waste in The Process of Sorting Palm Oil Using the Value Stream Mapping Method Lean Manufacturing Approach to Minimize Waste in The Process of Sorting Palm Oil Using the Value Stream Mapping Method," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, p. 9, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/1003/1/012028.
- [48] A. M. Paredes-rodríguez, "Aplicación de la herramienta Value Stream Mapping a una empresa embaladora de productos de vidrio," *G.I.M.A.S.T de la Universidad del Valle, Cali, Colombia*, vol. 13, no. 1, pp. 262–277, 2017.
- [49] I. S. Lasa, "Análisis de la aplicabilidad de la técnica value stream mapping en el rediseño de sistemas productivos," *Universidad de Girona*, vol. 1, p. 389, 2007.
- [50] G. Calvache, "Incremento de la productividad basado en un modelo de gestión por procesos en la empresa poliacrilart," *Escuela politécnica nacional*, vol. 1, p. 163, 2018.
- [51] L. F. Mamani, "Optimización del Proceso Productivo en el Área de Producción de una Industria Plástica," *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*, p. 354, 2018.
- [52] S. Mejia Carrera and J. Rau Alvarez, "Analysis of improvement for the implementation of lean manufacturing tools in the clothing line of a textile company in Lima," *Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology*, vol. 2019-July, no. July 2019, pp. 24–26, 2019, doi: 10.18687/LACCEI2019.1.1.236.

Anexo 1

Comportamiento de la eficiencia operativa de la planta de producción de envases, correspondiente a los meses: octubre, noviembre y diciembre del año 2020.

Reporte de eficiencia operativa por línea Planta de soplado de envases PET

DIA	FECHA	Linea01	Linea02	Linea03	Linea04	Linea05	Total planta
sáb	10-oct	95.5%	95.5%	76.2%	92.1%	87.1%	92.4%
dom	11-oct	93.0%	72.9%	92.3%	89.0%	94.5%	90.1%
lun	12-oct	97.1%	88.2%	99.7%	89.0%	95.2%	93.8%
mar	13-oct	92.0%	81.9%	99.0%	80.9%	89.0%	88.0%
mié	14-oct	93.0%	100.0%	89.0%	100.0%	88.0%	94.7%
jue	15-oct	90.0%	89.6%	66.4%	89.0%	92.0%	87.9%
vie	16-oct	93.4%	93.0%	63.3%	97.2%	93.6%	92.3%
sáb	17-oct	92.6%	92.0%	98.0%	84.5%	97.0%	90.6%
dom	18-oct	95.0%	85.0%	80.0%	98.0%	105.8%	94.6%
lun	19-oct	100.8%	96.1%	67.2%	98.0%	94.7%	96.6%
mar	20-oct	90.0%	91.2%	74.3%	80.6%	87.1%	85.8%
mié	21-oct	100.0%	79.2%	94.3%	99.0%	100.5%	97.7%
lun	2-nov	96.4%	94.5%	97.3%	97.2%	95.0%	96.2%
mar	3-nov	94.6%	95.4%	76.6%	93.4%	95.0%	92.8%
mié	4-nov	93.0%	90.0%	76.6%	95.9%	93.0%	92.4%
jue	5-nov	92.6%	100.3%	95.7%	99.2%	92.8%	95.2%
jue	19-nov	92.0%	99.5%	78.0%	94.0%	101.8%	92.7%
dom	22-nov	97.8%	96.9%	94.2%	98.6%	102.0%	97.9%
lun	23-nov	92.9%	91.5%	76.1%	94.9%	101.7%	92.7%
mar	24-nov	95.0%	91.6%	75.1%	99.8%	101.2%	95.0%
mié	25-nov	98.5%	91.6%	76.1%	96.4%	93.0%	95.2%
jue	26-nov	95.3%	99.7%	92.0%	100.0%	94.5%	96.5%
vie	27-nov	98.6%	98.5%	93.1%	98.6%	92.3%	97.5%
mar	1-dic	96.8%	98.3%	99.0%	86.6%	92.2%	93.4%
jue	3-dic	93.0%	83.3%	99.7%	88.0%	92.4%	90.9%
vie	4-dic	94.0%	104.1%	80.5%	88.0%	94.6%	91.8%
sáb	5-dic	103.3%	97.2%	81.6%	100.0%	99.0%	99.8%
sáb	19-dic	98.5%	104.1%	92.3%	89.0%	97.4%	95.2%
dom	20-dic	94.0%	90.2%	92.3%	70.4%	95.2%	86.4%
lun	21-dic	100.7%	97.2%	91.2%	89.2%	89.2%	95.3%
mar	22-dic	89.0%	90.2%	89.0%	75.5%	95.7%	85.3%
mié	23-dic	97.5%	97.2%	100.0%	93.6%	97.5%	96.2%

Anexo 2.

Tabla de cálculo para el nivel del sigma.

Nivel Seis Sigma con cambio de 1.5 Sigma

Nivel Sigma	Sigma + 1.5	1.5 - Sigma	Probabilidad Buenos	Probabilidad Defectos	DPMO	Cpk
0	0,933192799	0,933192799	0	1	1.000.000,00	0,000
0,5	0,977249868	0,841344746	0,135905122	0,864094878	864.094,88	0,167
0,75	0,987775527	0,773372648	0,21440288	0,78559712	785.597,12	0,250
1	0,993790335	0,691462461	0,302327873	0,697672127	697.672,13	0,333
1,25	0,997020237	0,598706326	0,398313911	0,601686089	601.686,09	0,417
1,5	0,998650102	0,5	0,498650102	0,501349898	501.349,90	0,500
1,75	0,999422975	0,401293674	0,598129301	0,401870699	401.870,70	0,583
2	0,999767371	0,308537539	0,691229832	0,308770168	308.770,17	0,667
2,25	0,999911583	0,226627352	0,77328423	0,22671577	226.715,77	0,750
2,5	0,999968329	0,158655254	0,841313075	0,158686925	158.686,93	0,833
2,75	0,999989311	0,105649774	0,894339538	0,105660462	105.660,46	0,917
3	0,999996602	0,066807201	0,933189401	0,066810599	66.810,60	1,000
3,25	0,999998983	0,040059157	0,959939826	0,040060174	40.060,17	1,083
3,5	0,999999713	0,022750132	0,977249581	0,022750419	22.750,42	1,167
3,75	0,999999924	0,012224473	0,987775451	0,012224549	12.224,55	1,250
4	0,999999981	0,006209665	0,993790316	0,006209684	6.209,68	1,333
4,25	0,999999996	0,002979763	0,997020232	0,002979768	2.979,77	1,417
4,5	0,999999999	0,001349898	0,998650101	0,001349899	1.349,90	1,500
4,75	1	0,000577025	0,999422975	0,000577025	577,03	1,583
5	1	0,000232629	0,999767371	0,000232629	232,63	1,667
5,25	1	8,84173E-05	0,999911583	8,84173E-05	88,42	1,750
5,5	1	3,16712E-05	0,999968329	3,16712E-05	31,67	1,833
5,75	1	1,06885E-05	0,999989311	1,06885E-05	10,69	1,917
6	1	3,39767E-06	0,999996602	3,39767E-06	3,40	2,000
6,25	1	1,01708E-06	0,999998983	1,01708E-06	1,02	2,083
6,5	1	2,86652E-07	0,999999713	2,86652E-07	0,29	2,167
6,75	1	7,60496E-08	0,999999924	7,60496E-08	0,08	2,250
7	1	1,89896E-08	0,999999981	1,89896E-08	0,02	2,333
7,25	1	4,46217E-09	0,999999996	4,46217E-09	0,00	2,417
7,5	1	9,86588E-10	0,999999999	9,86588E-10	0,00	2,500
7,75	1	2,05226E-10	1	2,05226E-10	0,00	2,583
8	1	4,016E-11	1	4,016E-11	0,00	2,667

elaborada por Blackberry&Cross www.blackberrycross.com

elaborada por
Blackberry&Cross
www.blackberrycross.com
 (506) 2234-6720
 (antes de utilizar esta tabla asegúrese de comprender los supuestos bajo los cuales fue confeccionada. Para más información escriba a suporte@blackberrycross.com)