



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA DEL ECUADOR
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

DISEÑO DEL PROYECTO TÉCNICO

Título: Propuesta para la reducción de paralizaciones de las maquinarias de una planta productora y recicladora de botellas plásticas mediante la aplicación de la metodología Six Sigma

Title: Proposal for the reduction of stoppages of the machinery of a plant that produces and recycles plastic bottles through the application of the Six Sigma methodology

Autores:

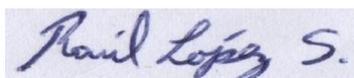
Bohórquez Valverde Andrés
López Suárez Raúl

Director: Ing. Marcelo Berrones Rivera, M. I. A.

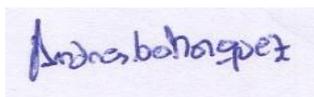
Guayaquil, junio de 2021

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA

Nosotros, Raúl Germán López Suárez, con cédula de ciudadanía No. 0931190557, y Hernán Andrés Bohórquez Valverde, con cédula de ciudadanía No. 0924975345, declaramos que somos los únicos autores de este trabajo de titulación denominado “Propuesta para la reducción de paralizaciones de las maquinarias de una planta productora y recicladora de botellas plásticas mediante la aplicación de la metodología Six Sigma”. Los conceptos aquí desarrollados, evaluación realizada y las conclusiones del presente trabajo, son de exclusiva responsabilidad de los autores.



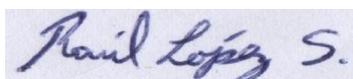
Raúl Germán López Suárez
C. C. No. 0931190557



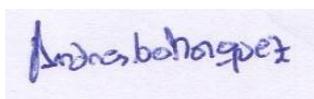
Hernán Andrés Bohórquez Valverde
C. C. No. 0924975345

DECLARACIÓN DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Quienes suscriben, en calidad de autores del trabajo de titulación titulado “Propuesta para la reducción de paralizaciones de las maquinarias de una planta productora y recicladora de botellas plásticas mediante la aplicación de la metodología Six Sigma”, por medio de la presente, autorizo a la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA DEL ECUADOR a que haga uso parcial o total de esta obra con fines académicos o de investigación.



Raúl Germán López Suárez
C. C. No. 0931190557

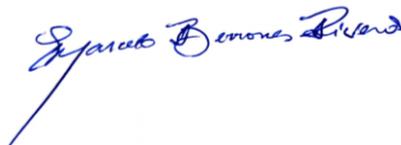


Hernán Andrés Bohórquez Valverde
C. C. No. 0924975345

DECLARACIÓN DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Quien suscribe, en calidad de director del trabajo de titulación titulado “Propuesta para la reducción de paralizaciones de las maquinarias de una planta productora y recicladora de botellas plásticas mediante la aplicación de la metodología Six Sigma”, desarrollado por los estudiantes Raúl Germán López Suárez y Hernán Andrés Bohórquez Valverde, previo a la obtención del título de Ingeniería Industrial, por medio de la presente certifico que el documento cumple con los requisitos establecidos en el Instructivo para la Estructura y Desarrollo de Trabajos de Titulación para pregrado de la Universidad Politécnica Salesiana. En virtud de lo anterior, autorizo su presentación y aceptación como una obra auténtica y de alto valor académico.

Dado en la ciudad de Guayaquil, a los 30 días del mes de junio 2021.



Ing. Marcelo Berrones Rivera, M. I. A.
Docente Director del Proyecto Técnico

DEDICATORIAS

El presente trabajo de titulación va dedicado especialmente a mis padres por todo su esfuerzo, consejos, empeño y apoyo incondicional en mi vida personal y universitaria; sin ellos no lo hubiera logrado. A mis hermanos, familiares y amigos cercanos que aún me siguen apoyando a pesar de los años. Gracias totales a todos ustedes por brindarme su confianza y buenos deseos.

Raúl Germán López Suárez

Este trabajo se lo dedico a mi familia, a mi abuelo que a pesar de no encontrarse conmigo, fue mi motor durante todos mis años de Universidad. A mis padres y abuela que me apoyan en todas las etapas de mi vida, venidas y por venir; a mis amigos que me han brindado su apoyo incondicional a lo largo de todos estos años. Esta meta no la habría logrado sin ustedes y su apoyo incondicional.

Hernán Andrés Bohórquez Valverde

AGRADECIMIENTOS

Nuestra más sincera gratitud a la Universidad Politécnica Salesiana y a sus respectivas autoridades, por haber brindado su apoyo necesario y la oportunidad de aprender, desarrollar y concluir con una excelente formación, tanto personal como profesional a lo largo de estos años como estudiantes.

A los docentes que, gracias a sus enseñanzas y guías, tenemos mucho más conocimiento para poder ejercerlo como buenos profesionales en las diferentes actividades laborales.

También a nuestro tutor y guía, Ing. Marcelo Berrones, por su tiempo y dedicación hacia nosotros para poder culminar este trabajo.

RESUMEN

La empresa estudiada presentó una tendencia decreciente respecto a la eficiencia de las máquinas que conforman la línea de producción de botellas Tereftalato de Polietileno PET, en el año 2019 este indicador alcanzó el 45%, valor por debajo del 60% permitido por la empresa, para determinar las causas y plantear soluciones para mitigar tales efectos adversos para la producción de botellas PET. El diagnóstico y valoración previa de los datos de producción de la empresa, señaló que la causa principal en la tendencia decreciente sobre la efectividad de las máquinas, recae sobre los tiempos de parada de estas, para solventar dicho problema, se aplicó la metodología Six Sigma, conformada por las fases de definir, medir, analizar, mejorar y controlar DMAIC. En la primera fase se definieron aspectos como el equipo de trabajo y las áreas específicas a evaluar, para la fase de medición se evaluaron los procesos que corresponden a la producción de botellas PET, tanto de las máquinas como del personal, así también como de la materia prima y principales factores que influyen en los tiempos improductivos. En la fase de analizar se determinaron los procesos críticos y se procedió a utilizar herramientas como el diagrama de Ishikawa para identificar sus causas, luego de identificarlas, en la fase de mejora se propuso aquellas medidas correctivas y preventivas para cumplir con el objetivo del proyecto, en la fase final se establecieron las tareas de control que son necesarias para que las mejoras propuestas no tengan inconvenientes y cumplan con el objetivo establecido. Se obtuvo como resultado que, en condiciones ideales los tiempos improductivos pasaron de 3890 horas a 3615 lo que representa una reducción de aproximadamente el 5% de los tiempos de parada, cumpliendo con el objetivo del trabajo.

Palabras claves: Botellas PET, Ishikawa, Inyectoras, Paradas de máquinas, Six Sigma

ABSTRACT

The studied company presented a decreasing trend regarding the efficiency of the machines that make up the PET Polyethylene Terephthalate bottle production line, in 2019 this indicator reached 45%, a value below the 60% allowed by the company, for determine the causes and propose solutions to mitigate such adverse effects for the production of PET bottles, the diagnosis and previous assessment of the company's production data, pointed out that the main cause in the decreasing trend on the effectiveness of the machines, falls on the downtime of these, to solve this problem, the Six Sigma methodology was applied, made up of the phases of defining, measuring, analyzing, improving and controlling DMAIC. In the first phase, aspects such as the work team and the specific areas to be evaluated were defined, for the measurement phase, the processes that correspond to the production of PET bottles were evaluated, both of the machines and of the personnel, as well as of the raw material and main factors that influence unproductive times. In the analysis phase, the critical processes were determined and tools such as the Ishikawa diagram were used to identify their causes, after identifying them, in the improvement phase, corrective and preventive measures are proposed to meet the project objective. In the final phase, the control tasks that are necessary are established so that the proposed improvements do not have problems and comply with the established objective. It was obtained as a result that, under ideal conditions, unproductive times went from 3,890 hours to 3,615 hours, which represents a reduction of approximately 5% in downtime, fulfilling the objective of the work.

Keywords: PET bottles, Ishikawa, Injectors, Machine shutdowns, Six Sigma

GLOSARIO DE TÉRMINOS TÉCNICOS Y SIGLAS

A

AMEF: Análisis de Efectos de Modos y Fallas

C

CTQ: Crítica para la calidad (Critical to quality), hace referencia a los requisitos que se pide a los clientes y que debe conservar el producto para que este cumpla con las necesidades y expectativas de los clientes.

D

DMADV: Modelo de mejora y rediseño de procesos (Delimita, mide, analiza, mejora y controla)

DMAIC: Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar

N

NPR: Número Prioritario de Riesgo

P

PET: Tereftalato de Polietileno

S

Six Sigma: Este método a menudo se denomina como un enfoque de resolución de problemas y tiene como objetivo reducir la variabilidad, reducir o eliminar errores o interrupciones en la entrega de un producto o servicio a un cliente.

T

TQM: Control Total de la Calidad

V

VOC: Voz del cliente

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I EL PROBLEMA	4
1.1. Antecedentes	4
1.2. Justificación del problema	5
1.3. Grupo objetivo (beneficiarios)	7
1.4. Delimitación	7
1.4.1. Delimitación académica	7
1.4.2. Delimitación temporal	7
1.5. Objetivos	7
1.5.1. Objetivo general	7
1.5.2. Objetivos específicos	8
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	9
2.1. Marco teórico	9
2.1.1. Six Sigma	9
2.1.2. DMAIC	9
2.1.3. Herramientas de calidad	10
2.1.4. Mantenimiento	14
2.1.5. Mantenimiento productivo total	17
2.1.6. Plástico PET	19
2.1.7. Utilización del PET reciclado en resinas	20
CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO	21
3.1. Desarrollo de la fase de DEFINIR	21
3.1.1. Definición del problema	25
3.1.2. Resumen de la fase definir	25
3.2. Desarrollo de la fase MEDIR	27
3.2.1. Evaluación del proceso actual de frascos PET	27
3.2.2. Selección de los procesos de mejora	31
3.2.3. Selección de orígenes de paro de máquina a solucionar	34
3.3. Desarrollo de la fase ANALIZAR	37
3.3.1. Diagrama de flujo a detalle	37
3.3.2. Diagrama de Ishikawa	41
3.3.3. AMEF en la línea de producción de frascos PET	43
3.3.4. Prueba de hipótesis	50
3.4. Desarrollo fase de MEJORA	50
3.4.1. Plan de mejora	50

3.4.2. Plan de capacitación al personal.....	51
3.4.3. Plan de mantenimiento para el sistema inyector de soplado	53
3.4.4. Actualización de los instructivos de procedimientos de trabajo.....	57
3.5. Desarrollo fase de CONTROL	57
3.5.1. Entregables de la fase de control	58
CAPITULO IV RESULTADOS	59
CONCLUSIONES.....	62
RECOMENDACIONES.....	63
BIBLIOGRAFÍA.....	64
ANEXOS	66

Índice de Tablas

Tabla No. 1 Resumen de horas paradas de las maquinarias en la producción y reciclado de botellas PET	5
Tabla No. 2 Resumen de ventas anuales 2015-2019	6
Tabla No. 3 Porcentaje de horas improductivas en el proceso de producción 2015 - 2019 ...	21
Tabla No. 4 Nivel de participación de los 4 sectores que generan más horas improductivas	24
Tabla No. 5 Método 4 W+ H para llevar a cabo el modelo Six Sigma.	25
Tabla No. 6 Project Charter del modelo Six Sigma en la reducción de paro de máquina en la producción de frascos PET	26
Tabla No. 7 Horas de paro de máquinas generadas	31
Tabla No. 8 Participación de los procesos en la generación de horas de paro de máquina	33
Tabla No. 9 Códigos para identificar procesos críticos	34
Tabla No. 10 Punto de origen de paro de máquina en la línea PET	35
Tabla No. 11 Criterio de severidad para la evaluación de efectos de falla	43
Tabla No. 12 Criterio de detectabilidad para la evaluación de efectos de falla	44
Tabla No. 13 Criterio de ocurrencia para la evaluación de efectos de falla	44
Tabla No. 14 Criterio de semaforización de acuerdo con el valor del NPR	45
Tabla No. 15 AMEF realizado a la línea PET	46
Tabla No. 16 Project chart para el programa de capacitación.....	51
Tabla No. 17 Descripción de módulos.....	52
Tabla No. 18 Cantidad de horas destinadas en las capacitaciones.....	53
Tabla No. 19 Especificaciones para la clase de trabajo	54
Tabla No. 20 Plan de mantenimiento en la línea PET	55
Tabla No. 21 Plan de seguimiento	57
Tabla No. 22 Comparación del tiempo de paro de máquina generado luego del plan piloto .	59

Índice de Figuras

Figura No. 1 Evolución de los niveles de eficiencia en las maquinarias de la empresa productora y recicladora de botellas PET	6
Figura No. 2 Fases del modelo DMAIC	10
Figura No. 3 Principales herramientas de calidad	11
Figura No. 4 Uso de las herramientas de calidad en procesos de análisis e identificación	11
Figura No. 5 Enfoque actual de las herramientas de calidad en proceso de producción	12
Figura No. 6 Resultados esperados del AMEF	19
Figura No. 7 Enfoque actual de las herramientas de calidad en proceso de producción	20
Figura No. 8 Evolución del nivel de eficiencia y el tiempo de paro de máquina	22
Figura No. 9 Diagrama de correlación entre la Eficiencia del proceso de producción PET y generación de tiempo de paro de máquina.....	22
Figura No. 10 Proceso de inyección de resina PET.....	27
Figura No. 11 Moldes a presión para el moldeo de frascos PET.....	28
Figura No. 12 Proceso de inyección de preforma y soplado de preformas	29
Figura No. 13 Diagrama de flujo de producción de frascos PET	30
Figura No. 14 Identificación de los procesos críticos en la producción de frascos PET	32
Figura No. 15 Diagrama de Pareto para determinar los procesos críticos.....	33
Figura No. 16 Diagrama de Pareto de las principales causas que generan parada de maquina en los procesos críticos	36
Figura No. 17 Diagrama de flujo del proceso de secado de resina PET.....	38
Figura No. 18 Diagrama de flujo del molde por inyección	39
Figura No. 19 Diagrama de flujo del proceso de soplado	40
Figura No. 20 Diagrama Ishikawa de los procesos críticos.....	42

INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe un mercado global altamente competitivo formado por empresas e industrias que desean alcanzar el éxito a través de la implementación de estrategias y metodologías con el fin de mitigar los problemas en las diferentes áreas de producción, ganar posicionamiento en el mercado, y optimizar recursos. Sin embargo, se ha presentado problemas de paralización de maquinarias en plantas productoras y recicladoras, generando grandes pérdidas en la industria.

Actualmente en el mundo un elemento clave es la globalización económica, se sigue desarrollando tecnologías de la información con un crecimiento exponencial que han permitido superar todos los obstáculos que plantea la internacionalización de la industria (Smętkowska & Mrugalska, 2018). Por lo tanto, las empresas de hoy están buscando formas de mantener y confirmar su posición utilizando las mismas estrategias y metodologías para mantener su participación de mercado. Hay muchos empresarios que quieren permanecer en el campo, no solo para quedarse, sino para trabajar, crecer, mejorar su ventaja financiera, trabajar de manera más eficiente y lo más importante, brindar una mayor satisfacción a sus clientes.

Para lograr todos los objetivos anteriores, los emprendedores de hoy no solo buscan mejorar sus operaciones comerciales, sino que también tienen la capacidad de innovar sus modelos comerciales para adaptarse a la dinámica y necesidades del mercado y clientes cambiantes. La innovación se basa en gran medida en la creatividad de desarrollar nuevos productos y servicios en beneficio de las partes interesadas internas y externas y la planificación adecuada de sus planes de crecimiento (Salgado, 2020). Hay que tener una visión de lo que los emprendedores deben buscar, en qué deben enfocarse y cuál es el punto de partida para desarrollar un plan estratégico que permitirá que su industria crezca y se desarrolle. La respuesta a estas dos incógnitas es la misma: el cliente. Siempre hay que tener que partir de la idea de que los clientes son lo más importante en una organización, y sin ellos el negocio no existiría y no tendría sentido. Por lo tanto, antes de comenzar con cualquier medida, plan, método, estrategia, etc., se debe pensar en cómo se puede agregar valor y mejor calidad a los clientes.

Six Sigma es un sistema completo y flexible para lograr, mantener y maximizar el éxito empresarial. La eficacia de Six Sigma ha demostrado ser una excelente herramienta para mejorar la calidad del producto al reducir la variabilidad del proceso. Mejorar el nivel de calidad del producto es el resultado esperado del método Six Sigma porque se basa en métodos estadísticos (Paucar, 2018).

Por lo tanto, necesita un plan de control de procesos para la ocurrencia de errores en el área de producción. Para ello, el primer paso es evaluar el proceso utilizando una herramienta válida como el índice de defecto por millón de oportunidades (DPMO). Los bajos niveles de calidad aumentan los errores al desarrollar procesos que no cumplen con los requisitos del cliente. Por lo tanto, la variabilidad del proceso reduce el nivel sigma del proceso (Antony, Vinodh, & Gijo, 2017). Por tanto, existe un límite a la variación admisible propuesta por Six Sigma. El nivel sigma depende del tamaño de la variación de la especificación y es menos probable que falle o falle. Además, Six Sigma utiliza la técnica DMAIC. Es una metodología basada en cinco fases:

definición-medición-análisis-mejora y control. En cada fase, esta metodología aplica una variedad de herramientas estadísticas para encontrar, reconocer, minimizar o eliminar los defectos encontrados en el proceso que causan discrepancias con los clientes. En particular, utiliza gráficos de control, análisis de capacidad de procesos, diseño de experimentos y otras herramientas estadísticas (Patel & Shah, 2015). Conocer el nivel sigma de un proceso le permite comparar la capacidad del proceso para cumplir con las especificaciones del cliente con el límite sigma permitido.

En este sentido, analizar las técnicas DMAIC como modelo de mejora continua puede establecer formas de optimizar el proceso eliminando o minimizando todo tipo de errores o fallas incluyendo, los reproceso, residuos y atrasos en la producción (tiempo muerto), se detienen, ralentiza y soluciona averías (arranques, ajustes de la máquina), examen y eliminación de retrasos, efectos de funcionamiento del producto y costos de devolución y baja calidad, eficiencia y desempeño (Mignone, 2018).

Las peculiaridades de cada una de las desviaciones anteriores están asociadas con más esfuerzo y menor producción y ventas, y la degradación de la calidad no es solo la insatisfacción del cliente, sino también los costos de degradación de la calidad y las demoras asociadas con los pagos de nómina de reelaboración, retrasos, etc (Vidal, Soler, & Molina, 2018). Y también con el uso de recursos como los servicios básicos

En Ecuador, la adaptación de Six Sigma en empresas manufactureras representa una oportunidad porque los cambios en la matriz productiva estimulan la producción local. Por lo tanto, al aplicar esta metodología, las empresas nacionales no solo pueden aumentar sus ventas, sino también ser más eficientes y competitivas (Terán & Alvarado, 2017). Por eso es importante realizar una investigación para analizar los procedimientos de implementación del proyecto Six Sigma para mejorar el proceso, a través de reseñas literarias y observaciones de problemas, este estudio propone parámetros y procedimientos para la implementación exitosa de Six Sigma.

La problemática existente guarda relación con los constantes detenimientos en la inyectora, extrusora, y el sistema de reciclaje de una fábrica productora de botellas. La producción de botellas de PET representa el 75% de los ingresos de la industria, pero en los últimos 5 años se ha evidenciado que tres máquinas han mostrado una tendencia a la baja.

En base a ello, el presente trabajo propone la aplicación de la metodología Six Sigma, siguiendo la estructura metodológica DMAIC para la producción de botellas PET con la finalidad de reducir en un 5% anual los tiempos de paralización de las tres máquinas; además, se medirá el desempeño de estas durante la producción de botellas PET, con la finalidad de establecer puntos críticos, y determinar un análisis de modos y efectos de fallas (AMEF); por otra parte, se propone identificar los componentes más críticos que provocan averías a corto plazo durante la producción y reciclado de botellas PET, y también se plantean mejoras en los subprocesos que generen mayor tiempo de paradas de máquinas en el proceso de producción de botellas PET de acuerdo con los datos recopilados y causas raíz identificadas.

El presente estudio está estructurado en cuatro capítulos importantes, el capítulo uno hace referencia al problema, incluyendo los antecedentes, justificación, objetivos, y delimitación, donde se identificará la conceptualización de las herramientas y métodos utilizados para el desarrollo del estudio como AMEF, Six Sigma, DMAIC, entre otros conceptos importantes. El segundo capítulo engloba el marco referencial y fundamentos teóricos, donde se enunciarán estudios previamente realizados por otros autores en relación a la aplicación del método Six Sigma.

Posteriormente, en el tercer capítulo se especifica el marco metodológico, que abarca los procedimientos y técnicas que se aplicarán para llevar a cabo el desarrollo del estudio, en el capítulo cuatro se dan a conocer los resultados alcanzados de la implementación del método Six Sigma los cuales permitirán conseguir los objetivos planteados en el capítulo uno; finalmente, se mencionan las conclusiones, recomendaciones y referentes bibliográficos del estudio.

CAPÍTULO I EL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

Six sigma se ha considerado una medida de calidad en las industrias de fabricación y servicios durante las últimas décadas. Según Albert y otros (2017) Six Sigma es un enfoque disciplinado y orientado a resultados que elimina los defectos manteniendo los procesos de producción o servicio cerca del nivel de perfección.

La motivación original de Six Sigma se introdujo en Motorola y se centró en la mejora de la fabricación; otros beneficios, que resultan en la implementación de este método es la reducción de desechos y reelaboración del proceso de fabricación, a menudo se puede cuantificar fácilmente y con rapidez. De acuerdo con Harry (1994), el método Six Sigma ha logrado reducciones de costos tan nítidas y definitivas, preferiblemente documentadas dentro de los 3 meses posteriores al inicio de un proyecto, convirtiéndose en un método esencial credibilidad para la mejora de productividad de las industrias.

La calidad Six Sigma se logró mediante la combinación de mejora del rendimiento medio y reducción de la variabilidad. Sin embargo, a menudo resultó que lo primero era más fácil de lograr que lo segundo y, por lo tanto, el enfoque principal era mejorar la media; pero, pronto se hizo evidente en muchos contextos (Patel & Shah, 2015). En base a ello, se incluye el proceso DMAIC el cual está dirigido principalmente a reducir las tasas de defectos en productos, servicios y procesos existentes. Sin embargo, la naturaleza básica de diseñar algo nuevo requiere un enfoque significativamente diferente al requerido para "arreglar" algo que ya existe (Yépez, 2019).

DMAIC puede considerarse una meta-rutina para establecer nuevas rutinas cambiando las existentes. Six sigma se ha aplicado básicamente a las situaciones genéricas en los procesos de servicio y fabricación para reducir las variaciones en los procesos (Salinas, Calleros, & Villalpando, 2020). Six sigma se ha utilizado como base para la mejora de procesos.

El proceso de fabricación de botellas de PET también se encuentra entre esos procesos en los que se pueden realizar grandes mejoras para reducir los defectos producidos en el proceso y aumentar los beneficios de la empresa. Se aplican diferentes enfoques y técnicas para conocer las razones detrás de las causas y los factores significativos que afectan el resultado del proceso.

Habiendo dividido el procedimiento en cinco fases: definir, medir, analizar, mejorar y controlar, las soluciones se centran en la reducción de los tiempos de parada en las máquinas, a fin de evitar la paralización de toda la producción, lo que pondría en riesgo las fechas de entrega, materia prima y producto final. Al utilizar las técnicas DMAIC, la empresa debería poder expandir eventualmente su producción y ventas de botellas PET para satisfacer mejor las demandas de los clientes en un mercado global competitivo.

1.2. Justificación del problema

La empresa productora y recicladora de botellas en estudio se encuentra en crecimiento, sin embargo, enfrenta un problema relacionado con las constantes paralizaciones en la inyectora, extrusora y el sistema de reciclado, dando un total de 3 líneas, presentes en la planta de producción y reciclado de botellas de plástico de la empresa objeto de estudio.

La producción de botellas PET representa el 75% de los ingresos de la empresa objeto de estudio, pero de acuerdo con los registros de la empresa, en los últimos 5 años los niveles de eficiencia en las 3 máquinas han presentado una tendencia decreciente, la empresa tiene establecido que los niveles de eficiencia permitidos en estos equipos deben estar por encima del 65%, meta que no se ha cumplido durante mucho tiempo.

Tabla No. 1

Resumen de horas paradas de las maquinarias en la producción y reciclado de botellas PET

Año	Paradas promedio anual (Horas)	Total de horas laboradas anual	Promedio de horas máximas de trabajo anual	Eficiencia tiempo de máquinas
2015	2889,96	5498,04	8388,00	66%
2016	3218,76	5357,24	8576,00	62%
2017	3407,24	5140,76	8548,00	60%
2018	3626,20	5000,80	8627,00	58%
2019	3890,00	4750,00	8640,00	55%

Fuente: Registro obtenido de la empresa objeto de estudio

La Figura No.1, representa la evolución del rendimiento de estas máquinas, donde se evidencia que, a partir del año 2016 la eficiencia de las maquinarias se sitúa por debajo del 65% referente a los niveles aceptados por la empresa.

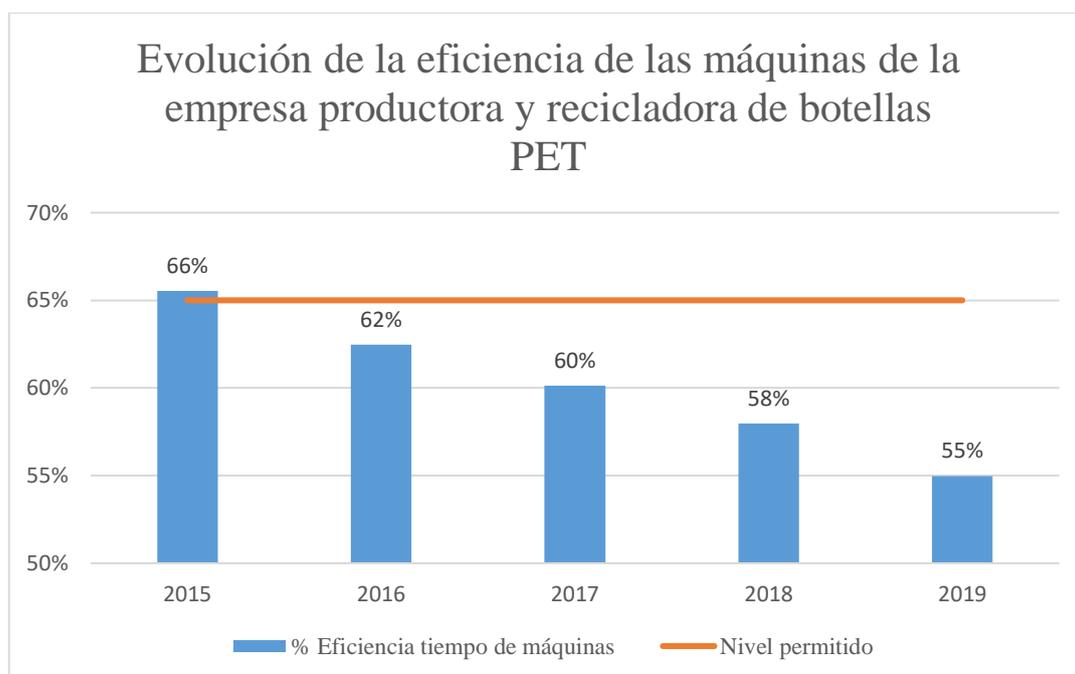


Figura No. 1 Evolución de los niveles de eficiencia en las maquinarias de la empresa productora y recicladora de botellas PET

Fuente: Registro obtenido de la empresa objeto de estudio

Las paradas de las máquinas en mención influyen en la producción de botellas PET, estas son representadas por los kilogramos a vender, lo que genera pérdidas económicas debido a que no se cumplen las planificaciones de producción, la Tabla No.2, muestra el impacto económico negativo que representa la problemática en cuestión.

Con los datos presentados en la tabla indicada, los kilogramos vendidos son el resultado entre la resta de los kilogramos a vender y los kilogramos no vendidos o desechados.

Tabla No. 2

Resumen de ventas anuales 2015-2019

Año	Total, de kilogramos a vender	Kilogramos No Vendidos	Kilogramos Vendidos	Ventas netas (\$)	Ventas no realizadas
2015	106,887.00	23,391.60	83,495.40	\$ 533,905.96	\$ 18,031.70
2016	96,462.76	29,463.55	66,999.21	\$ 523,841.29	\$ 18,252.52
2017	107,372.13	36,227.07	71,145.06	\$ 518,729.95	\$ 18,967.80
2018	105,300.41	45,230.89	60,069.52	\$ 514,205.19	\$ 19,039.49
2019	104,308.32	45,239.75	59,068.57	\$ 513,619.58	\$ 20,410.84
				\$ 2,604,301.97	\$ 94,702.35

Fuente: Registro obtenido de la empresa objeto de estudio

Por lo tanto, la técnica Six Sigma bajo el modelo DMAIC y las herramientas de mejora como el diagrama de Pareto, análisis de causa y efecto, gráficas de control y análisis de efectos y modos de fallas (AMEF), serán necesarias para identificar las principales causas respecto a las

paradas de máquinas, a fin de planificar las medidas correctivas y tomar las acciones pertinentes.

1.3. Grupo objetivo (beneficiarios)

Los principales beneficiarios de este proyecto son los autores, quienes llegarán a obtener el título de Ingeniero Industrial debido a los conocimientos adquiridos por sus profesores y durante sus estudios.

Por otro lado, otro grupo objetivo es el personal de producción y administrativo de la empresa dado que, bajo esta propuesta se pretende reducir los tiempos de paralización, lo que conlleva a que las entregas programadas sean despachadas en el tiempo establecido, de igual manera los propietarios de la empresa también se incluyen en este grupo, esto se debe a que el personal de producción se verá en la necesidad de adaptarse a las mejoras propuestas por el método DMAIC de Six Sigma permitiendo de esta manera que se mitiguen las pérdidas a consecuencia de los tiempos improductivos.

1.4. Delimitación

1.4.1. Delimitación académica

Para el desarrollo del presente trabajo se debe abarcar aquellas materias aprendidas a lo largo de la carrera, a continuación, se presentan las asignaturas que permitirán el debido desarrollo del proyecto técnico.

- Mantenimiento
- Producción I y II
- Administración de proyectos
- Calidad

1.4.2. Delimitación temporal

Se ha considerado un periodo de 4 meses, en los cuales se estima lograr la recolección de datos hasta la presentación del documento final, el periodo comprendido para el desarrollo del trabajo es desde el mes de diciembre 2020 hasta julio del 2021.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Aplicar la metodología Six Sigma, definiendo los pasos a seguir en cada etapa de la estructura metodológica DMAIC, en la producción de botellas PET para reducir en un 5% anual los tiempos de parada.

1.5.2. Objetivos específicos

1. Medir el desempeño de las máquinas involucradas en la producción de botellas PET con la finalidad de establecer los puntos críticos.
2. Realizar el análisis de modos y efectos de fallas (AMEF) en las maquinarias de la empresa para identificar los componentes más críticos y puedan generar averías a corto plazo durante la producción y reciclado de botellas PET.
3. Implementar mejoras en los subprocesos que generen mayor tiempo de paradas de máquinas en el proceso de producción de botellas PET de acuerdo con los datos recopilados y causas raíz identificadas.
4. Establecer controles operacionales en el proceso de producción de botellas PET para la reducción a largo plazo de los tiempos de paradas de máquinas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Marco teórico

2.1.1. Six Sigma

Six Sigma es un programa de mejora de la calidad que tiene como objetivo reducir el número de defectos a tan solo 3,4 partes por millón. Utiliza la distribución normal y una fuerte relación entre las no conformidades o defectos del producto y el rendimiento del producto, la confiabilidad, el tiempo de ciclo, el inventario, el cronograma, etc. (Ansar, y otros, 2018).

Six Sigma enfatiza una combinación inteligente de la sabiduría de una organización con herramientas estadísticas comprobadas para mejorar tanto la eficiencia como la efectividad de la organización cuando se trata de satisfacer las necesidades del cliente. El objetivo final no es simplemente la mejora por mejorar, sino la creación de riqueza económica tanto para el cliente como para el proveedor. Esto no implica que Six Sigma reemplace las iniciativas de calidad existente y en curso en una organización, sino que la alta dirección se centra en aquellos procesos identificados como críticos para la calidad a los ojos de los clientes. Esos sistemas críticos son entonces objeto de un intenso escrutinio y esfuerzos de mejora, utilizando las habilidades blandas y duras más poderosas que la organización puede aplicar (Costa, Silva, & Ferreira, 2017)

Para Navarro y otros (2017), una característica muy poderosa de Six Sigma es la creación de una infraestructura para asegurar que las actividades de mejora del desempeño tengan los recursos necesarios. La creación de una infraestructura Six Sigma exitosa es un proceso continuo cuyo objetivo es infundir conciencia de la calidad en la forma en que todos los empleados abordan su trabajo diario.

2.1.2. DMAIC

Los proyectos Six Sigma de mejora continua de procesos se conducen, desde el concepto hasta la finalización, a través de cinco pasos o fases de gestión de proyectos denominados DMAIC (definir, medir, analizar, mejorar, controlar) (Antony, Vinodh, & Gijo, 2017).

Actualmente, se tiene a disposición métodos y conceptos de gestión de calidad tales como: AMEF, TQM, Six Sigma entre otros. Además de eso, muchas herramientas menos complejas, como el gráfico de Pareto, el diagrama de Ishikawa o 5 POR QUÉ (Valencia, 2016), también se utilizan con mucho éxito.

DMAIC es un sistema complejo y flexible para lograr, mantener y maximizar los logros empresariales. Se caracteriza por la comprensión de las necesidades de los clientes y el uso organizado de hechos, datos y resultados de análisis estadísticos, y se basa en la gestión, la racionalización y la creación constante de nuevas y mejores soluciones con referencia a todos los procesos que tienen lugar en la empresa (Vidal, Soler, & Molina, 2018). Además, tiene como objetivo minimizar los costos de mala calidad y al mismo tiempo aumentar la satisfacción

del cliente (Rodríguez, 2016). El método se utiliza para eliminar las causas de los defectos, las pérdidas en las que incurren y cualquier problema relacionado con la calidad en los aspectos de producción, servicios y gestión. Para resolver estos problemas, el método emplea herramientas de calidad y técnicas estadísticas.



Figura No. 2 Fases del modelo DMAIC
Fuente: Arrizabalagauriarte Consulting (2021)

Los detalles de estas fases son los siguientes (Orona, 2019): En la fase de definición, se identifica el problema específico y se definen las metas y los entregables del proyecto. En la fase de medición, se incluye una revisión de los tipos de sistemas de medición y sus características clave. Las empresas deben comprender a fondo la naturaleza y las propiedades de la recopilación de datos. En la fase de análisis, se utilizan métodos y herramientas estadísticos específicos para aislar las piezas clave de información que son importantes para explicar el número de defectos. En la fase de mejora, se descubren los factores clave que causan el problema. En la fase de control, los procesos que crean el producto o servicio son controlados y monitoreados continuamente para asegurar que el problema no vuelva a ocurrir.

2.1.3. Herramientas de calidad

El proceso de mejora continua de la calidad asume y requiere que un equipo de expertos junto con el liderazgo de la empresa utilice activamente herramientas de calidad en sus actividades de mejora y en el proceso de toma de decisiones (Medina, 2017).

Actualmente existe un número importante de herramientas de aseguramiento y gestión de la calidad disponibles, por lo que la selección de las más adecuadas no siempre es una tarea sencilla. Las herramientas son ingredientes esenciales de un proceso e instrumentos básicos para el éxito de un programa de calidad. Muchas empresas han utilizado herramientas sin pensar lo suficiente en su selección y luego han experimentado barreras para progresar (Ortiz, Troncoso, Acosta, Begambre, & Troncoso, 2019). Las herramientas de calidad no pueden solucionar todos los problemas de calidad, pero sin duda son un medio para resolverlos. En consecuencia, es necesario enfatizar que, si bien las herramientas pueden ser muy efectivas en las manos adecuadas, pueden ser muy peligrosas en las manos equivocadas. Por tanto, es

importante saber cómo, cuándo y qué herramientas se deben utilizar en la resolución de problemas o en los procesos de mejora. Hoy en día existen más de cien herramientas diferentes disponibles. Muchos científicos han intentado definirlos y diferenciarlos sobre diversas bases.

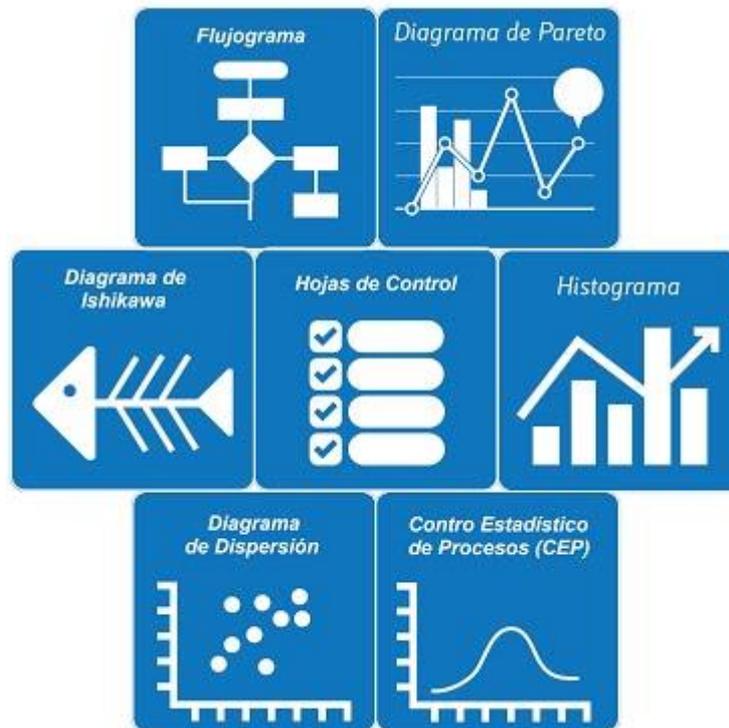


Figura No. 3 Principales herramientas de calidad
Fuente: Gutiérrez (2020)

2.1.3.1. Las siete herramientas de calidad

Estas herramientas de mejora simples pero efectivas se utilizan ampliamente como métodos gráficos de resolución de problemas y como herramientas de gestión general en todos los procesos entre el diseño y la entrega. El desafío para la industria de fabricación y producción es que todos comprendan y utilicen las herramientas de mejora en el trabajo (Darwin & Chipantiza, 2017).

La Figura No. 4 donde los diagramas de Pareto y Causa y efecto son comunes y esenciales en ambos procesos (identificación y análisis).

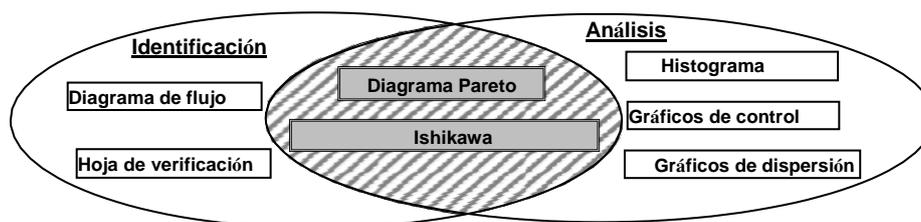


Figura No. 4 Uso de las herramientas de calidad en procesos de análisis e identificación
Fuente: Ortiz y otros (2019)

El enfoque actual para el uso de herramientas de calidad, de acuerdo con EOQ (Organización Europea para la Calidad), se muestra en la Figura No. 5. El proceso de adquisición de datos incluye tres herramientas (Hoja de verificación, Histograma y Gráfico de control) y el proceso de análisis otras cuatro herramientas (diagrama de Pareto, diagrama de causa y efecto, diagrama de dispersión y diagrama de flujo) (Natarajan, 2017).

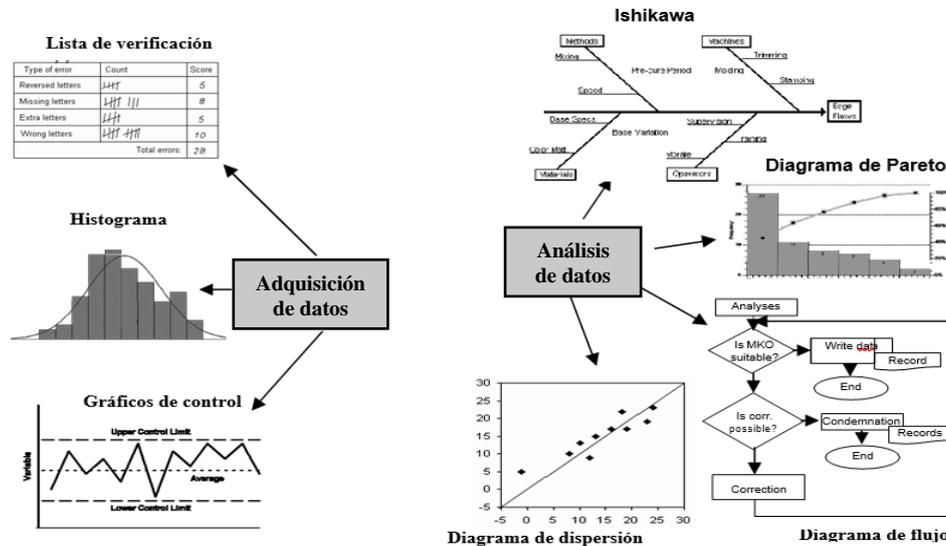


Figura No. 5 Enfoque actual de las herramientas de calidad en proceso de producción
Fuente: Ortiz y otros (2019)

Existe una distinción entre los dos enfoques representados en las Figuras 4 y 5. El enfoque de la Figuras No. 5 es mucho más antiguo (1990) y, por lo tanto, existen algunas distinciones clave. Algunas herramientas que ahora se utilizan solo para el análisis fueron consideradas en ese momento como herramientas de identificación o para ambos procesos (identificación y análisis) (Ribeiro, y otros, 2019). Pero incluso entonces, los científicos intentaban encontrar usos apropiados de cada herramienta en diferentes procesos y metodologías de mejora.

Las herramientas deben cumplir con el propósito principal o motivo de su aplicación. Ninguna herramienta es más importante aisladamente, pero podría ser más importante para una aplicación específica. A continuación, se presentan las 7 principales herramientas de calidad dentro de las empresas dedicadas a la fabricación de productos:

1. Ishikawa

Los diagramas de Ishikawa a veces se denominan diagramas de espina de pescado, o diagramas de causa y efecto. Son diagramas causales creados por Kaoru Ishikawa para mostrar las causas de un evento específico. Se asemejan a un esqueleto de pez, con las "espinas" que representan las causas de un evento y el resultado final que aparece en la cabeza del esqueleto. El propósito del diagrama de Ishikawa es permitir que la gerencia determine qué problemas deben abordarse para ganar o evitar un evento en particular (Hilasaca, 2018).

2. Diagrama de Pareto

Se utiliza un diagrama de Pareto para priorizar decisiones para centrarse en los pocos vitales en lugar de apuntar a todas las categorías. El gráfico es un gráfico de columnas donde todas las categorías están normalmente en el eje xy se suman para representar la acumulación del 100% de todas las categorías. El eje vertical de la izquierda es el número de instancias en la categoría. La columna vertical de la derecha es el porcentaje que contiene esa categoría de todas las instancias.

El principio de Pareto establece que en muchos casos el 20% de las categorías a menudo representa el 80% de la oportunidad. Esta tabla se usa con frecuencia y será una de las herramientas más necesarias para aprender. También se utiliza en varias fases y se puede utilizar en todas las fases del proceso DMAIC (Pérez, Pérez, García, & Gómez, 2020).

3. Diagrama de flujos

Para Aranda y González (2018) un diagrama de flujo es una representación gráfica formalizada de una secuencia lógica, un proceso de trabajo o fabricación, un organigrama o una estructura formalizada similar. El propósito de un diagrama de flujo es proporcionar a las personas un lenguaje común o un punto de referencia cuando se trata de un proyecto o proceso. Los diagramas de flujo utilizan flechas y símbolos geométricos simples para definir relaciones.

4. Hojas de verificación

La hoja de verificación es un documento simple que se utiliza para recopilar datos en tiempo real y en el lugar donde se generan los datos. El documento es típicamente un formulario en blanco que está diseñado para el registro rápido, fácil y eficiente de la información deseada, que puede ser cuantitativa o cualitativa (Moreno, 2018). Cuando la información es cuantitativa, la hoja de verificación a veces se llama hoja de recuento. La hoja de verificación es una de las siete herramientas básicas de control de calidad popularizadas por el Dr. Kaoru Ishikawa. Una característica definitoria de una hoja de verificación es que los datos se registran haciendo marcas o verificaciones en ella. Una hoja de verificación típica se divide en regiones y las marcas realizadas en diferentes regiones tienen un significado diferente. Los datos se leen observando la ubicación y el número de marcas en la hoja. Cinco tipos básicos de hojas de verificación incluyen (Medina, Díaz, & Cardenas, 2017):

- Hoja de verificación de clasificación
- Hoja de verificación de ubicación de defectos
- Hoja de verificación de frecuencia
- Hoja de verificación de la escala de medición
- Lista de Verificación

5. Histogramas

Se utiliza un histograma para resumir datos discretos o continuos. En otras palabras, proporciona una interpretación visual de los datos numéricos al mostrar el número de puntos de datos que se encuentran dentro de un rango específico de valores, es similar a un gráfico de barras verticales. Sin embargo, un histograma, a diferencia de un gráfico de barras verticales, no muestra espacios entre las barras. La creación de un histograma proporciona una representación visual de la distribución de datos. Los histogramas pueden mostrar una gran cantidad de datos y la frecuencia de los valores de los datos. La mediana y la distribución de los datos se pueden determinar mediante un histograma. Además, puede mostrar valores atípicos o lagunas en los datos.

6. Gráficos de control

El tipo clásico de gráfico de control, desarrollado originalmente en la década de 1930, se construye recopilando datos periódicamente y graficando contra el tiempo. Si se recopila más de un valor de datos al mismo tiempo, se trazan estadísticas como la media, el rango, la mediana o la desviación estándar. Los límites de control se agregan al gráfico para señalar desviaciones inusualmente grandes de la línea central, y se emplean reglas de ejecución para detectar otros patrones inusuales.

Para los datos de atributos, como los que surgen de las pruebas, las tablas que se utilizan con mayor frecuencia representan tasas o proporciones. Cuando los tamaños de las muestras varían, los límites de control dependen del tamaño de las muestras.

7. Diagramas de dispersión

Un gráfico de dispersión (también conocido como gráfico de dispersión, gráfico de dispersión) utiliza puntos para representar valores para dos variables numéricas diferentes. Los usos principales de los diagramas de dispersión son observar y mostrar relaciones entre dos variables numéricas. Los puntos en un diagrama de dispersión no solo informan los valores de puntos de datos individuales, sino también patrones cuando los datos se toman como un todo.

La identificación de relaciones correlacionales es común con los gráficos de dispersión. En estos casos, queremos saber, si se nos diera un valor horizontal particular, cuál sería una buena predicción para el valor vertical. A menudo verá la variable en el eje horizontal denotado como una variable independiente, y la variable en el eje vertical la variable dependiente. Las relaciones entre variables se pueden describir de muchas formas: positivas o negativas, fuertes o débiles, lineales o no lineales.

2.1.4. Mantenimiento

Como ocurre con cualquier disciplina construida sobre los fundamentos de la ciencia y la tecnología, el estudio del mantenimiento comienza con una definición. Debido a que existen tantos conceptos erróneos sobre el papel del mantenimiento, muchos de ellos lo definen en términos negativos. Estos conceptos erróneos, profundamente arraigados en las mentes de

demasiados ejecutivos y profesionales de mantenimiento por igual, merecen una primera atención (Suzuki, 2017).

Aunque la práctica de mantenimiento real puede ser exclusiva de una instalación específica, una industria o un conjunto específicos de problemas y tradiciones, aún es posible agrupar las actividades y responsabilidades de mantenimiento en dos clasificaciones generales (Ccapa & Mechato Yovera, 2019): funciones de mantenimiento primarias que exigen atención y ejecución en forma diaria o de forma regular, y las secundarias que se realizan por conveniencia, habilidad o precedente.

2.1.4.1. Funciones primarias

1. Mantenimiento de activos de planta existentes

La función principal del mantenimiento es mantener la confiabilidad y las condiciones operativas de los activos de la planta existente. Esta actividad representa la razón física de la existencia del profesional de mantenimiento. La responsabilidad aquí es simplemente ejecutar las tareas de manera oportuna para evitar el deterioro o daño de los activos de la planta para que permanezcan en un estado medio de confiabilidad que respalde plenamente la misión de la planta. Para esto, un equipo de ingenieros, planificadores y técnicos de mantenimiento capacitados y motivados es esencial para aplicar actividades de mantenimiento sostenido económicamente efectivas, por ejemplo, reemplazo preventivo, periódico y revisiones.

2. Mantenimiento de edificios y terrenos de plantas existentes

El mantenimiento de edificios y la propiedad externa de cualquier planta (carreteras, vías férreas, sistemas de alcantarillado en la planta e instalaciones de suministro de agua) se encuentran entre las tareas generalmente asignadas a la función de mantenimiento. En esta área de responsabilidad se pueden incluir aspectos adicionales del mantenimiento de edificios y terrenos. Los servicios de limpieza pueden ser separados y manejados por otra sección. Una planta con una amplia oficina y un importante programa de mantenimiento de edificios puede asignar esta cobertura a un equipo especial. En plantas donde muchos de los edificios están dispersos, el cuidado y mantenimiento de esta gran cantidad de terreno puede justificar una organización especial.

Las reparaciones y alteraciones menores a los edificios (techado, pintura, reemplazo de vidrio) o las habilidades artesanales únicas requeridas para dar servicio a los sistemas eléctricos o de plomería o similares son, lógicamente, el ámbito del personal de ingeniería de mantenimiento. Las reparaciones de carreteras y el mantenimiento de vías e interruptores, vallas o estructuras periféricas también pueden asignarse así.

Es importante aislar los registros de costos para la limpieza general del mantenimiento y reparación de rutina para que la gerencia tenga una imagen real del gasto real requerido para mantener la planta y su equipo.

3. Inspección y lubricación de equipos

Tradicionalmente, todas las inspecciones y lubricaciones de los equipos se han asignado a la organización o función de mantenimiento. Si bien las inspecciones que requieren herramientas especiales o el desmontaje parcial del equipo deben mantenerse dentro de la función de mantenimiento, el uso de operadores capacitados o personal de producción en esta tarea crítica proporcionará un uso más eficaz del personal de la planta. Lo mismo ocurre con la lubricación. Debido a su proximidad a los sistemas de producción, los operadores son ideales para las tareas de lubricación de rutina.

4. Utilidades, Generación y Distribución

En cualquier planta que genere su propia electricidad y proporcione su propio vapor de proceso, la central eléctrica asume las funciones de una pequeña empresa de servicios públicos y puede justificar un departamento operativo propio. Sin embargo, esta actividad entra lógicamente en el ámbito de la ingeniería de mantenimiento. Puede administrarse como una función separada o como parte de alguna otra función, según los requisitos de la administración.

5. Reformas y Nuevas Instalaciones

En general, tres factores determinan hasta qué punto esta área involucra al departamento de mantenimiento: tamaño de la planta, tamaño de la empresa multiplanta y política de la empresa.

En una pequeña planta de una empresa de una sola planta, este tipo de trabajo puede ser realizado por contratistas externos. Pero su administración y la de la fuerza de mantenimiento deben estar bajo la misma dirección. En una pequeña planta dentro de una empresa de varias plantas, la mayoría de las nuevas instalaciones y las modificaciones importantes pueden ser realizadas por un departamento de ingeniería central de toda la empresa. En una planta grande, una organización separada debería manejar la mayor parte de este trabajo.

Cuando las instalaciones y alteraciones se manejan fuera de la función de mantenimiento, la empresa debe permitir flexibilidad entre los grupos de ingeniería de planta y corporativos. Sería contraproducente que todo el trabajo nuevo fuera manejado por una agencia separada de las políticas de mantenimiento y la administración.

2.1.4.2. Funciones secundarias

1. Gestión de inventario de mantenimiento, reparación y revisión (MRO)

En la mayoría de las plantas es fundamental diferenciar entre almacenes mecánicos y almacenes generales. La administración de almacenes mecánicos normalmente se encuentra dentro del área de la función de mantenimiento debido a la estrecha relación de esta actividad con otras operaciones de mantenimiento. Las tareas de mantenimiento tienen la responsabilidad de garantizar que se incluyan los materiales adecuados en el inventario de MRO.

2. Plan de protección.

Esta categoría generalmente incluye dos subgrupos distintos: guardias o vigilantes y escuadrones de control de incendios. La incorporación de estas funciones con las tareas de mantenimiento suele ser una práctica común. La inclusión del grupo de control de incendios es importante ya que sus miembros casi siempre provienen de los elementos de la artesanía.

3. Depósito de basura.

Esta función y la del mantenimiento del patio suelen combinarse como asignaciones específicas del departamento de mantenimiento.

4. Salvar

Si una gran parte de la actividad de la planta se refiere a productos fuera de calidad, debe establecerse una unidad de salvamento especial. Pero si el rescate involucra equipo mecánico, como madera de desecho, papel, contenedores, etc., debe asignarse a mantenimiento.

5. Administración de seguros

Esta categoría incluye reclamaciones, inspección de equipos de proceso y recipientes a presión, enlace con los representantes de los aseguradores y tramitación de recomendaciones de seguros. Estas funciones normalmente se incluyen con el mantenimiento, ya que es aquí donde se originará la mayor parte de la información.

6. Otros servicios

El departamento de mantenimiento a menudo parece ser un lugar de acogida para muchas otras actividades extrañas que ningún otro departamento puede o quiere manejar. Pero se debe tener cuidado de no diluir las responsabilidades primarias de mantenimiento con estos servicios secundarios.

Cualesquiera que sean las responsabilidades asignadas a la función de mantenimiento, es importante que estén claramente definidas y que todos los interesados establezcan y acuerden los límites de autoridad y responsabilidad.

2.1.5. Mantenimiento productivo total

El entorno del mercado se caracteriza por un rápido aumento de los avances tecnológicos impulsado por una intensa competencia económica. Esta transición a la competencia global ha obligado a las empresas a mejorar su competitividad mejorando su rendimiento de fabricación. Un programa de mejora importante en el campo de la gestión de la producción y las operaciones es el mantenimiento productivo total (TPM) (Gómez, 2019).

El principal objetivo de TPM es lograr un sistema de fabricación confiable, que se logra maximizando la efectividad general del equipo para que la productividad de la planta y el equipo aumente. Las prácticas de TPM más comúnmente citadas en la literatura son el

mantenimiento preventivo autónomo (MPA), el mantenimiento preventivo (MP), el énfasis en la tecnología de equipos, así como los enfoques multifuncionales para la capacitación y la participación de los empleados (Suzuki, 2017).

En el enfoque utilizado en la mayoría de las industrias, las acciones del mantenimiento preventivo autónomo y el mantenimiento preventivo se realizan en un momento programado independientemente de su condición real. Dado que el cronograma a menudo se elabora en base a las recomendaciones del proveedor, pero se hace con el conocimiento del personal de las condiciones de uso reales o con la experiencia pasada, rara vez es un procedimiento óptimo (Bendezu, 2017)

Se sabe que el análisis de modos y efectos de falla (FMEA) es un procedimiento sistemático para el análisis de un sistema para identificar los modos de falla potenciales y sus causas y efectos en el desempeño del sistema. El análisis se realiza con éxito, preferiblemente al inicio del ciclo de desarrollo, de modo que la eliminación o mitigación del modo de falla sea más rentable (Cabrera & Israel, 2018). Para identificar fallas en términos de dónde se encuentran en un sistema y qué tan graves son sus consecuencias, un análisis de prioridad de riesgo debe ser un requisito previo para cualquier operación.

2.1.5.1. Análisis de modos y efectos de fallas AMEF

Es una técnica inductiva que funciona de abajo hacia arriba, asumiendo que ha ocurrido una falla en un componente y luego evaluando los efectos de ese evento inicial en el resto del sistema. El resultado final es una tabla de fallas y sus efectos en el sistema, que proporciona al analista una descripción general de las posibles fallas. Por lo general, estos efectos se evalúan según una serie de criterios, como la severidad (S), la ocurrencia (O) y la detectabilidad (D) (Shaker, Shahin, & Jahanyan, 2019). A menudo, estos criterios se combinan luego en una estimación general del riesgo. Luego, todos estos datos se presentan en forma de tabla, lo que permite al analista ver rápidamente cuáles son los efectos de cada modo de falla. Son métodos útiles que podemos usar para identificar fallas potenciales en un sistema, de modo que luego podamos usar esa información para corregir o prevenir esas fallas (Juarez, 2019).



Figura No. 6 Resultados esperados del AMEF

Fuente: Ccapa y Mechatro (2019)

AMEF es una herramienta de confiabilidad ampliamente utilizada para identificar fallas potenciales antes de que ocurran con la intención de minimizar el riesgo asociado con ellas. Como la función básica de AMEF es encontrar, priorizar y minimizar la falla, se ha utilizado ampliamente en varias áreas de fabricación, ayudando a problemas relacionados con la confiabilidad (Suzuki, 2017). Es una herramienta de toma de decisiones para priorizar acciones correctivas para mejorar el rendimiento del producto / sistema al eliminar o reducir la tasa de fallas. Los principales beneficios de implementar AMEF son mejorar la calidad y confiabilidad del producto / proceso, asegurando así la satisfacción del cliente (Barrientos, 2017).

2.1.6. Plástico PET

El tereftalato de polietileno (PET) es un polímero termoplástico de uso general que pertenece a la familia de polímeros de poliéster (Callister, 2019). Las resinas de poliéster son conocidas por su excelente combinación de propiedades tales como resistencia mecánica, térmica, química y estabilidad dimensional.

El PET reciclado se puede convertir en fibras, tejidos, láminas para embalar y fabricar piezas de automoción. El PET es una resina muy flexible, incolora y semi cristalina en su estado natural. Dependiendo de cómo se procese, puede ser de semirrígido a rígido. Muestra buena estabilidad dimensional, resistencia al impacto, humedad, alcoholes y disolventes.

Los grados de PET disponibles comercialmente incluyen materiales no reforzados a reforzados con vidrio, retardantes de llama y de alto flujo para diversas aplicaciones de ingeniería que típicamente requieren mayor resistencia o mayor resistencia al calor. La adición de rellenos como fibras de vidrio, etc. ayuda a mejorar la resistencia al impacto, el acabado de la superficie reduce la deformación y varios otros beneficios (Ramirez, Builes, & Franco, 2019).

2.1.7. Utilización del PET reciclado en resinas

El PET es uno de los plásticos que más se somete a reciclaje; sin embargo, este proceso puede reducir algunas de sus propiedades, como la resistencia mecánica y estabilidad térmica (Reyna, 2016).

El proceso de reciclaje en sí puede subdividirse en dos categorías, es decir, físico y químico. El primero se lleva a cabo mediante un proceso de extrusión térmica y paletización, y luego los pellets obtenidos se pueden remodelar. La segunda categoría incluye muchos tratamientos químicos, como glucólisis, hidrólisis, metanólisis, alcoholisis, aminólisis y amonólisis; estas técnicas mencionadas se basan en el hecho de la descomposición del PET en oligómeros despolimerizados la cual ha sido tema de varias investigaciones.

Ocoro y otros (2018), establecieron una comparación completa entre el PET virgen y el reciclado, informaron sobre diferentes métodos para la formulación y composición del PET y discutieron su efecto sobre las cadenas de polímero y el perfil térmico. Solís (2018), realizó algunas reacciones de despolimerización para PET mediante varios catalizadores, como cloruros de magnesio, zinc y litio, y comparó el porcentaje de rendimiento con sales y ácidos comunes. De acuerdo con las investigaciones de los autores mencionados, se puede deducir el impacto que tiene el PET reciclado en la industria plástica.

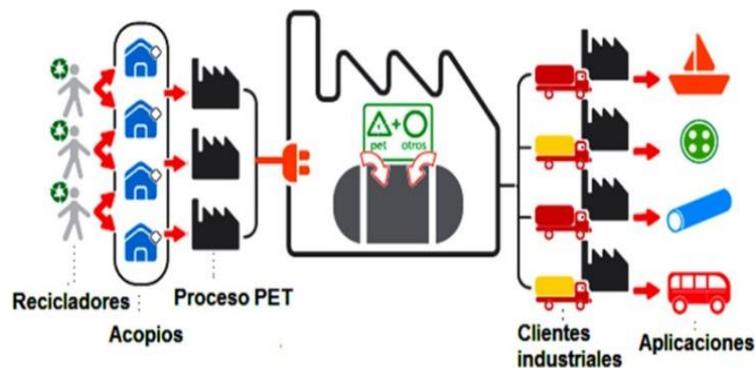


Figura No. 7 Enfoque actual de las herramientas de calidad en proceso de producción
Fuente: Orona (2019)

CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO

Para la propuesta del modelo Six Sigma DMAIC en la línea de producción de botellas de PET, se están desarrollando algunos métodos para lograr el objetivo descrito en esta tesis.

En cada paso o fase de la aplicación del método DMAIC, se aplican herramientas de control de calidad con un enfoque en reducir el tiempo de inactividad de la línea de botellas PET para diagnosticar la situación actual del negocio. En este contexto, se definen los sectores involucrados en el proceso de producción de botellas PET. Se analizan los siguientes sectores para este trabajo:

- Maquinaria presente en la línea de producción de frascos PET
- Personal encargado en la producción de frascos PET
- Materia prima empleada
- Proceso de producción de frascos PET

Luego de establecer los principales sectores a evaluar, sigue poner en marcha el método DMAIC.

3.1. Desarrollo de la fase de DEFINIR

Según los datos de la empresa productora de frascos PET donde se realizó el proyecto, la empresa tiene un problema de ineficiencia en sus procesos, específicamente en los 4 sectores mencionados, estas ineficiencias son las principales causas de los tiempos improductivos, dado que existe una relación entre la reducción de la eficiencia en los procesos de producción y tiempos improductivos.

Tabla No. 3
Porcentaje de horas improductivas en el proceso de producción 2015 - 2019

Año	Horas promedio de trabajo anual	Horas promedio de paro de máquina	% Horas de paro de máquina
2015	8388,00	2889,96	34%
2016	8576,00	3218,76	38%
2017	8548,00	3407,24	40%
2018	8627,00	3626,20	42%
2019	8640,00	3890,00	45%

Fuente: Registro obtenido de la empresa objeto de estudio

Como se muestra en la tabla 3, es necesario determinar el porcentaje de horas de paro de máquina en relación con las horas promedio de trabajo anual, cabe mencionar que desde 2015 se evidencio un valor del 34% respecto a las horas de paro de máquina, alcanzando un 45% en

el año 2019. Todo esto demuestra que existe un incremento de improductividad en los procesos de elaboración de frascos PET.

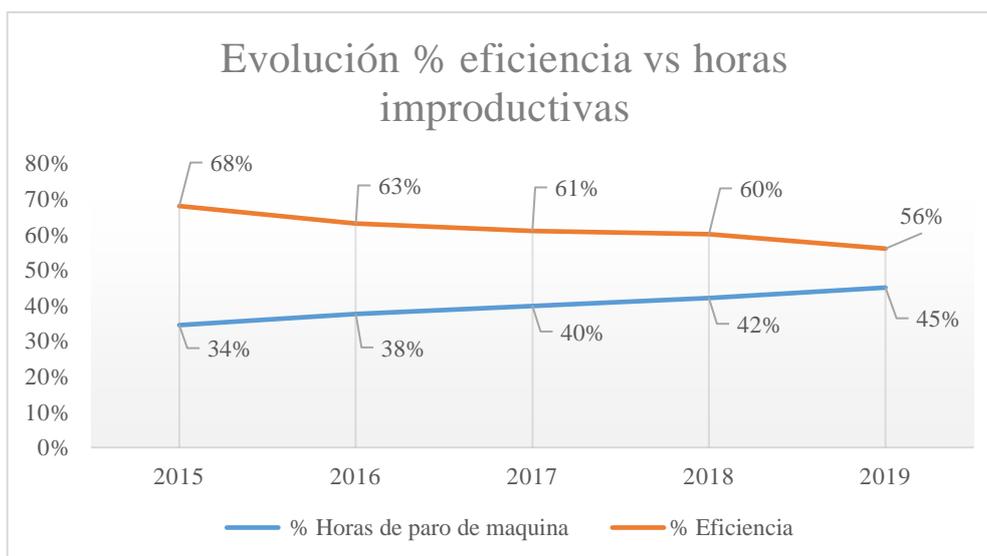


Figura No. 8 Evolución del nivel de eficiencia y el tiempo de paro de máquina

Fuente: Adaptado de los datos del departamento de producción de la empresa objeto de estudio

Para confirmar la dependencia entre estos indicadores, se realiza un análisis de correlación mostrado en la figura 9, con la finalidad de demostrarlo estadísticamente.

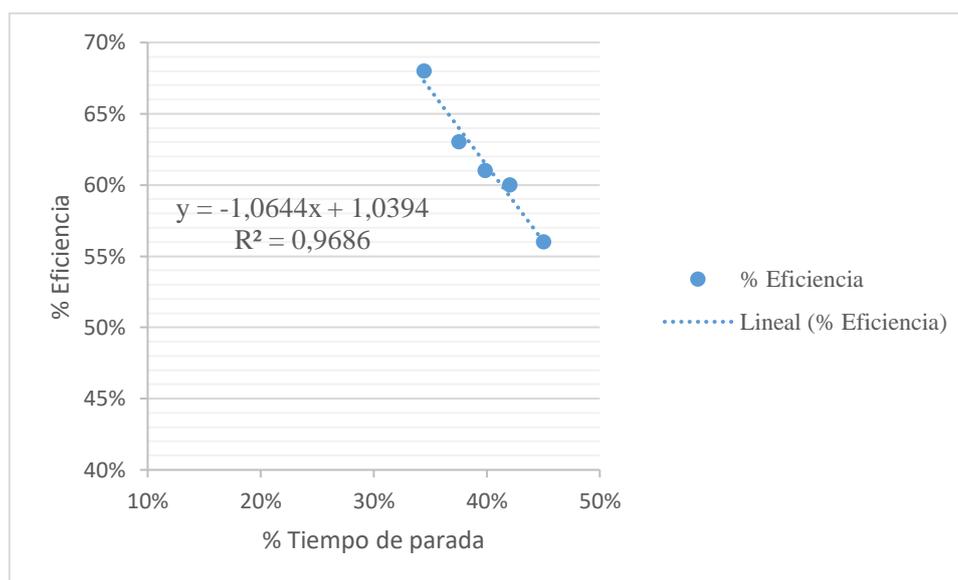


Figura No. 9 Diagrama de correlación entre la Eficiencia del proceso de producción PET y generación de tiempo de paro de máquina

Fuente: Adaptado de los datos del departamento de producción de la empresa objeto de estudio

Donde las variables a utilizar son:

Y: % Eficiencia (variable independiente).

X: % Tiempo de paro de máquina (variable dependiente).

a: coeficiente de regresión intersección, cuyo resultado de análisis es 1,0394

b: coeficiente de regresión pendiente, cuyo resultado de análisis es 1,0644x

El coeficiente de relación es de 0,9686 lo que indica una fuerte relación entre las dos variables mencionadas. Como resultado se puede constatar y concluir que el bajo porcentaje de eficiencia se produce por una estrecha relación lineal con el porcentaje de tiempo de paro de máquina generado en la empresa.

Ante este análisis, queda demostrado que es necesario implementar mejoras en los 4 sectores que generan mayor cantidad de tiempo de paro de máquina durante la producción de frascos PET, la tabla 4 presenta el nivel de participación en cuanto a la generación de horas improductivas.

Dentro de la tabla se puede evidenciar casos alarmantes los cuales nunca fueron corregidos a tiempo, como el caso de la inyectora y sopladora de preformas las cuales representan un 39% y 49% de tiempo de paro de maquina generado respectivamente. En cuanto a la materia prima, la resina PET en ocasiones ha presentado propiedades tanto químicas y físicas que no son aptos para su proceso, como diámetros fuera del estándar, producto caducado entre otros, representando un 47% de tiempo de paro de máquina.

El personal encargado también tiene responsabilidad en la ineficiencia del proceso lo que conlleva a que se genere alrededor del 60% de tiempo de paro de máquina debido a la desmedida aplicación de materia prima.

El proceso de producción de frascos PET también representa un promedio del 45 % de tiempo de paro de máquina, entre las principales causas se tiene aquellos subprocesos que no generan valor al igual que la distribución de la materia prima y el producto terminado el cual sufre varias afectaciones por un mal manejo.

Tabla No. 4*Nivel de participación de los 4 sectores que generan más horas improductivas*

Clasificación de horas improductivas por sector	% de tiempo de paro de máquina	Descripción de la generación de horas improductivas	Observación
MAQUINARIA Y EQUIPOS			
Inyectora de preformas	39%	Fugas y derrame de PET procesado, parte del material no se termina de procesar y se queda en la inyectora	Genera horas improductivas
Sopladora de preformas	49%	Baja potencia de la sopladora genera mal formaciones en las preformas	
Preformas	35%	Ejemplares con fuga impiden el correcto formado	
Moldes	37%	Moldes desgastados o con falta de mantenimiento	
Promedio de parada de máquina generado por el sector	40%		
MATERIA PRIMA			
Resina PET (Polietileno Tereftalato)	47%	Materia prima de mala calidad, material caducado, material estropeado o alterado	Genera horas improductivas
Masterbatch o colorante	35%	Combinación dispareja de colores, aplicación desproporcionada de masterbatch	
Promedio de parada de máquina generado por el sector	41%		
PERSONAL ENCARGADO			
Aplicación de materia prima	60%	Aplicación en exceso o en escasez de resina PET	Genera horas improductivas
Operarios	49%	Mal control de las inyectoras y sopladoras, falta de personal en las máquinas	
Promedio de parada de máquina generado por el sector	55%		
PROCESO DE PRODUCCIÓN			
Subprocesos que no generan valor	36%	Repetición de procesos o inclusión de procesos que comprometen a los frascos PET	Genera horas improductivas
Distribución de material	55%	Perdida de materia prima durante los diversos procesos para la elaboración de frascos PET	
Promedio de parada de máquina generado por el sector	45%		
Promedio total de parada de máquina generado por los 4 sectores	45%		

Elaborado por autor

Se debe aclarar que, las paradas de máquina se suscitan cuando existe introducción de nuevo operarios, cambios en los componentes de las inyectoras y sopladoras, esto último se debe a que aún no se encuentran calibrados bajo los parámetros de producción en la línea de frascos PET.

3.1.1. Definición del problema

Para la definición del problema, como se detalló en la sección 3.1, con la aplicación de las 4W + H se identifica el problema, la tabla 5 presenta la problemática a tratar.

Tabla No. 5
Método 4 W+ H para llevar a cabo el modelo Six Sigma.

Método 4W + H	
¿Qué?	Los tiempos de paro de máquina en la línea PET se elevan a un 45%
¿Dónde?	Línea de frascos PET
¿Cuándo?	Desde el año 2016
¿Cómo?	Debido a los registros otorgados por la empresa sobre las horas de paro de máquina en los sectores que involucraran al personal, materia prima, maquinaria y procesos.
¿Qué tanto?	Del promedio anual de 3890 horas de parada de máquina que corresponden a los 4 sectores a evaluar

Elaborado por autor

Por lo tanto, el problema en cuestión es acerca de la cantidad de horas de paro de máquinas en el año 2019 dado que, a partir del año 2016 existe una tendencia decreciente respecto al nivel de eficiencia en la línea de frascos PET, siendo el 2019 el periodo con peores niveles de eficiencia.

3.1.2. Resumen de la fase definir

Por último, se realiza el resumen de la fase de definición, esto se representa como un Project Charter, el cual servirá como documentación formal de los requisitos pertinentes para satisfacer las expectativas de los interesados.

Tabla No. 6

Project Charter del modelo Six Sigma en la reducción de paro de máquina en la producción de frascos PET

Project Charter		
Título del proyecto: Reducción de paro de máquinas en la línea de frascos PET		
Miembros del equipo:		
Dpto. control de calidad, Dpto. de producción, jefe de mantenimiento, proveedores de materia prima, operarios		
Agentes implicados:		
Calidad, Producción, Mantenimiento y RRHH		
Descripción del problema		
Las horas de paro de máquina generados en la línea de frascos PET, durante los últimos 4 años se ha incrementado un 45% afectando los niveles de eficiencia que se ha reducido por debajo del 65% permitido por la empresa, esto ha marcado una tendencia creciente lo cual debe ser intervenido de manera inmediata.		
Objetivo	Valor de partida	Valor objetivo
Reducir la cantidad de horas de paro de máquina generado en la línea de frascos PET	45%	Reducirlo a un 5% anual
Beneficios esperados para los principales clientes		
<ol style="list-style-type: none"> 1. Productos terminados de mayor calidad 2. Reducir el Lead Time gracias a la disminución de reproceso por los tiempos de paralización de máquina 3. Mejora la eficiencia en la producción de frascos PET 		

Elaborado por autor

3.2. Desarrollo de la fase MEDIR

Luego de definir los aspectos más críticos en la producción de frascos PET, se procede a desarrollar la segunda etapa del método DMAIC, la cual consiste en la medición de los sectores mencionado.

La segunda fase del modelo DMAIC, se identifican las principales causas que generan el paro de máquina en la línea de frascos PET, recopila información para el proceso y establece unas metas de mejora. La fase de medición permite comprender la condición presente o actual del proceso previo a establecer las posibles mejoras. Las estimaciones y suposiciones no son permitidas en esta fase puesto que, la fase de medir se basa en datos válidos provenientes de los registros de la empresa o identificadas en los procesos de inspección.

Para esto se requiere desarrollar el diagrama de procesos actual de la empresa, con la finalidad de identificar aquellos subprocessos que puedan generar tiempos considerables de paro de máquina y no aporten valor al proceso general de producción de frasco PET.

Por otro lado, dado que en la línea de frascos PET están presentes las maquinarias especializadas para el proceso de producción de estos frascos, es necesario realizar un análisis de modos de efectos y fallas (AMEF), con el objetivo de identificar el efecto potencial que tiene cada máquina con su respectivo proceso referente al paro de máquina.

3.2.1. Evaluación del proceso actual de frascos PET

Sistema de moldeo por inyección hidráulica.

La máquina de moldeo por inyección trabaja en un sistema hidráulico donde se utiliza una emulsión (mezcla de agua y aceite) como líquido. La unidad de compresión generalmente tiene una bomba de presión positiva, que impulsa un acumulador hidráulico. El movimiento de las piezas mecánicas se obtiene proporcionando un rodillo impulsor con una bomba a través del colector. Como resultado, el pistón se mueve a alta presión y alto consumo de energía durante el movimiento. Con las modernas máquinas de moldeo por inyección independientes, el pistón se mueve a baja presión durante la fase de entrega, lo que resulta en un importante ahorro de energía.

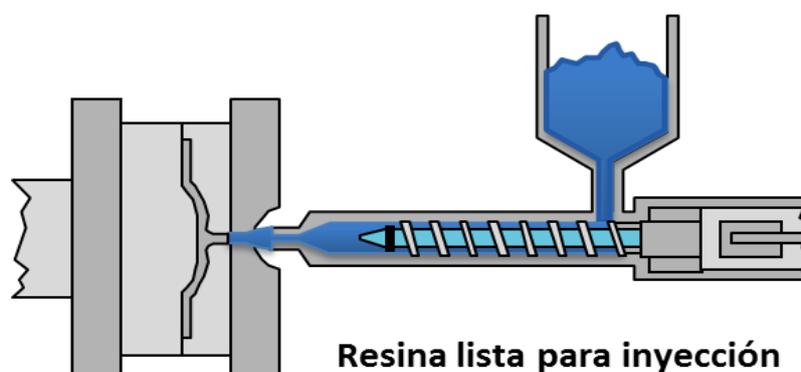


Figura No. 10 Proceso de inyección de resina PET

Sistema de Unidad de Cierre de una Máquina de Inyección

Las unidades de cierre de molde es un componente de una máquina que sostiene un molde. Cierra y abre un molde, creando una fuerza que mantiene el molde cerrado durante la fase de inyección, empujando una parte a la hora de abrir el molde.

Sistema de doble cierre de rodilleras

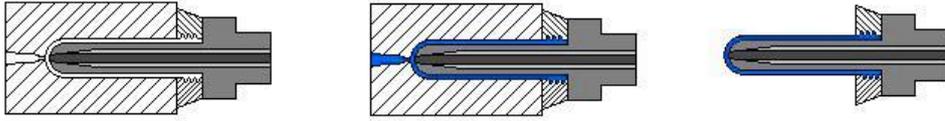
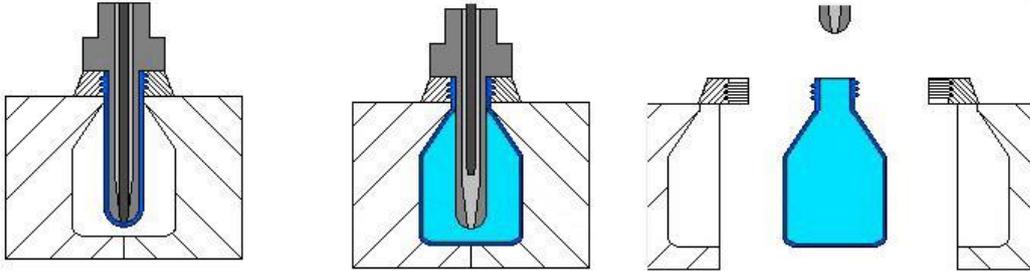
El sistema de doble manivela o rodillera es el más utilizado y puede proporcionar fuerzas de cierre de hasta 10.000 kN. La razón por la que se utiliza este tipo de sistemas de esta manera es que el plato móvil se mueve más rápidamente y los moldes se abren y se cierran rápidamente, lo que acorta el tiempo de formación general del ciclo de fundición. La ventaja más significativa de este sistema es que su fuerza de cierre consume la mitad de la energía en comparación con un sistema de rodilleras simple, pero es importante tener en cuenta que el sistema de doble rodillera es más caro que el tipo de una rodillera, pero tiene mayor cantidad de bielias.



Figura No. 11 Moldes a presión para el moldeo de frascos PET

Principio de funcionamiento de una máquina de inyector-soplado

El moldeo por inyector-soplado es un proceso de producción que combina el moldeo por inyección y el moldeo por soplado. La materia prima utilizada es el PET, este viene en forma de polvo o gránulos que se depositan en la tolva y se transfieren al tornillo que los transporta a través de cuatro resistencias a diferentes temperaturas. Cuando la resistencia final alcanza el material, automáticamente es expulsado por un mandril hacia el molde de la preforma, esta se transfiere a otro eje desde el que se suministra aire comprimido para formar el producto.

Inyección de la preforma**Soplado de la preforma****Figura No. 12** Proceso de inyección de preforma y soplado de preformas

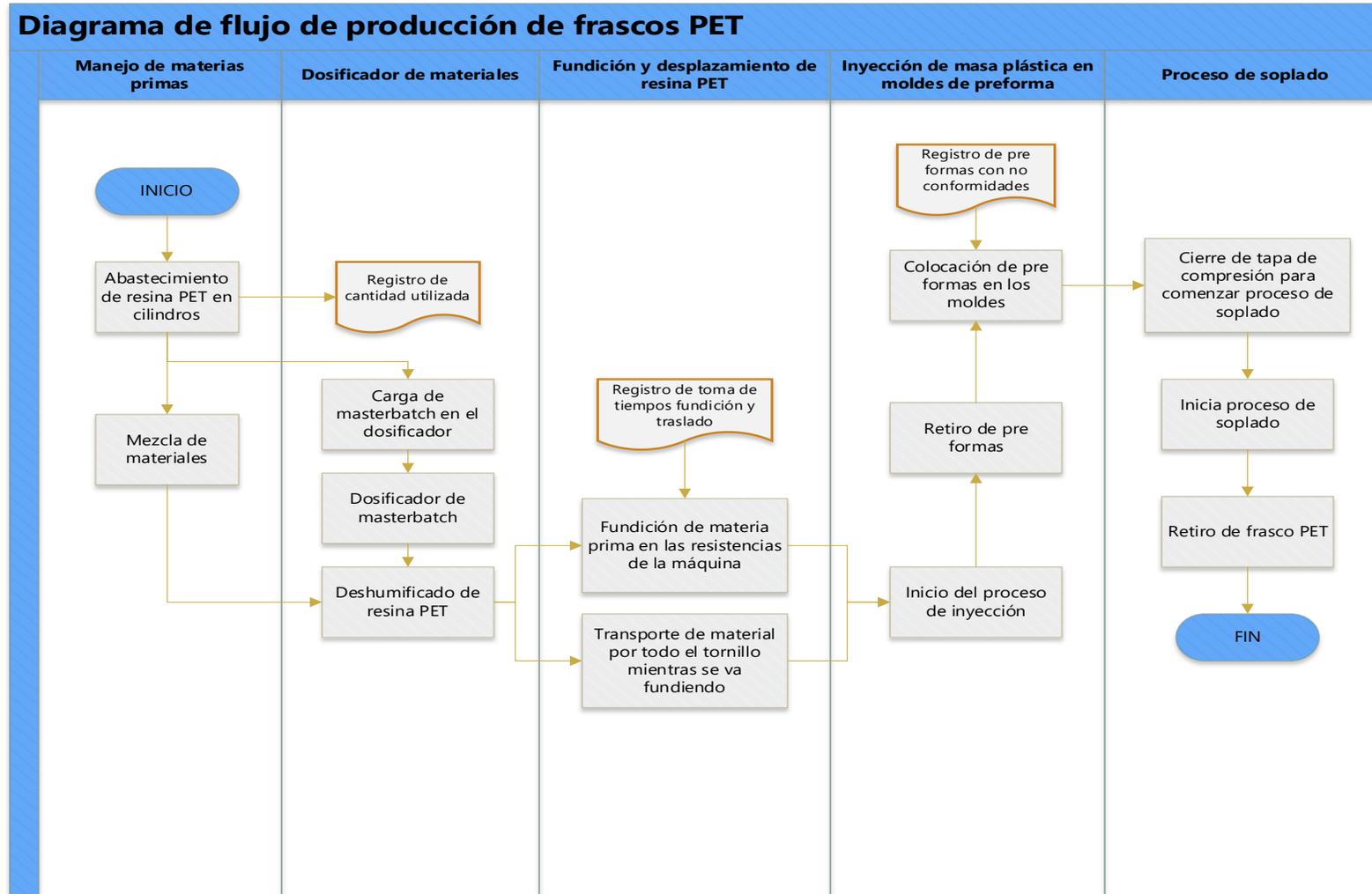


Figura No. 13 Diagrama de flujo de producción de frascos PET

3.2.2. Selección de los procesos de mejora

Como se puede ver en la figura 15, el proceso de fabricación de las botellas de PET incluye 9 subprocesos: llenado de la resina de PET en los cilindros, carga del masterbatch en el tanque de gravedad, carga de la resina de PET en el tanque dispensador, deshumidificación de la resina de PET. Durante la inyección de materiales, el material procesado en el colector ingresa a los moldes de preformas, las preformas se insertan en los moldes, se retira el proceso de soplado entre la preforma y los moldes y se retiran las botellas de PET, creando tiempo de inactividad. Por ello, se debe definir la criticidad de estos procesos, ya que de esta forma se pueden tomar medidas preventivas y correctivas con el fin de reducir el tiempo de inactividad de la máquina por defectos del producto en los tiempos de procesamiento y durante el procesamiento. Los datos sobre las horas de paro de las máquinas producidas se recopilaron en 2019 y se presentan en la Tabla 7.

Tabla No. 7
Horas de paro de máquinas generadas

Proceso	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total de horas de paro de máquina
Proceso de inyección de materiales	78	75	62	69	70	85	68	79	78	59	69	75	867
Deshumidificación de resina PET	55	87	59	59	57	61	61	57	58	74	50	60	738
Preformas se colocan en moldes	65	64	69	56	59	58	50	58	57	56	65	56	713
Proceso de soplado entre preforma y moldes	38	61	33	56	54	58	30	34	55	54	50	45	568
Material procesado en el manifold ingresa a los moldes de preformas	15	12	15	21	20	41	23	20	23	19	12	39	260
Carga de resina PET en tolva de dosificador	15	16	14	21	23	25	16	15	14	18	19	31	227
Retiro de frascos PET	22	22	20	16	15	21	11	19	21	15	14	13	205
Carga de resina PET en cilindros	20	12	15	20	12	20	23	21	15	21	10	13	202
Carga del masterbatch en la tolva del dosificador gravimétrico	23	15	14	23	16	15	14	21	17	14	21	19	110

Elaborado por Autor

Mientras que los procesos críticos de la producción de frascos PET, son identificados en la figura 14, estos están sombreados de color naranja.

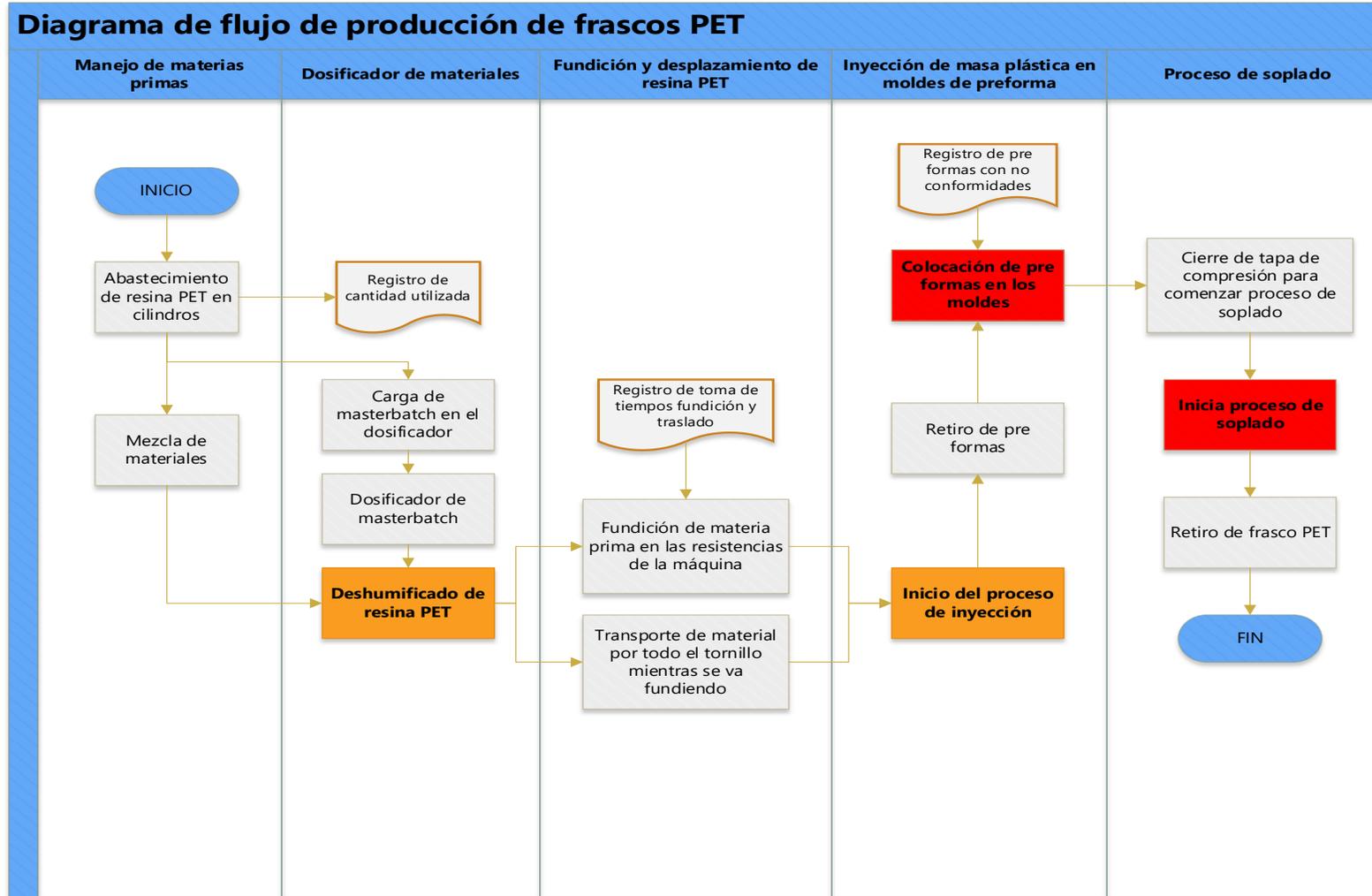


Figura No. 14 Identificación de los procesos críticos en la producción de frascos PET

Para identificar aquellos procesos considerados críticos, se empleará el diagrama de Pareto presentada en la figura 15.

Tabla No. 8
Participación de los procesos en la generación de horas de paro de máquina

Fallos	Horas de parada de máquina	% Acumulado	80-20
Proceso de inyección de materiales	867	22%	80%
Deshumificación de resina PET	738	41%	80%
Preformas se colocan en moldes	713	60%	80%
Proceso de soplado entre preforma y moldes	568	74%	80%
Material procesado en el manifold ingresa a los moldes de preformas	260	81%	80%
Carga de resina PET en tolva de dosificador	227	87%	80%
Retiro de frascos PET	205	92%	80%
Carga de resina PET en cilindros	202	97%	80%
Carga del masterbatch en la tolva del dosificador gravimétrico	110	100%	80%

Elaborado por Autor

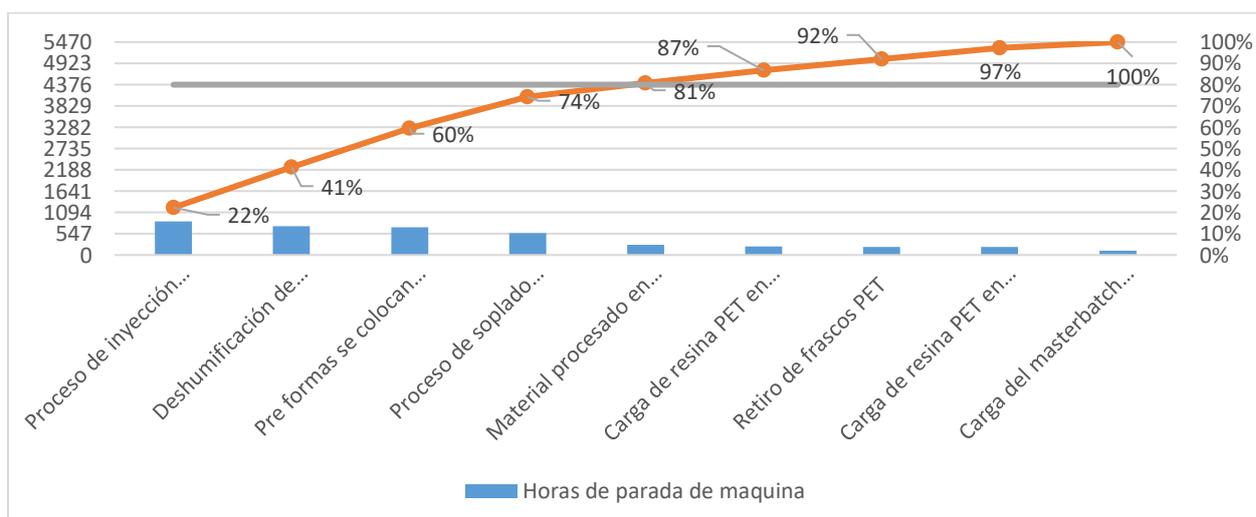


Figura No. 15 Diagrama de Pareto para determinar los procesos críticos

Luego de analizar la gráfica se puede afirmar que, los procesos inyección de materiales, deshumificación de resina PET, preformas se colocan en moldes, proceso de soplado entre preforma y moldes, se encuentran altamente críticos y los cuales influyen en la acumulación de horas de paro de máquina en los procesos en mención, representando el 74% del total y en

donde se debe enfocar las medidas correctivas a fin de reducir la cantidad de horas de paro de máquina.

3.2.3. Selección de orígenes de paro de máquina a solucionar

Como se concluyó en el apartado 3.2.2, el 74% del paro de máquina generado se concentra en los procesos de inyección de materiales, deshumificación de resina PET, preformas se colocan en moldes, proceso de soplado entre preforma y moldes, este paro de máquina generado debe ser clasificado de acuerdo con su origen en cada proceso mencionado.

Para mayor simplicidad los cuatro procesos mencionados serán representados por códigos, como se muestra en la tabla 9.

Tabla No. 9
Códigos para identificar procesos críticos

Código	Proceso
INM-01	Inyección de materiales
DSP-02	Deshumificación de resina PET
PRF-03	Preformas se colocan en moldes
SPM-04	Soplado entre preforma y moldes

Elaborado por autor

En la tabla 10 se muestra el punto de origen que representa la cada uno de los cuatro procesos identificado como los más representativos al momento de generar paro de máquina en toda la producción de frascos PET.

Tabla No. 10
Punto de origen de paro de máquina en la línea PET

Proceso	Tipo de origen	Horas de parada de máquina	% Acumulado	80-20
INM-01	Obstrucción en las cavidades del molde	350	12%	80%
INM-01	Transferencia de calor inadecuada	290	22%	80%
INM-01	Material no apto	285	32%	80%
INM-01	Falla mecánica en el tornillo interno de la inyectora	250	41%	80%
INM-01	Baja presión ejercida	230	49%	80%
DSP-02	Filtro de aire	200	56%	80%
DSP-02	Transporte del chip seco	180	62%	80%
DSP-02	Ingreso de aire ambiental	165	68%	80%
DSP-02	Fallas en el calentador	159	74%	80%
DSP-02	Enfriador de aire	130	78%	80%
PRF-03	Mala colocación de preformas	125	83%	80%
PRF-03	Manejo indebido del producto	111	86%	80%
PRF-03	Moldes descalibrados	98	90%	80%
SPM-04	Boquillas con fugas	85	93%	80%
SPM-04	Baja presión en el soplado	75	95%	80%
SPM-04	Sistema de cierre	50	97%	80%
SPM-04	Sistema de enfriamiento	49	99%	80%
SPM-04	Corte	30	100%	80%

Elaborado por autor

Nuevamente para determinar los principales puntos de origen o tipos de origen que producen la mayor cantidad de horas por paro de máquina, se aplica el diagrama de Pareto, tal como se muestra en la figura 16.

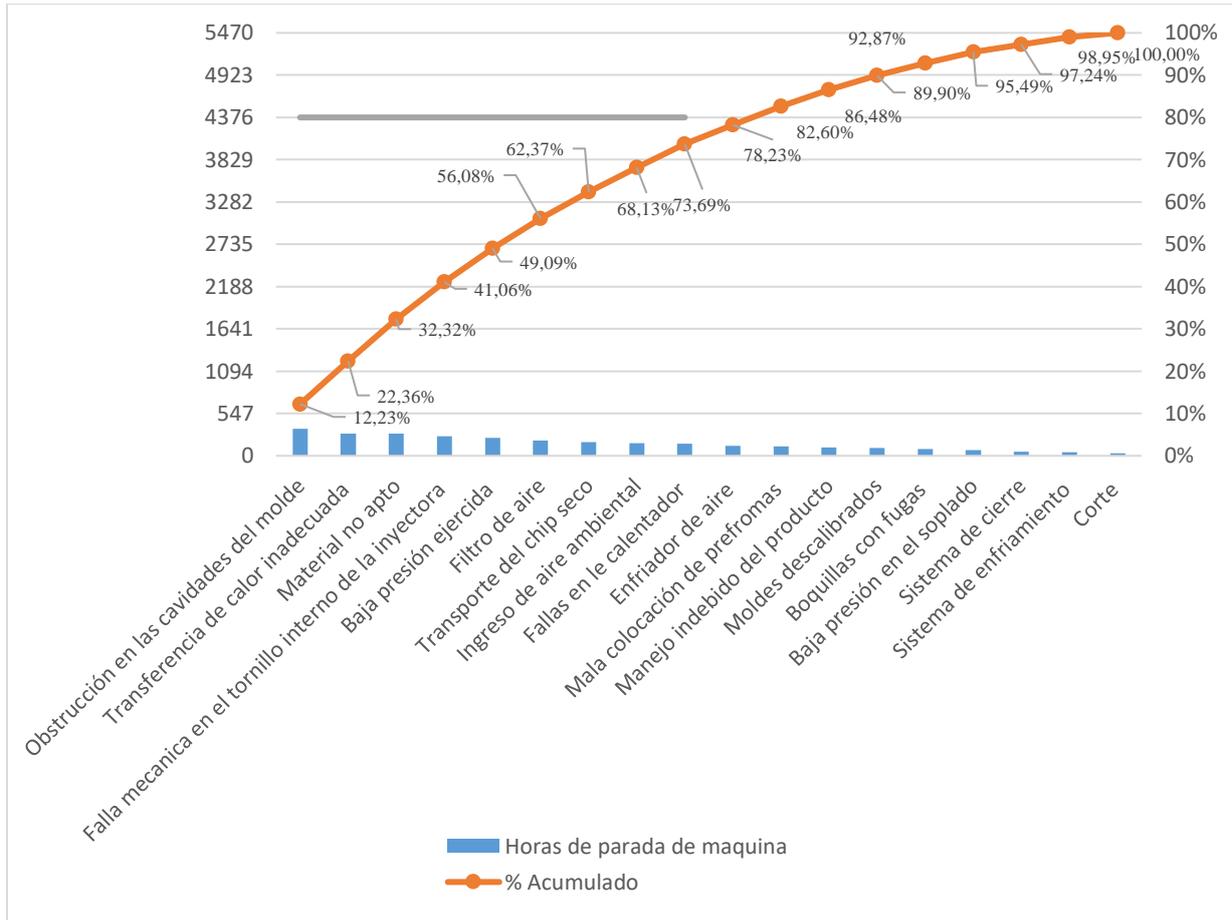


Figura No. 16 Diagrama de Pareto de las principales causas que generan parada de máquina en los procesos críticos

De la figura 18, se puede concluir que el 78% de paro de máquina se generan en los procesos de inyección de materiales, deshumificación de resina PET, preformas que se colocan en moldes, proceso de soplado entre preforma y moldes; son:

- Obstrucción en las cavidades del molde
- Filtro de aire
- Transferencia de calor inadecuada
- Material no apto
- Transporte del chip seco
- Manejo indebido del producto
- Boquillas con fugas
- Ingreso de aire ambiental
- Falla mecánica en el tornillo interno de la inyectora
- Baja presión del aire

3.3. Desarrollo de la fase ANALIZAR

Identificar y confirmar la causa raíz del problema es el objetivo de la fase analizar. Primero, se emplea el diagrama de flujo de los procesos críticos para identificar las variables críticas de entrada o principales causas, luego, se realiza el diagrama Ishikawa para determinar las principales causas de los problemas de los procesos críticos y su incidencia en el paro de máquina, seguido de esto se aplica el análisis de modos y efectos de fallos (AMEF), para identificar los principales efectos potenciales y aplicar medidas correctivas hacia los problemas. Finalmente, se contrastará con una prueba de hipótesis a la mejora planteada.

3.3.1. Diagrama de flujo a detalle

La figura a continuación muestra los diagramas de flujos para los procesos de inyección de materiales, deshumificación de resina PET, preformas que se colocan en moldes, proceso de soplado entre preforma y moldes respectivamente. Estos diagramas permitirán determinar al momento de realizar el diagrama Ishikawa las principales causas de estos procesos.

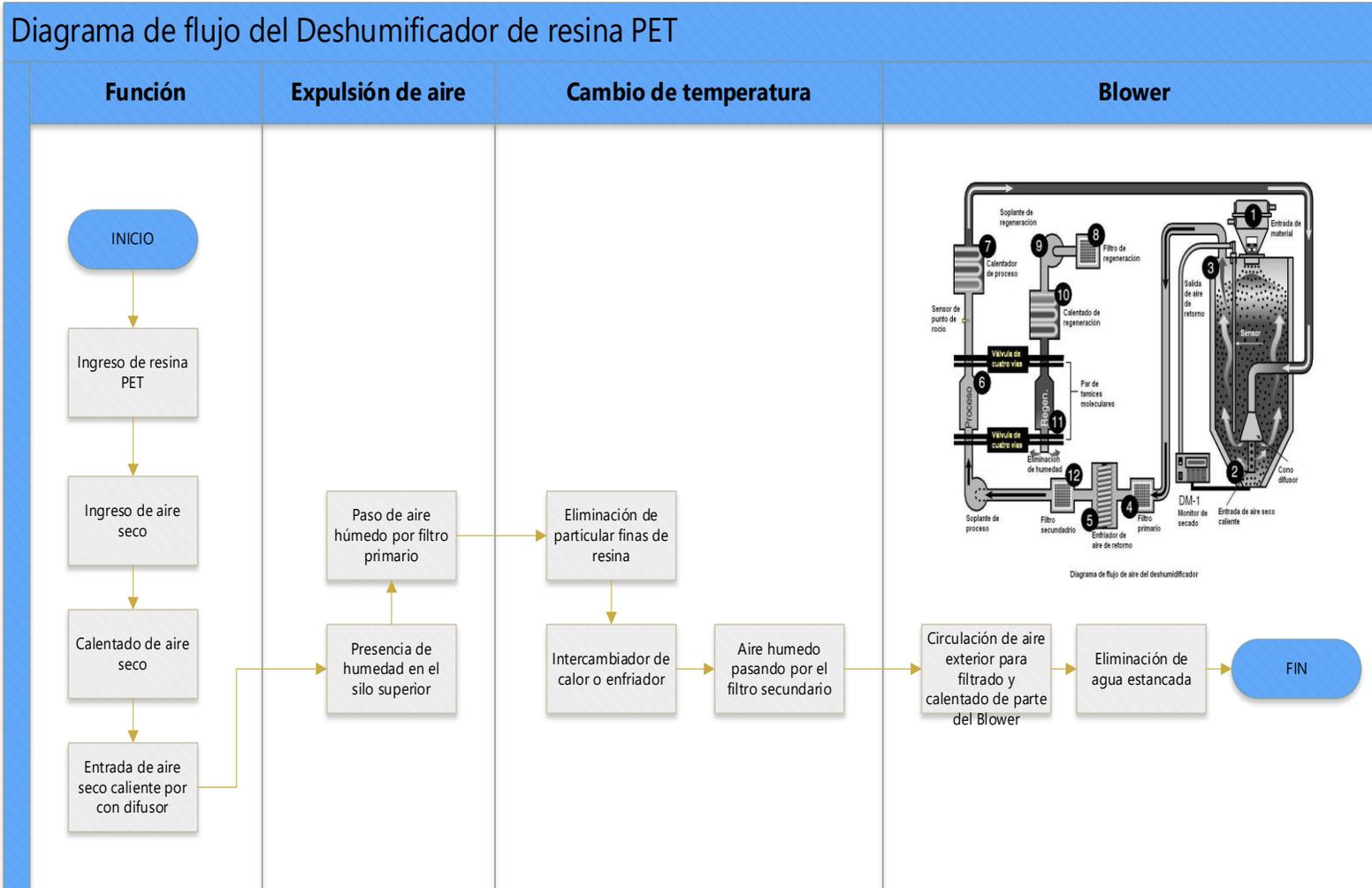


Figura No. 17 Diagrama de flujo del proceso de secado de resina PET

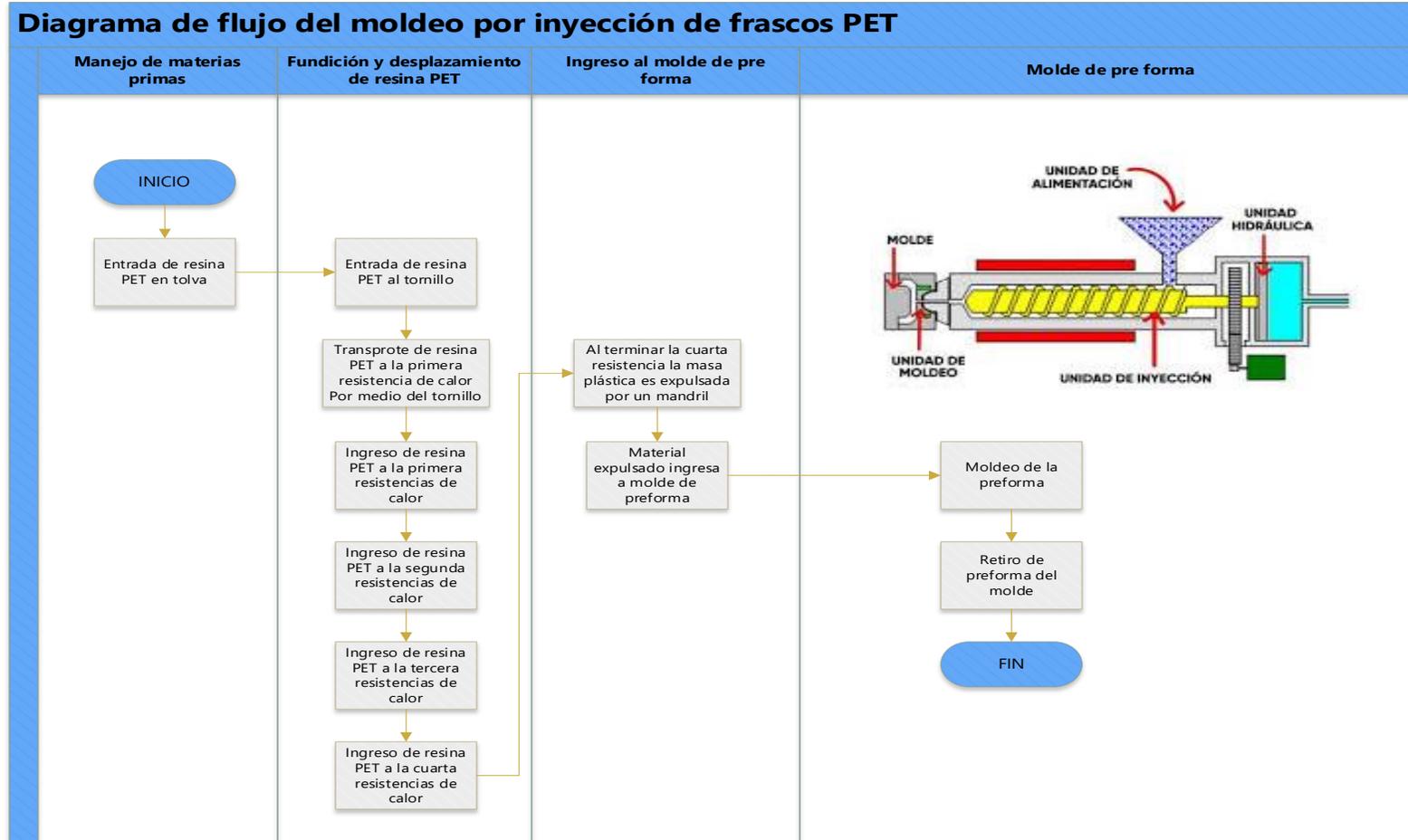


Figura No. 18 Diagrama de flujo del molde por inyección

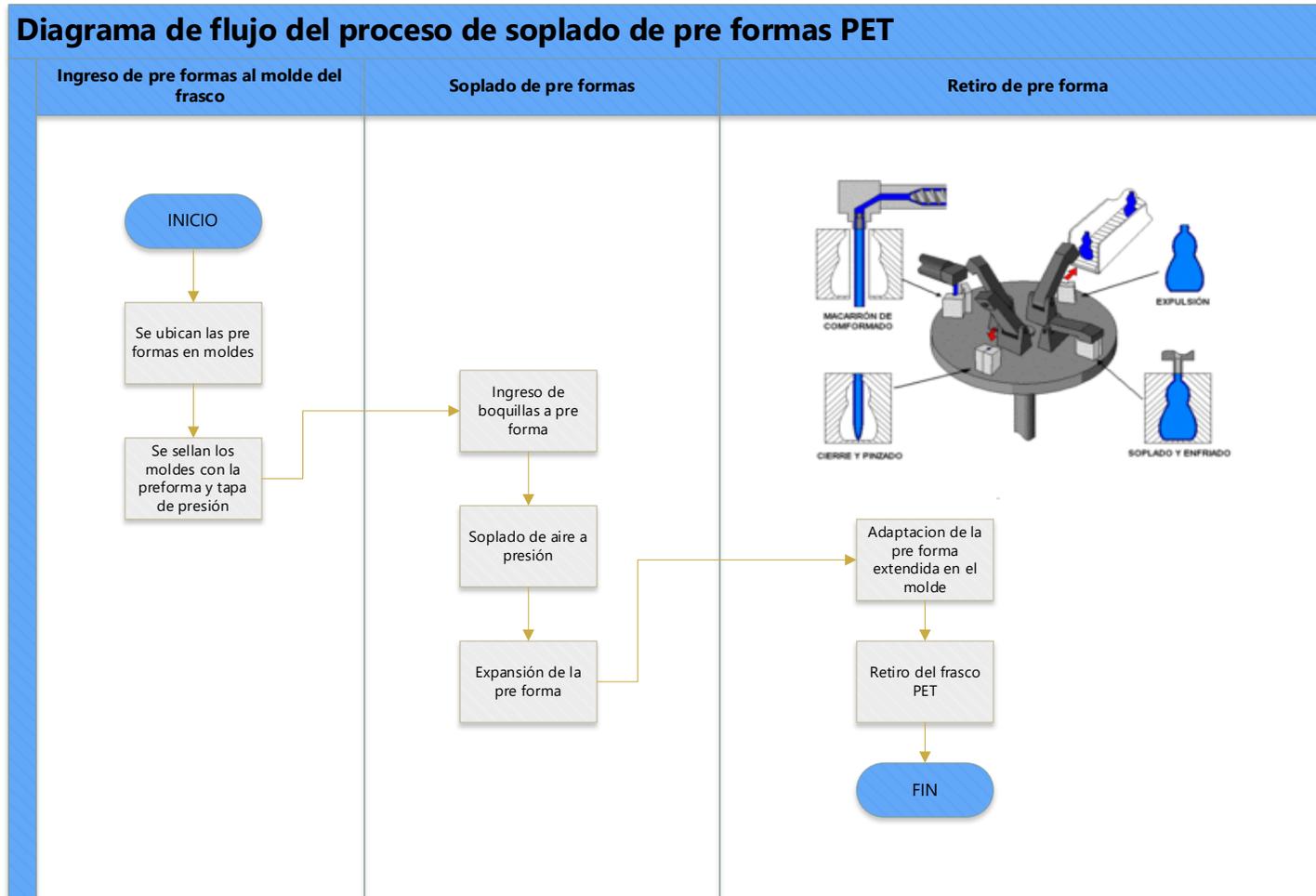


Figura No. 19 Diagrama de flujo del proceso de soplado

3.3.2. Diagrama de Ishikawa

Al final de la asignación de las actividades de cada proceso, es necesario identificar las principales causas que conducen al paro de las máquinas. Estos han sido clasificados según los sectores mencionados al inicio de este capítulo como máquinas presentes en la producción de botellas PET, personal involucrado en la producción de botellas PET, materias primas utilizadas, procesos de producción de botellas PET y su entorno.

La figura 20, de acuerdo con el criterio del equipo formado para la realización de la AMEF, se han identificado las principales causas en el proceso productivo de las botellas PET, lo que representa una mayor responsabilidad en la aparición del paro de máquinas en la empresa examinada, lo cual debe ser valorado en secuencia para identificar acciones correctivas.

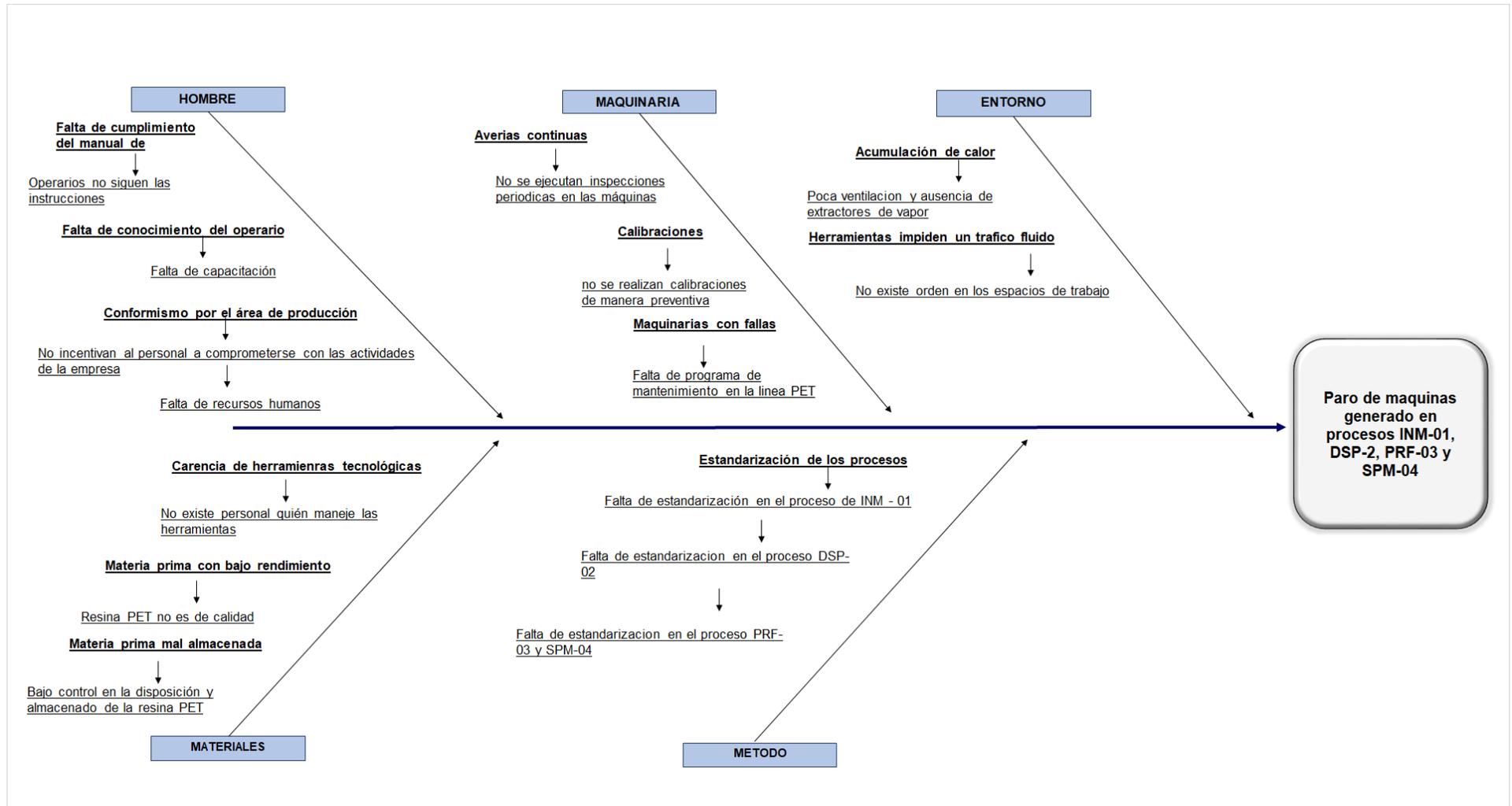


Figura No. 20 Diagrama Ishikawa de los procesos críticos

3.3.3. AMEF en la línea de producción de frascos PET

Se desarrolló un AMEF en la línea de producción de frascos PET, con el objetivo de evaluar las fallas presentes junto a sus efectos potenciales en el producto final, además se presentan las acciones recomendadas, mismas que se detallarán a profundidad en la sección de mejoras.

Para aquello será necesario la aplicación del análisis de criticidad en las maquinarias y sus procesos, para esto, se debe mencionar que, el presente trabajo empleará el número prioritario de riesgo (NPR), para medir la magnitud del riesgo, la categorización de estos efectos se basa de acuerdo con los parámetros que están en función de 3 criterios cualitativos:

- Severidad
- Detectabilidad
- Ocurrencia

El criterio de severidad se definió para evaluar la severidad de una falla, como se observa en la tabla 12.

Tabla No. 11
Criterio de severidad para la evaluación de efectos de falla

Nivel	Criterio
4	Efectos críticos en la seguridad o en el medio ambiente, pueden existir lesiones, muertes o efectos irreversibles en el medio ambiente.
3	Efectos importantes en la capacidad productiva, hay pérdidas económicas importantes por tiempo de paro y/o reparación
2	Efecto leve en la capacidad productiva, hay pérdidas económicas leves por tiempo de paralización o reparación
1	No hay efectos operativos ni pérdidas importantes

Elaborado por Autor

La tabla 12 presenta los criterios para evaluar la detectabilidad.

Tabla No. 12
Criterio de detectabilidad para la evaluación de efectos de falla

Nivel	Criterio
4	No hay probabilidad de detectar causas de fallas potenciales a tiempo, se puede llegar a falla funcional.
3	Baja probabilidad de detectar causas de falla potenciales y corregirlas a tiempo.
2	Mediana probabilidad de detectar causas de falla potenciales y corregirlas a tiempo
1	Causas de falla potencial fácilmente detectable y corregida durante la operación.

Elabora por Autor

La tabla 13 muestra el criterio definido para la evaluación de la ocurrencia de los fallos.

Tabla No. 13
Criterio de ocurrencia para la evaluación de efectos de falla

Nivel	Criterio
4	Pueden ocurrir varias fallas al año (tasa de fallas ≥ 1 fallas/año)
3	$0.3 < \text{Tasa de fallas} < 1$ (fallas/año)
2	$0.1 < \text{Tasa de fallas} \leq 0.3$ (fallas/año)
1	Tasa de fallas ≤ 0.1 (fallas/año)

Elaborado por autor

Por último, se calcula el valor del NPR del efecto de falla, el cual será el producto de los niveles asignados para cada criterio.

$$\text{NPR} = \text{Severidad (S)} \times \text{Detectabilidad (D)} \times \text{Ocurrencia (O)}$$

Se diseñó un criterio de semaforización para los efectos de falla con base en el valor del NPR en la producción de frascos PET, este criterio se observa en la tabla 14.

Tabla No. 14
Criterio de semaforización de acuerdo con el valor del NPR

Tipo de riesgo	Valor del NPR
Crítico (riesgo intolerable)	$NPR \geq 36$
Semi Crítico (riesgo moderado)	$7 < NPR < 36$
No crítico (riesgo bajo)	$NPR \leq 7$

Elaborado por autor

Cabe mencionar que el presente trabajo propondrá las respectivas mejoras solo a los equipos críticos y semi críticos, esta última clasificación se tomó en consideración dado que estos procesos y equipos, según los registros de la tabla 9 representan el 80% respecto a los tiempos totales de paralización de máquina en la línea de frascos PET.

El AMEF aplicado para la medición de los efectos potenciales en los procesos y maquinarias presentes en la línea de producción de frascos PET, comprende los principales procesos que generan desperdicio, estos son:

- Procesos de inyección de resina PET
- Deshumificación de resina PET
- Preformas que se colocan en moldes
- Proceso de soplado entre preforma y moldes

Tabla No. 15
AMEF realizado a la línea PET

LÍNEA DE PRODUCCIÓN DEL ÁREA DE FRASCOS PET

Tipo de AMEF				<input type="checkbox"/> Concepto <input type="checkbox"/> Diseño <input type="checkbox"/> Procesos			Equipo AMEF									
Proyecto / Cliente																
Fecha de inicio / Última actualización				12/09/2020	12/09/2021											
#	Parte del proceso	Modo de falla	Efecto potencial de la gravedad del modo de falla	Causas potenciales	Severidad	Detectabilidad	Ocurrencia	SC/CC	NPR	Tarea	Fre c.	Acción tomada	Severidad	Detectabilidad	Ocurrencia	NPR
1	Descarga de resina PET en la tolva de la inyectora	Materia prima contaminada	Deformación de preformas	Falta de cumplimiento en las especificaciones del manual de producción	4	2	4	CC	32	Capacitar al personal de producción en los procesos y lineamientos a seguir	300	N/A	4	2	4	32
		Escases de resina PET	Mala calidad de las preformas	Mala calibración de equipos de medición	4	2	4	CC	32		300		4	2	4	32

				Desconocimiento del operador respecto al proceso	4	2	4	00	32	respecto al manejo de materia prima, maquinaria y producto terminado	300		4	2	4	32
2	Deshumificación de resina PET	Dosificación insuficiente de materia prima	Tonalidad inadecuada	El calentador no genera suficiente temperatura para derretir la resina y combinar el masterbatch	4	3	3	00	36	Inspección y mantenimiento del sistema de secado del deshumificador de resina PET, especialmente en la cámara de frío y filtros y demás componentes	100	N/A	4	3	3	36
		Aire externo presente	Protuberancias en las preformas	El filtro secundario no funciona	4	3	3	00	36		150		4	3	3	36
		Presencia de humedad en Pellets o chips	Brumos en preformas (pellets no derretidos)	Cámara fría baja en relación a la temperatura ambiente.	4	3	3	00	36		150		4	3	3	36
3	Inyección fase de llenado y de mantenimiento	Bajo flujo de plástico líquido	El plástico líquido permanece en las cavidades, poniendo en riesgo la máquina.	Fisuras impiden el flujo continuo del plástico	3	3	3	00	27	Mantenimiento correctivo y preventivo en el tornillo y resistencias, limpieza de componentes mecánicos	300	N/A	3	3	3	27
		Tornillo con fallas mecánicas	Demasiado plástico con relleno insuficiente puede obstruir el sistema de drenaje.	Fisuras en los tornillos o en cavidades de la máquina	3	4	3	00	36		200		N/A	3	4	3

		Inadecuada transferencia de calor	Fundición de materia prima deficiente	Desgaste en las 4 retenciones	4	3	3	CC	36	y electrónicos	150	N/A	4	3	3	36
4	Retiro y colocación de preformas en moldes	Desubicación de las preformas	Preformas deformes	Desconocimiento del operador respecto al proceso	3	3	4	CC	36	Calibración de moldes y capacitar al personal de producción en los procesos y lineamientos a seguir respecto al manejo producto terminado	300	N/A	3	3	4	36
		Descalibración de los moldes	Soplado ineficiente desechando el producto	Incumplimiento del manual de producción	4	3	4	CC	48	300	N/A	4	3	4	48	
5	Proceso de soplado entre preforma y moldes	Baja presión de aire comprimido	Fascos con fisuras	Problemas en la bomba de presión	4	3	3	CC	36	Inspección y mantenimiento al sistema de soplado y todos los componentes que lo conforma	250	N/A	4	3	3	36
		Fuga de aire	Fascos con desproporciones	Boquillas desgastadas	4	2	4	CC	32	600	N/A	4	2	4	32	
		Fallas en el sistema de cierre	Moldes desgastados	Tapa descalibrada	3	2	3	CC	18	200	N/A	3	2	3	18	

3.3.3.1. Diagnostico final AMEF

En cuanto a los resultados divulgados por AMEF, en los procesos de fabricación de botellas PET, el proceso de inyección se considera crítico debido a las condiciones del inyector, lo que puede conllevar efectos potenciales como: B. Alto grado de severidad, porque en el peor de los casos, la producción debe pararse porque la materia prima no se funde adecuadamente debido a las 4 etapas de fundición, que consisten en resistencias que tienen la función de generar calor a alta temperatura. Como resultado, se reformulan para que sean los canales de paso del plástico PET. En estado líquido bloqueado, como parte de las medidas a tomar, los canales de inyección deben ser liberados y el material que crea el bloqueo debe ser removido y solidificado. De acuerdo con la AMEF de la Tabla 15, la parálisis y no fusión de la producción de PET representa un NPR de 36 puntos al considerar el tratamiento.

La conservación de las preformas y su soplado en su forma final continúa en la categorización de los procesos más críticos en la fabricación de botellas PET. Esto se debe principalmente a los componentes desarrollados, como los moldes para las preformas y las propias preformas, ya que los moldes tienen una vida satisfactoria y muchos de ellos tienen fugas o no requieren mantenimiento, lo que busca un buen desempeño. A la hora de colocar las preformas para el soplado. proceso., así declarada la forma final de los envases. Los resultados más críticos de este proceso son deformaciones e imperfecciones constantes en los vidrios, producto inferior de hojaldre y moho. Debido al efecto de cadena, las rebabas contenidas en el tornillo de inyección mejoraron los agrupamientos en las preformas. Si no se detectan en el momento del soplado, las máquinas se pararán por completo, dañando la línea de producción de la empresa.

El proceso de deshumidificación de las resinas PET es uno de los sistemas más complejos de acción correctiva y preventiva. Debido a su complicado chequeo de errores, es un sistema de revisión ya que estos constantes errores reaccionan a varios procesos que continúan como inyección. A la hora de soplar, el principal problema son los filtros de aire caliente. Desgastada por el flujo constante de aire caliente que se combina con la temperatura ambiente, esta nueva temperatura llega a la cámara fría, dando como resultado aproximadamente un 35% de la resina de PET que aún no está completamente seca.

Finalmente, la manipulación de la materia prima se tiene en cuenta en la AMEF porque está vinculada al proceso general de producción de envases de PET. Una cantidad incorrecta de resina de PET puede reventar durante la formación de la botella, lo que puede provocar deformaciones y decoloración, aunque en cuanto a los posibles efectos a considerar, la manipulación de la materia prima se consideró un semiproceso. -Crítico según la AMEF, esto está justificado por la detectabilidad dada en este caso, es muy fácil verificar las causas que lo generan.

3.3.4. Prueba de hipótesis

Las acciones recomendadas en el AMEF deben ser ejecutadas para lograr reducir la cantidad de horas de paralización de máquina en los procesos críticos identificados. Debido a que la empresa solo dispone de una línea de producción para las 5 familias de productos, se adoptaron las acciones planteadas por el AMEF en un periodo de 26 días laborables, se debe aclarar que la empresa no dispone de doble jornada, debido a esto, los datos presentados corresponden a las 8 horas laborables.

3.3.4.1. Prueba de hipótesis en procesos críticos

Con el fin de mitigar los efectos negativos en los procesos de inyección de material, la deshumidificación de la resina PET, las preformas introducidas en los moldes, el proceso de soplado entre las preformas y los moldes, resultado de la AMEF muestra que la formación para un mejor manejo y disposición de materia prima, para uso en sistemas de secado, moldeo por inyección y soplado de resina PET. Para el sistema antiguo, es necesario cambiar los filtros primario y secundario para reducir errores en la cámara fría.

Para el sistema de inyección, fue necesario cambiar las juntas de la máquina y realizar medidas de limpieza en la rosca de la máquina con el fin de reducir las fluctuaciones de temperatura en las juntas y al mismo tiempo mejorar la fusión Resina PET. con limpieza. Se ha liberado todo el material del tornillo, impidiendo que la masa plástica drene correctamente.

Al final, el sistema de soplado fue el que más aprovechó los cambios, como los filtros por los que se filtraba el aire a soplar, lo que provocaba una distribución desigual del aire y afectaba las dimensiones del flujo de aire. Botella de PET para ambas series. Se tuvo que cambiar los filtros, además de esta medida correctiva y preventiva, se realizó el mantenimiento de los moldes, algunos ya alcanzaron su vida útil y tuvieron que ser reemplazados, el sistema de distribución de aire comprimido ha sido sometido a un necesario control de mantenimiento, el cual ordenó la sustitución del sistema de tuberías por desgaste, limpieza y lubricación de componentes internos.

3.4. Desarrollo fase de MEJORA

De acuerdo con la prueba de hipótesis realizada en la fase previa de Analizar, se comprueba que, en el caso de ejecutar las acciones planteadas por el AMEF, se puede mejorar el rendimiento de los procesos identificados como críticos, ya que retomando la correlación existente entre la baja eficiencia y el tiempo de paro de máquina indica que, si aumentamos la eficiencia con las mejoras definidas, el índice de tiempo de paro de máquina generado también se reducirá.

Para aquello se debe tener en consideración el indicador AMEF en cada proceso crítico.

3.4.1. Plan de mejora

El plan de mejoras para reducir hasta en un 5% anual los tiempos de paro de máquina, consiste en tres pilares fundamentales en la producción de frascos PET, para esto se aplicaran capacitaciones al personal encargado en la línea de producción PET, luego se revisará el

instructivo de producción de la línea, a fin de identificar ausencias en él y actualizarlo, se deberán tomar medidas preventivas en el control de materia prima, dado que es uno de los principales factores o causas que dan camino al paro de máquina. Por último, es importante el cuidado de las maquinarias y equipos, por esta razón, es necesario diseñar un programa de mantenimiento preventivo en la inyectora, moldes y sistema de soplado de la línea PET.

3.4.2. Plan de capacitación al personal

Las acciones recomendadas por AMEF muestran que la formación es una actividad fundamental en cualquier proceso productivo, por lo que los 45 operarios y asistentes que trabajan en la línea PET deben conocer cada uno de los procedimientos a seguir para ser correctos y eficientes en la producción de botellas de PET.

En este sentido, antes de la capacitación, se evaluó el conocimiento básico del proceso y subprocesos, los resultados obtenidos se relacionan con el AMEF y las causas de la indisponibilidad de las máquinas, lo cual se debe a que la valoración del personal es significativa falta de conocimiento sobre los tipos de productos ofrecidos, los procesos involucrados, sus riesgos y peligros.

El plan de entrenamiento tiene un comportamiento continuo, es decir, cuando se capacita al operador, se evalúa continuamente, por eso tabla 16.

Tabla No. 16
Project chart para el programa de capacitación

Nombre del proyecto	Programa de capacitación para los operadores de la línea de producción de frascos PET
Preparado por	Gerente de producción y personal certificado para realizar las capacitaciones
Revisado y aprobado por	Gerencia
Fecha de la última revisión	1 de Octubre de 2020
Alcance	Aplica a los 45 operadores y auxiliares de envases PET, las capacitaciones tendrán un periodo de un mes, de lunes a viernes hasta el último día del mes, por una hora diaria.
Desarrollo	Se ha desarrollado módulos por cada puesto de trabajo, luego de finalizar las capacitaciones se evaluará y reconocerá a los mejores resultados. Estas capacitaciones se realizarán de manera anual.
Inicio de capacitaciones	1 de diciembre de 2020
Justificación	
Durante los últimos 5 años la cantidad de horas de paro de máquina generada en la línea PET ha presentado un comportamiento creciente, marcando esta tendencia hasta el 2019 donde los niveles de paro de máquina alcanzan un 45%, perjudicando de esta manera la línea de producción.	
Objetivo	
Tener el 100% de operarios capacitados	
Disminuir los tiempos de paro de máquina por manejo de materia prima, máquina y producto terminado	

Ahorro / beneficio específico
Aumentar el rendimiento de las máquinas y equipos de la línea de producción PET

Elaborado por autor

El diseño gráfico de la formación, estos cursos de formación se desarrollan en tres módulos, cada uno con un objetivo para cada función. Cada módulo se imparte de forma secuencial con las evaluaciones respectivas.

El primer módulo tiene como objetivo sensibilizar, comprender la empresa e identificarse con ella para realizar un trabajo recíproco y sensible para alcanzar los objetivos marcados.

El segundo módulo tiene como objetivo conocer y comprender las partes esenciales de las máquinas y dispositivos de la línea PET, así como estandarizar los métodos de trabajo dando a conocer las especificaciones de la máquina, los parámetros de la materia prima y las condiciones de trabajo.

El tercer y último módulo se centra en identificar los principales riesgos y problemas en la producción de envases de PET, por ejemplo. B. Eliminación de materiales y mantenimiento deficiente que resulta en un tiempo de inactividad excesivo.

Tabla No. 17
Descripción de módulos

ESTRUCTURA DEL PROGRAMA DE CAPACITACIÓN
Módulo I
Misión, visión y políticas integradas
Valores de la empresa
Organigrama de operaciones de la empresa
Flujo de procesos de la línea PET
Módulo II
Sistema y partes de las máquinas
Reconocimiento de materia prima, insumos y consumibles
Condiciones de operación de máquina
Métodos de trabajo: procedimientos, instructivos, formatos, etc.
Módulo III
Posibles fallas y soluciones
Indicadores de producción
Paro de máquina y afectación en la línea de producción
Puntos de origen de tiempos de paro de máquina en la línea PET

Elaborado por autor

En la tabla 18, se muestran las horas totales de la capacitación, cabe mencionar que estas capacitaciones no afectan la jornada laboral de los operarios, y será impartida en grupos de 4 a 6 personas.

Tabla No. 18
Cantidad de horas destinadas en las capacitaciones

Puesto de trabajo	I	II	III	Total (min)
Materia prima: manejo y cuidados	30	60	60	150
Control y medición de materia prima	30	60	60	150
Inyectora	60	60	60	180
Deshumificación	40	50	50	140
Preformas y moldes	40	40	60	140
Proceso de soplado	40	60	60	160

Elaborado por autor

3.4.3. Plan de mantenimiento para el sistema inyector de soplado

Para el plan de mantenimiento presentado, se debe tener en cuenta los parámetros para indicar el tipo de actividad a realizar, esto se presenta en la tabla 19.

La tabla 20 presenta el plan de mantenimiento que se deberá aplicar a la línea PET, específicamente a los procesos críticos que se identificaron a lo largo de este trabajo, muchas de estas actividades se clasifican en mantenimiento correctivo y preventivo, siendo ese último el de mayor importancia, debido a que mejoran la operatividad de las máquinas.

Tabla No. 19
Especificaciones para la clase de trabajo

	Nivel de revisión	Límite	Actividad realizada	Equipo especial		Acción tomada
				Si	No	
Revisión de rutina	Básico tipo 1	Proceso no invasivo	Limpieza de rutina	X		Se realiza el cambio si dentro de las 5 especificaciones presentadas, existen más de 4 averías o fallas.
			Inspecciones diarias de aprox. 10 min.	X		
			Revisión de aceites y líquidos consumibles aprox. 15 min	X	X	
			Engrase de rutinas aprox. 10 min	X	X	
			Detección de anomalías	X		
Revisión básica	Básico tipo 2	Proceso no invasivo	Inspección de tensión en equipos		X	Se realiza el reemplazo en caso de que las 3 especificaciones presenten fallos considerables
			Relleno de líquidos		X	
			Limpieza de filtros	X		
Revisión intermedia	Intermedio	Proceso semi invasivo	Cambio de aceite y filtros	X		Se realiza el reemplazo en caso de que las 4 especificaciones se encuentra un mal desempeño
			Calibraciones rutinarias	X		
			Verificar parámetros de servicio		X	
			Reemplazo de partes	X		
Revisión experta	Específico	Invasivo	Despiece parcial	X		Se realiza el cambio solo en caso de existir 3 inconformidades
			Calibración específica	X		
			Revisar las tolerancias de las piezas	X		
			Soldadura e inspección	X		
			Ajustes específicos	X		
Revisión avanzada	Avanzada	Invasivo	Despiece total	X		Se procede con el reemplazo si al menos se encuentra una inconformidad.
			Pruebas avanzadas	X		
			Calibraciones avanzadas	X		

Elaborado por autor

Tabla No. 20
Plan de mantenimiento en la línea PET

PLAN DE MANTENIMIENTO				
Área:	Frascos PET	Línea: PET		
Máquina	Componente	Clase	Tipo	Frec.
Sistema de secado o deshumificación de resina PET	Mantenimiento al blower	Revisión básica	Mecánico	1000
	Limpieza de filtros	Revisión básica	Mecánico	200
	Inspección en la cámara de enfriamiento	Revisión avanzada	Mecánico	200
	Control de temperatura en el calentador	Revisión experta	Mecánico	1000
	Limpieza de tolva	Revisión de rutina	Mecánico	200
	Cambio de filtros	Revisión intermedia	Mecánico	250
	Inspección en el filtro primario y secundario	Revisión intermedia	Mecánico	250
	Mantenimiento a las resistencias	Revisión intermedia	Electrónico	1000
	Inspeccionar sensor	Revisión experta	Electrónico	200
	Verificar si las líneas de potencia se encuentran ajustadas	Revisión básica	Electrónico	250
	Limpieza de tablero de mando	Revisión de rutina	Electrónico	250
	Revisión de componentes eléctricos	Revisión experta	Electrónico	250
	Sistema de inyección de resina PET	Mantenimiento a las resistencias	Revisión intermedia	Mecánico
Medir la eficiencia de las resistencias		Revisión experta	Mecánico	2000
Inspeccionar que la termo cúpula no esté en malas condiciones o abierta		Revisión básica	Mecánico	400

	Verificar si las líneas de potencia se encuentran ajustadas	Revisión básica	Electrónico	300
	Limpieza de tablero de mando	Revisión de rutina	Electrónico	
	Revisión de componentes eléctricos	Revisión experta	Electrónico	50
	Verificar variación en temperatura en el cilindro	Revisión experta	Mecánico	400
	Revisión de los moldes de las preformas	Revisión intermedia	Mecánico	200
	Verificar estado de tapa a presión e identificar fugas	Revisión intermedia	Mecánico	400
	Revisar sistema hidráulico que permite el sellado al momento de ingresar el molde	Revisión experta	Mecánico	300
	Volumen de aceite hidráulico	Revisión básica	Mecánico	1000
	Revisión de tornillos flojos	Revisión de rutina	Mecánico	250
	Retirar resina pegada	Revisión de rutina	Mecánico	500
Sistema de soplado de pre formas	Verificar presencia de goteo	Revisión básica	Mecánico	200
	Verificar fugas de aire	Revisión básica	Mecánico	200
	Analizar el desempeño de los secadores de alta y baja presión	Revisión avanzada	Mecánico	1000
	Revisar el estado de los filtros de aire	Revisión intermedia	Mecánico	200
	Revisar el funcionamiento de los filtros de aire	Revisión experta	Mecánico	250
	Verificar presión de salida de aire	Revisión experta	Mecánico	250
	Verificar estado de las boquillas	Revisión intermedia	Mecánico	1000
	Mantenimiento a los moldes	Revisión básica	Mecánico	200
	Verificar estado de los moldes	Revisión básica	Mecánico	250

3.4.4. Actualización de los instructivos de procedimientos de trabajo

A continuación, se presenta un nuevo instructivo de procedimientos para la línea PET, como parte de las mejoras propuestas, a fin de que el operario tenga un mayor conocimiento referente a las prácticas que realiza en su puesto de trabajo, y los riesgos que conllevan visualizado en anexos.

3.5. Desarrollo fase de CONTROL

De acuerdo con las mejoras propuestas en el plan piloto para reducir el tiempo de inactividad a al menos un 5% anual, se deben considerar controles apropiados de este proceso de mejora para lograr los resultados deseados a largo plazo.

En la Tabla 21 se muestra el diagrama básico de cómo se realizan las actividades de control para mantener esta reducción anual de aproximadamente $\pm 5\%$ en el tiempo de inactividad generado en la línea de PET.

Tabla No. 21
Plan de seguimiento

¿Qué voy a controlar?	Actividades	¿Cómo?	¿Cuándo?	¿Quién?
Muestreo de materia prima	Cantidad de horas de paralización de máquina generado de acuerdo con el muestreo de tiempo de producción	Revisión de los registros de producción en el sistema, comparación de tiempos de abastecimiento de resina PET usados contra la cantidad de hora de paralización de máquina generada por el lote muestreado	El lote más representativo que se produce a diario y por cada familia de producto	Personal de la empresa con experiencia en auditoria de procesos
Desempeño de las máquinas	Analizar y evaluar el rendimiento de las máquinas en la producción de frascos PET	Revisar los registros de producción y comparar la cantidad de horas producidas contra la cantidad de horas de paralización de máquina generado	Quincenalmente de acuerdo con la cantidad de lotes terminados	Personal de la empresa con experiencia en auditoria de procesos

Operarios	Evaluar el cumplimiento del personal de producción de acuerdo con lo que exige el manual de procedimiento en la producción de frascos PET	Revisión de la lista de chequeos para cada uno de los 45 operarios y auxiliares del área de producción	Cada fin de mes	Auditoría de Procesos
Mantenimiento de estándares de detección de defectos entre Producción y Calidad	Realizar auditoría de procesos, para evidenciar mantenimiento o actualizaciones de estándares de detección de tiempos de paralización de máquina	Revisión de los parámetros establecidos por la empresa de la mano del área de calidad frente a los tiempos de paralización de maquinaria registrado por el área de producción de la mano de la línea PET	Trimestral	Personal de producción, de calidad y equipo conformado para la auditoría de procesos

Elaborado por autor

3.5.1. Entregables de la fase de control

Las entregas para el control de la mejora se basan en documentos y registros proporcionados por el equipo de auditoría y el equipo de producción y calidad. Para analizarlos en base a las cartas de control, las entregas reciben checklist para la administración de la empresa, tanto para el control de materias primas, para la evaluación del equipo como para el rendimiento de las máquinas, mismos que se presentan en los anexos 2, 3 y 4 respectivamente. El objetivo de los entregables es mantener y afinar las mejoras propuestas en el marco del proyecto Six Sigma para completarlas formalmente.

CAPITULO IV RESULTADOS

Con la finalidad de mitigar los efectos o consecuencias negativas, los resultados arrojados por el AMEF indicaron que durante los procesos de inyección de material, el secado de la resina PET, la colocación de los moldes y el soplado de las preformas en sus respectivos moldes; se determinó que para mejorar la gestión de los recursos, en este caso la materia prima, fue necesario el cambio de filtros en los sistemas de inyección, de soplado y el de secado, lo que mitigó aquellos errores reiterativos en la cámara de frío, mejorando el rendimiento de máquina inyectora.

Para el sistema de inyección fue necesario cambiar los retenedores de la máquina y realizar acciones de limpieza en el tornillo de la máquina, lo que permitió reducir las variaciones de temperatura en los retenedores, y al mismo tiempo mejorar la fundición de la resina PET; con la limpieza del tornillo, se liberó todo el material que impedía el correcto flujo de la masa plástica hacia las siguientes fases del proceso de producción de botellas PET.

El sistema de soplado fue sometido a más cambios, ya que, se necesitó el cambio de todos los filtros cuya función principal es permitir el flujo de aire, lo que al disponer de filtros gastados la distribución de aire era desigual, lo que generaba que el producto final luego del proceso de soplado fuera una botella PET con dimensiones erróneas, por lo que se comprometía los lotes producidos. Otra medida realizada, fue la aplicación de acciones correctivas y preventivas durante el mantenimiento a los moldes, debido a que muchos de estos ya cumplieron con su vida útil y tuvieron que ser reemplazados. Por último, el sistema de distribución de aire comprimido ha sido sometido a un necesario control de mantenimiento, el cual sustituyó el sistema de tuberías con desgaste, además de que se ejecutaron tareas de limpieza y lubricación de todos los componentes internos del sistema en mención, a fin de mejorar su rendimiento y disminuir las paradas en la producción.

Tabla No. 22

Comparación del tiempo de paro de máquina generado luego del plan piloto

Antes de la mejora	Después de la mejora
horas paro de máquina diario	horas paro de máquina diario
2	1
1	0,5
2	1
2	1,5
2	1
1	0,5
2	1
2	1
1	0,5
2	0
1	0,5

	2	1,45
	1	0,5
	2	1
	1	0,5
	1	0,5
	2	1
	3	1
	1	0,5
	3	2
	2	1
	1,5	1
	1	1
	2	1
Promedio	1,69	1,59
Varianza	0,39	0,18

De la tabla 22, se evidencia que los promedios de los datos obtenidos de la línea de producción PET en cuanto a al tiempo de paro de máquina, durante el período de prueba donde se incluye la implementación de las acciones de mejora recomendadas por el AMEF, en promedio se encuentran por debajo del valor objetivo y su variabilidad es menor a la varianza sin las mejoras implementadas, por consiguiente, la capacidad del proceso pudo haber mejorado y dando como resultado que la producción no se paralice.

De acuerdo con la naturaleza de este tipo de trabajo, mediante un estudio estadístico se realiza una prueba de hipótesis, cuyo nivel de significancia es de 0.05, esto será posible aplicando la distribución F de Fisher con el objetivo de comprobar su varianza. Para aquello, se plantea la hipótesis a la cantidad horas de paro de maquina generado, quedando de la siguiente manera:

$$H_0 = \sigma_1^2 \leq \sigma_2^2$$

$$H_1 = \sigma_1^2 > \sigma_2^2$$

Donde

La varianza de los datos muestrales respecto al tiempo de paro de máquina antes de la implementación de las mejoras es representado como σ_1^2

La varianza de los datos muestrales respecto al tiempo de paro de máquina después de la implementación de las mejoras es representado como σ_2^2

Para la prueba de varianza aplicando la distribución F, puesto que la muestra es de un período de 30 días, dicho esto los grados de libertad tanto inferior como superior corresponderán a 29, siguiente a esto, se calcula el valor crítico F, para dichos cálculos se requiere de la tabla de valores críticos de distribución F (0,05), cuyo resultado es 1.86.

Por último, se calcula el valor estadístico de la prueba realizada:

$$F = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2}$$

$$F = \frac{0.39}{0.18} = 2.16$$

Como resultado se obtiene que, $\sigma_1^2 > \sigma_2^2$, por ende, se rechaza la hipótesis nula porque el valor calculado F (2.16) es superior al valor crítico (1.96). De esta manera se puede comprobar estadísticamente que el plan de mejora propuesto es viable

Para un caso ideal, si esta tendencia se mantiene bajo los esquemas de producción de la empresa con 8 horas laborales por día en 24 días, dando un total de 3615 horas de paro de horas de máquina lo que representa una reducción aproximada del 5%, cumpliendo de esta manera el objetivo principal de este trabajo.

CONCLUSIONES

En la fase DEFINICIÓN del modelo DMAIC del método Six Sigma, se encontró que el tiempo de inactividad del motor generado tiene una correlación directa de $R = 0,9686$, lo que indicaba que el 96,86% del tiempo de parada de la máquina está asociado con maquinaria ineficiente. Por tanto, la producción de botellas de PET reducirá el tiempo de inactividad de la máquina al aumentar la eficiencia del proceso.

En la fase de MEDICIÓN se llegó a la conclusión de que el 80% del tiempo de parada de máquina generado se debe a la intervención entre la materia prima, el personal de producción y las máquinas utilizadas. A través del análisis de Pareto, se encontró que más del 74% del tiempo de inactividad de la máquina es el proceso de inyección de material, deshumidificadores de resina PET y moldeo y soplado de preformas en el producto.

Continuando con la fase de MEDICIÓN, se identificó que los principales puntos de orígenes de paralizaciones de máquinas se relacionaban con problemas mecánicos, como el inyector, que presentaba atasco en sus cavidades por exceso de resina PET que no era debidamente transferida por el deshumidificador, lo que no permitía filtrar correctamente aire hacia la cámara de enfriamiento, finalmente los filtros de los ventiladores presentaban fugas que incluso impedían el soplado y provocaban la deformación de los pistones comprometiendo el producto final.

En la fase de ANÁLISIS se utilizó la prueba de hipótesis para el plan piloto. Se determinó que luego de implementar las mejoras señaladas por el AMEF en los procesos críticos, el tiempo requerido paralización de máquinas se redujo en un 5% lo que sirvió como parámetro para la generación de una nueva propuesta de mejora.

En la fase de MEJORA, la mejora de los procesos críticos redujo el tiempo de inactividad de la máquina en menos de un 5%, esto se debió principalmente a que se abordaron los principales puntos de origen de paralizaciones en las maquinarias de planta productora y recicladora de botellas PET.

En la fase de CONTROL se determinaron las actividades a realizar para que las mejoras realizadas a lo largo del proyecto alcancen los objetivos marcados, lo cual a largo plazo deberá disminuir en $\pm 5\%$ por año.

RECOMENDACIONES

- La línea de producción PET, así como todo proceso de producción, no deben tener interrupciones que puedan afectar el producto final, es necesario mantener evaluaciones periódicas de los procesos en la cual puedan generarse tiempos de paro de máquinas.
- Mantener capacitados a los operadores de planta, al igual que personal administrativo es necesario, lo cual se recomienda mantener capacitaciones periódicas a todo el personal demostrando a todos los trabajadores de esta manera las diferentes afectaciones que se pueden generar por interrupciones presentados en el proceso de fabricación de botellas PET y las consecuencias que se pueden crear a raíz de tiempos de paro de máquina.
- Al lograr disminuir un 5%, presento mejoras en la línea de producción de botellas PET, es por esta razón que se recomienda seguir y a su vez actualizar anualmente los nuevos métodos de análisis impuestos para de esta manera reducir aún más los tiempos de paralización de maquinaria innecesarios que afectan a la producción de la empresa.
- Es necesario mantener las maquinarias en buen estado, es por esta razón que se recomienda seguir programas de mantenimiento periódicos los cuales puedan ayudar en las funciones ininterrumpidas de producción, ya que si no se mantiene las máquinas en buen estado pueden producir aún más inconvenientes en las líneas PET.
- Se sugiere además, tomar en cuenta las especificaciones técnicas de las maquinarias, en especial la capacidad de ejecución de estos, esto como dato importante ya que la materia prima ya sea en cantidades, consistencia y calidad, puedan afectar las funciones de la maquinaria generando tiempos de paralización perjudicando la producción en la línea PET.

BIBLIOGRAFÍA

- Albert, E., Soler, V., & Molina, A. (2017). *Metodología e implementación de Six Sigma*.
- Ansar, A., Shaju, S., Sarkar, S., Hashem, M., Hasan, S., & Islam, U. (2018). Application of six sigma using define measure analyze improve control (DMAIC) methodology in garment sector. . *Independent Journal of Management & Production*, 9(3), 810-826.
- Antony, J., Vinodh, S., & Gijo, E. (2017). *Lean Six Sigma for small and medium sized enterprises: A practical guide*. CRC Press.
- Aranda, M., & González, G. (2018). Calidad del servicio en el proceso alimentos y bebidas de un hotel en Ecuador. *ECA Sinergia*, 9(2), 80-90.
- Arrizabalagauriarte Consulting. (2021). *Arrizabalagauriarte Consulting*. Obtenido de <https://arrizabalagauriarte.com/dmaic-las-5-fases-del-proceso-implementacion-six-sigma/>
- Barrientos, G. (2017). *Mejora de la gestión de mantenimiento de maquinaria pesada con la metodología AMEF*.
- Bendezu, A. (2017). *Aplicación del Mantenimiento Preventivo Para Mejorar La Productividad en el Proceso de Extrusión del Área de Producción de Industrias Plásticas Marplast SAC, Lima-2017*. Lima.
- Cabrera, I., & Israel, H. (2018). *Análisis de Criticidad y AMEF para Gestión de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad*.
- Callister, W. (2019). *Ciencia e ingeniería de los materiales*. Reverté.
- Ccapa, M. A., & Mechato Yovera, I. I. (2019). *Propuesta de mejora para la implementación de un sistema de gestión de mantenimiento en una empresa maderera*.
- Costa, T., Silva, F., & Ferreira, L. (2017). Improve the extrusion process in tire production using Six Sigma methodology. *Procedia Manufacturing*, 13, 1104-1111.
- Darwin, A., & Chipantiza, D. (2017). *Gestión de la producción para reducir desperdicios de tiempo del proceso de aparado utilizando la metodología de cambio rápido de herramientas (SMED) en Industrias de Manufactura de Calzado de Cuero*.
- Gómez, C. (2019). *Mantenimiento Productivo Total. Una visión global*.
- Gutiérrez, A. (2020). *Google Sites*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/emmavalbagutierrez/unidad-4--gestion-de-la-informacion-para-la-investigacion-documental/las-7-herramientas-de-la-calidad-total>
- Harry, M. (1994). *The vision of six sigma*: T. Sigma Pub. Co. Tools and methods for breakthrough.
- Hilasaca, M. S. (2018). *Influencia del diagrama ISHIKAWA (causa-efecto) en la mejora de la productividad en el área de pre-fabricados en la empresa SUPERMIX SA*.
- Juarez, A. (2019). *Aplicación del AMEF para incrementar la disponibilidad de los equipos críticos de la Empresa SMR L minera JUPITHER*.
- Medina, F., Díaz, A., & Cardenas, C. (2017). Sistema de gestión ISO 9001-2015: técnicas y herramientas de ingeniería de calidad para su implementación. *Ingeniería Investigación y Desarrollo: I2+ D*, 17(1) , 59-69.
- Medina, J. G. (2017). *Aplicación de la metodología del Seis Sigma en la mejora de la calidad del servicio de mantenimiento industrial en la empresa J Ingenieros SAC, San Isidro, 2017*.

- Moreno, J. (2018). *El primer libro: Guía para implementar un Sistema de Gestión de Calidad*. Gandhi Publica.
- Natarajan, D. (2017). *ISO 9001 Quality management systems*. Springer International Publishing.
- Navarro, E., Gisbert, V., & Pérez, A. (2017). Metodología e implementación de Six Sigma. *3C Empresa: investigación y pensamiento crítico*.
- Ocoró, M., Guzmán, L., Gómez, J., & Montoya, C. (2018). Estudio dinámico del reciclaje de envases pet en el Valle del Cauca. *Revista Lasallista de investigación*, 15(1), 67-74.
- Orona, I. (2019). Instituto de Ingeniería y Tecnología. *Mejora Del Ciclo De Prensado Para Balatas De Mezcla De Cerámica Usando Un Enfoque De La Metodología DMAIC*.
- Ortiz, C., Troncoso, A., Acosta, D., Begambre, R., & Troncoso, B. (2019). Utilización de Herramientas de Calidad para la Mejora en los Procesos de Extrusión de Plásticos. *Boletín de Innovación, Logística Y Operaciones*, 1(1), 1-7.
- Patel, N., & Shah, S. (2015). Una revisión sobre la implementación de Six Sigma en las industrias manufactureras.
- Pérez, L., Pérez, J., García, L., & Gómez, P. (2020). Aplicación de metodología DMAIC en la resolución de problemas de calidad. *Mundo FESC*, 10(19), 55-66.
- Ramirez, E., Builes, D., & Franco, A. (2019). Reciclado Botellas de PET en Resinas de Poliéster Insaturado. *Materiales Compuestos*, 3(4), 1-6.
- Reyna, C. A. (2016). *Reutilización de plástico PET, papel y bagazo de caña de azúcar, como materia prima en la elaboración de concreto ecológico para la construcción de viviendas de bajo costo*.
- Ribeiro, P., Sá, J., Ferreira, L., Silva, F., Pereira, M., & Santos, G. (2019). The Impact of the Application of Lean Tools for Improvement of Process in a Plastic Company: a case study. *Procedia Manufacturing*, 38, 765-775.
- Rodríguez, E. (2016). Aplicación de la metodología DMAIC de Seis Sigma con simulación discreta y técnicas multicriterio. *OPENAIRE*.
- Salinas, N., Calleros, E., & Villalpando, A. (2020). Six sigma: visión innovadora en soluciones industriales. *Red Internacional de Investigadores en Competitividad*, 12, 710-724.
- Shaker, F., Shahin, A., & Jahanyan, S. (2019). Developing a two-phase QFD for improving FMEA: an integrative approach. *International Journal of Quality & Reliability Management*.
- Solís, W. (2018). *Evaluación de la cinética de despolimerización por hidrólisis básica del tereftalato e polietileno (PET) con hidróxido de potasio, para diferentes condiciones de temperatura y tamaño de partícula, a nivel laboratorio*.
- Suzuki, T. (2017). *TPM en industrias de proceso*. Routledge.
- Valencia, A. (2016). *Incremento de la eficiencia mediante la sincronización de la línea de envasado de la Planta Cervecería Backus de Cusco con el método DMAIC*.
- Vidal, B. P., Soler, V. G., & Molina, A. I. (2018). Metodología Six Sigma. Comparación entre ciclo PDCA y DMAIC. *Cuadernos de investigación aplicada*, 27-34.
- Yépez, G. (2019). ESTUDIO DE CASO PARA DETERMINAR LA INCIDENCIA DEL SCRAP EN LA PRODUCTIVIDAD DEL ÁREA DE PELETIZADO DE PLÁSTICOS INDUSTRIALES C.A.

ANEXOS

Anexo No. 1

Manual de proceso para la línea de producción PET

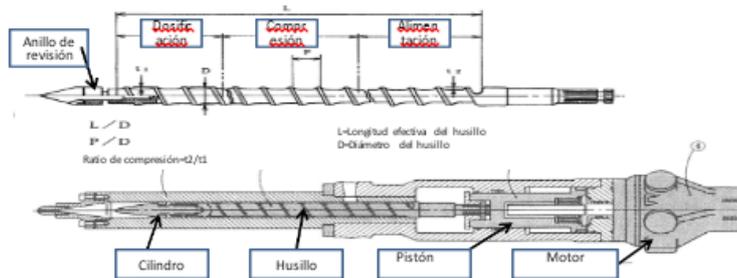
LINEA PET	EMPRESA XYZ INSTRUCTIVO DE PROCEDIMIENTOS
<div data-bbox="341 557 1106 882" style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center;"> <p>Proceso de moldeo de plástico por inyección</p> <p>Principios del proceso de moldeo por inyección</p> </div> <div data-bbox="323 920 1106 1440" style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <p>Proceso de plastificación: ¿Por qué se puede enviar la resina?</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. La relación del husillo y la resina es la del tornillo y la tuerca. 2. Al girar el tornillo, se mueve la tuerca. 3. Por lo anterior, al girar el husillo, se manda adelante a la resina. <div data-bbox="355 1032 1070 1400" style="text-align: center;"> </div> </div>	
Elaborado por:	Aprobado por: Gerente General - Propietario

LINEA PET

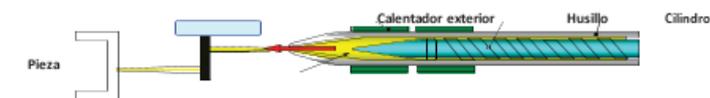
EMPRESA XYZ
INSTRUCTIVO DE
PROCEDIMIENTOS

Proceso de plastificación: ¿Por qué se funde la resina?

1. En el método del husillo en línea se otorgan las funciones intensivas de plastificación, dosificación e inyección al husillo.
2. Un husillo está formado de 3 secciones de alimentación, compresión y dosificación, observadas del lado de la tolva, y en la punta está integrado el anillo de revisión para evitar la contracorriente del material.
3. Gracias a la función del anillo de revisión, se evita la contracorriente de la resina y la resina fundida que está en la punta será inyectada al molde.



Proceso de inyección: Se inyecta la resina por husillo



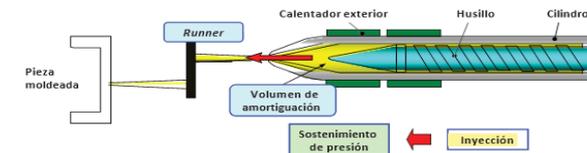
Proceso de

La resina pasa por el *Runner*, el *Gate* delgado y finalmente llega a la cavidad para llenar el molde. Se lleva a cabo el llenado de resina por el husillo, empujando la resina que hay dentro del cilindro. En el proceso de inyección se hace el control de la velocidad de la resina fluida, pero es necesario tomar en consideración la expulsión del aire residual en el molde.

Elaborado por:

Aprobado por:
 Gerente General - Propietario

LINEA PET

EMPRESA XYZ
INSTRUCTIVO DE
PROCEDIMIENTOS
Proceso de inyección: Se inyecta la resina por husillo


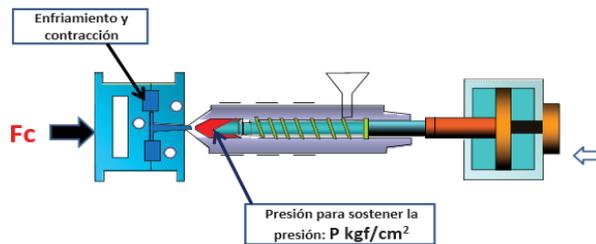
Proceso de inyección:

La resina pasa por el *Runner*, el *Gate* delgado y finalmente llega a la cavidad para llenar el molde. Se lleva a cabo el llenado de resina por el husillo, empujando la resina que hay dentro del cilindro. En el proceso de inyección se hace el control de la velocidad de la resina fluida, pero es necesario tomar en consideración la expulsión del aire residual en el molde.

Proceso de sostenimiento de presión -1

¿Por qué se sostiene la presión?

1. La resina inyectada y sostenida por presión, a medida que se enfría y solidifica en el molde, sufre contracción en volumen.
2. Para completar esa parte, se sostiene la presión ($P \text{ kgf/cm}^2$).



Elaborado por:

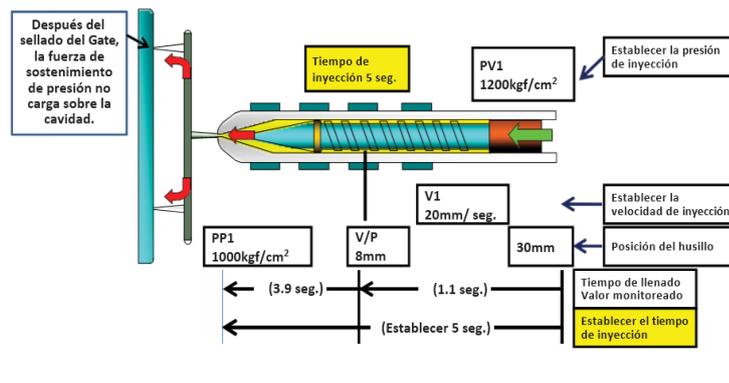
Aprobado por:
Gerente General - Propietario

LINEA PET

EMPRESA XYZ
INSTRUCTIVO DE
PROCEDIMIENTOS

Proceso de inyección: Establecimiento del tiempo de inyección

1. Se establece el tiempo de inyección tomando en consideración el tiempo de sellado del *Gate* para completar el volumen contraído.
2. En la máquina de inyección en que se establece el tiempo de inyección, se considera
3. 9seg el tiempo de sostenimiento de presión (PP1).

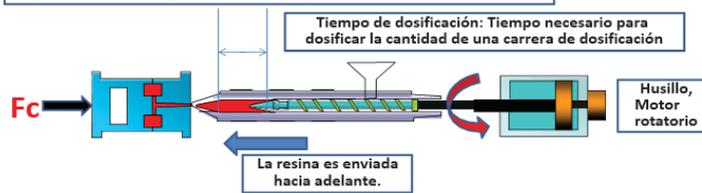


Proceso de enfriamiento

Tiempo de enfriamiento

1. El proceso de enfriamiento es el proceso en el que se enfría la resina en el molde hasta que la temperatura de la resina llegue a ser inferior a la temperatura de deformación térmica. El enfriamiento de la pieza inicia desde la inyección y el sostenimiento de presión.
2. Cuando finaliza el tiempo de inyección, inicia el tiempo de enfriamiento y la dosificación al mismo tiempo.
3. Se ajustan las revoluciones del husillo de tal manera que el tiempo de dosificación finalice dentro del tiempo de enfriamiento. (Véase p.39, 40 del Proceso de plastificación y dosificación.)
4. Después de terminar el tiempo de enfriamiento, inicia la apertura del molde.

Tiempo de enfriamiento: Tiempo necesario para que la temperatura de la pieza moldeada llegue a ser más baja que la de deformación térmica.



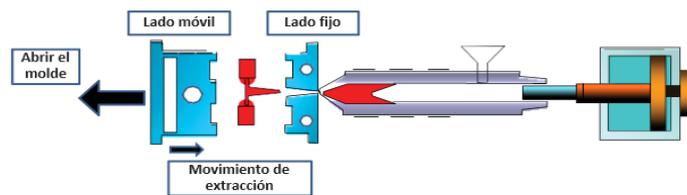
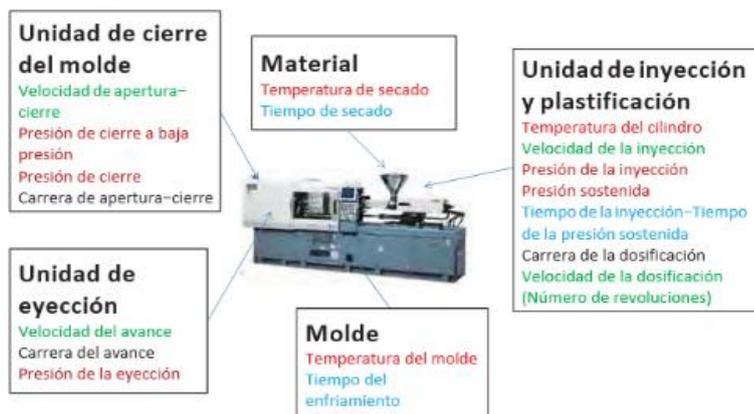
Elaborado por:

Aprobado por:
 Gerente General - Propietario

LINEA PET

EMPRESA XYZ
INSTRUCTIVO DE
PROCEDIMIENTOS
Proceso de extracción de la pieza moldeada

1. En este proceso se abre el molde para extraer la pieza moldeada y colada.
2. Es necesario que la pieza moldeada quede en el lado móvil del molde.
3. Se ajusta la velocidad inicial de apertura del molde como medida para evitar que la pieza quede en el lado fijo del molde.
4. Después de abrir el molde, se saca la pieza moldeada del lado móvil por movimientos expulsores.
5. Cuando hay defectos en la distribución de los pernos botadores, ocurre el defecto del desmoldeo y puede quedar una parte de la pieza moldeada en el molde, por lo que es necesario revisar la pieza siempre cuando salga del molde.


Generalidades de los parámetros del moldeo por inyección-1
"Temperatura, Tiempo, Presión, Velocidad, Posición-Cantidad"


Elaborado por:

 Aprobado por:
 Gerente General - Propietario

LINEA PET

EMPRESA XYZ
INSTRUCTIVO DE
PROCEDIMIENTOS

Factores que aceleran la descomposición térmica del polímero en el interior del cilindro

1. Temperatura de moldeo
 - Cuanto más alta sea la temperatura de la resina, más fácil es la descomposición térmica.
 - Deben configurar la temperatura en un rango que no provoque la descomposición térmica dentro del tiempo del ciclo de moldeo.
2. Tiempo de retención
 - La descomposición térmica se presenta dependiendo de la temperatura y del tiempo. El tiempo de retención dentro del cilindro tiene mayor influencia.
3. Efecto de la superficie del metal en la ruta de flujo de la resina
 - Se observa la tendencia de presentarse más la descomposición térmica, cuando la resina fundida tiene contacto con la superficie del metal.
 - Si tiene contacto con acero al carbono es fácil que suceda la descomposición térmica, pero si el contacto ocurre con cromado duro, esto inhibe la descomposición.
4. Factores que influyen en la descomposición térmica de la resina.
Se muestran a continuación.

Comportamiento de la descomposición térmica	Influencia en los defectos de moldeo
Reducción del peso molecular (incremento de MFR)	Variaciones en: el tiempo de dosificación, la posición del cambio PV, el peso del producto y las dimensiones del producto
Variación de colores	Defectos de apariencia como línea de quemado, cambio a color pardo o puntos negros.
Generación de gases	Falta de llenado del material, obstrucción del venteo, quemado por gases, corrosión de metal, entre otros.

Retención de pedazos rotos del pellet y del polímero fundido

1. **Del área de alimentación a la de compresión:** En estas áreas es fácil que se presente el cambio de color debido a la oxidación causada por la presencia de aire.
2. **Área de dosificación:** La temperatura de la resina sube más alta que la temperatura de moldeo configurada debido al calor por fricciones causadas por el esfuerzo cortante de la rotación del husillo. Cuando el calor generado por fricciones es mayor, se provoca la descomposición térmica.
3. **Partes de desgaste en el husillo y el cilindro:** Se presentan desgastes por corrosión causados por los gases corrosivos generados en el momento de fundirse la resina o desgastes mecánicos por los materiales de refuerzo.
4. **Tolva y canal de la tolva:** En estas zonas es fácil que se acumulen pedazos rotos de pellets y pellets colorantes.

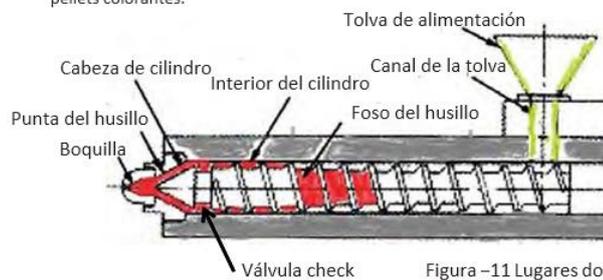


Figura -11 Lugares donde hay retención del material

15

Elaborado por:

Aprobado por:
Gerente General - Propietario

LINEA PET	EMPRESA XYZ
	INSTRUCTIVO DE PROCEDIMIENTOS

Condiciones de la temperatura de moldeo para las resinas termoplásticas (Cristalinas)

Resinas	Z15/Z5	Z4/Z3	Z2	Z1	Cilindro	Temperatura del molde
HDPE	210 180-260	210 180-260	210 180-260	190 160-220	35	5-20
LDPE	180 140-250	180 140-250	180 140-250	160 100-220	30	30-50
PP	190 180-250	190 180-250	190 180-250	170 160-180	35	30 30-70
POM	190 180-200	190 180-200	190 180-200	170 160-180	45	60 50-80
PA66	280 280-290	280 280-290	280 280-290	260 260-270	55	60 50-90
PET	280 270-300	280 270-300	280 270-300	265 265-280	50	60 140
PBT	240 230-260	235 230-260	235 230-260	200 200-210	45	60 50-80
PPS	320 310-340	310 300-330	310 300-330	270 270-290	90	130 80-180

Sumitomo

Secadoras tipo tolva



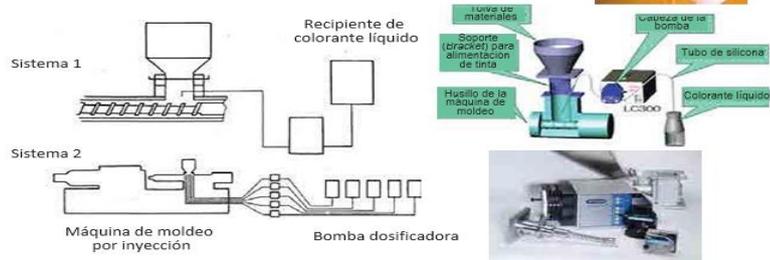
Elaborado por:

Aprobado por:
Gerente General - Propietario

LINEA PET

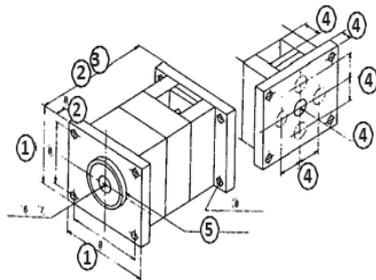
EMPRESA XYZ
INSTRUCTIVO DE
PROCEDIMIENTOS
Sistema de colorante líquido

Resina natural


Preparación previa al montaje
Comprobación previa al montaje

Verificar si se puede montar el molde en cuestión a la máquina de inyección.

- Dimensiones del molde (longitud x ancho), distancia entre las barras, dimensiones del montaplaca.
- Espesor del molde: mínimo (máximo)
- Carrera de apertura del molde: relación entre la especificación del molde y el modo de extracción del producto moldeado
- Formular el juicio tomando en cuenta la carrera de eyección, la posición y el diámetro de la barra, la estructura del molde.
- Diámetro del anillo centrador: No se puede emplear si el diámetro es mas grande (retirar). Se utiliza un anillo auxiliar en el caso de que quede pequeño.



Elaborado por:

 Aprobado por:
 Gerente General - Propietario

LINEA PET	EMPRESA XYZ	
	INSTRUCTIVO DE PROCEDIMIENTOS	
<p>Defectos de moldeo relacionados con las condiciones de inyección</p>		
Fenómeno y causas	Fenómeno en que la cavidad del molde no está llena por el material. Debido a la falta de resina y/o falta de la presión de llenado, etc.	
Factores relacionados con los equipos de inyección	<ul style="list-style-type: none"> • Falta del volumen de llenado, falta de la presión de inyección, la velocidad baja de inyección. • La temperatura de la resina es baja, faltando fluidez en ella. • La pérdida de la presión en la boquilla es grande. 	
Factores relacionados con el material	<ul style="list-style-type: none"> • La fluidez de la resina es baja. 	
Factores relacionados con el molde	<ul style="list-style-type: none"> • La temperatura del molde es baja. El espesor de la cavidad es delgado. • El bebedero (<i>sprue</i>), colada y <i>gate</i> son pequeños. • Mal funcionamiento de extracción de aire, falta de venteo. 	
Medidas a tomar relacionadas con las condiciones de moldeo	<ul style="list-style-type: none"> • Subir la velocidad de inyección. • Subir la presión de inyección. Subir la presión de sostenimiento. • Ajustar la fuerza de cierre del molde y/o la velocidad de inyección del momento final de llenado para facilitar el escape del aire. 	
<p>Defectos de moldeo relacionados con la extracción del producto Debido al esfuerzo externo</p>		
Defectos de moldeo	Factores inadecuados	Medidas a tomar
Deformes: Pandeo Doblado Torsión Blanqueamiento Losamiento Mal desmoldeo: Queda el producto en el lado fijo Ruptura	Liberación de la presión de cierre del molde Velocidad de apertura del molde	Ajustar la liberación de la presión de cierre del molde. Ajustar la velocidad de apertura del molde
	Posición del perno eyector Número del perno eyector Diámetro del perno botador	Distribución balanceada de los pernos eyectores Distribución balanceada Cambio del diámetro del perno eyector
	Velocidad de eyección Presión de eyección	Ajustar la velocidad de eyección Ajustar la presión de eyección
	<i>Timing</i> de eyección	Ajustar el tiempo de enfriamiento Ajustar la temperatura del molde
	Métodos de extracción	Ajustar la máquina extractora Posición de agarre del producto
	Colocación del producto posterior a la extracción	Utilizar el dispositivo corrector de la forma Utilizar el dispositivo receptor del producto moldeado
<p>Elaborado por:</p>	<p>Aprobado por: Gerente General - Propietario</p>	

LINEA PET	EMPRESA XYZ
	INSTRUCTIVO DE PROCEDIMIENTOS
Defectos de moldeo relacionados con los moldes	
Fenómeno y causas 	Fenómeno en que la resina sale en parte de la colada o en la de PL. Se presenta rebaba solamente en una parte de las múltiples cavidades que tiene el molde (<i>Gate</i> tapado). En muchos casos es causada por las condiciones de moldeo.
Factores relacionados con el molde	<ol style="list-style-type: none"> 1. Falta de cierre en la cara de PL. 2. Defecto causado por el desgaste de la esquina. 3. Deformación causada por la presión de inyección (Falta de rigidez del molde). Deformación causada por la fuerza de cierre del molde. 4. Exceso de llenado y generación de rebaba debido a la obstrucción del <i>gate</i> (moldeo con múltiples cavidades).
Medidas a tomar relacionadas con el molde 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar el contacto de la cara PL con el estado del molde montado en la máquina inyectora. 2. Reparar la parte desgastada de la esquina (Soldadura o ajuste de la cara dando golpes). 3. Medidas contra deformación del molde --- Agregar pilares de soporte. 4. Pulir las partes del <i>gate</i> (Medidas para desmoldear fácilmente la parte del <i>gate</i>). 5. En unos casos, el bajar la fuerza de cierre del molde ayuda a reducir la deformación del molde, generando menos rebaba.
Elaborado por:	Aprobado por: Gerente General - Propietario

Anexo No. 2

Check list para el control de materia

CHECK LIST MATERIA PRIMA			
REVISOR:			
FECHA:			
TIPO:			
1.-El material se encuentra identificado(Etiquetas)	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<hr/>			
3.-El embalaje corresponde al Estándar	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<hr/>			
4.-Se observa algún tipo de contaminación del material recepcionado ,Suciedad, manchas etc	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<hr/>			
5.- El producto recepcionado coincide con la factura o guía de despacho	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<hr/>			
6.Los sacos no presentan problemas de aberturas ,rotos etc	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> N/A
OBSERVACIONES:			

Anexo No. 5

Análisis de proceso que no representan valor durante el proceso de producción de botellas PET a cargo del personal asignado



Anexo No. 6

Capacitación del personal del área de producción de botellas PET



Anexo No. 7

Aplicación de tareas de control en la recepción de resina PET



Anexo No. 8

Tareas de control en los parámetros de presión y temperatura en la sopladora de preformas



Anexo No. 9

Tareas de mantenimiento preventivo y correctivo a equipos en estado crítico



