

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción

Reducción de producto defectuoso en una empresa que fabrica vidrios y
cristales

PROYECTO INTEGRADOR

Previo a la obtención del título de:

INGENIEROS INDUSTRIALES

Presentado por:

Felipe Enrique Martínez Menéndez

Samuel Antonio Mawyin Villa

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2023

Dedicatoria

El presente proyecto se lo dedico a mi familia por brindarme siempre el soporte necesario para llegar a las instancias finales de mi carrera universitaria, a mi equipo de trabajo por ayudarme a ser mejor tanto como persona como el ámbito laboral, a mi compañero de tesis Samuel por ser un apoyo siempre, finalmente a mi hijo Sebastián y mi novia Ámbar por ser mi motor e impulsarme cada día a hacer las cosas de la mejor manera.

Felipe Enrique Martínez Menéndez

Dedicatoria

Este proyecto se lo dedico principalmente a mi familia, por todo el apoyo que me han dado a lo largo de mi vida universitaria. A mi novia Isabella que ha sido un pilar fundamental. A mis amigos Yamileth, Root, John, Jean Carlos y Felipe con los que he disfrutado y aprendido en estos cuatro años y medio de universidad.

Samuel Antonio Mawyin Villa

Agradecimientos

Nuestros más sinceros agradecimientos a nuestras familias, a los profesores que nos han ayudado en nuestro desarrollo académico, a los amigos que hemos hecho a lo largo de la carrera y una mención especial para Kleber Barcia PhD. por brindarnos todo el soporte necesario a lo largo del proyecto.

Declaración Expresa

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Samuel Antonio Mawyin Villa y Felipe Enrique Martínez Menéndez y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Samuel Antonio

Mawyin Villa



Felipe Enrique Martínez

Menéndez

Evaluadores

Denisse Rodríguez Z., PhD

Profesor de Materia

Kleber Barcia V., PhD

Tutor de proyecto

Resumen

La realización de este proyecto fue en una empresa manufacturera de botellas y envases de vidrio en Guayaquil. El objetivo es reducir el porcentaje diario de producto defectuoso a un promedio de 9.5%. A través de la metodología DMAIC se realizó la definición, medición, análisis, mejora y control de la variable de salida. Con la ayuda de herramientas como lluvia de ideas, diagrama de Pareto, diagrama Ishikawa, diagrama OTIDA se pudo segmentar y analizar de mejor forma el proceso. También, la herramienta de 5 por qué determinaron las causas raíz de los problemas identificados. De aquí salieron las soluciones implementadas. Los resultados de estas fue que hubo una reducción en el porcentaje de producto defectuoso diario cuando hay cambios de referencia de 4% a 2.1%. La temperatura de premoldes se controló en un rango de 5°C alrededor de los 380°C. Se logró que los eventos presentados en la máquina puedan ser preventivos enés de correctivos gracias a la instalación de un panel que lee la temperatura de los premoldes a tiempo real. Con estas mejoras se pudo reducir el porcentaje de producto defectuoso en la línea de producción A1 de 3.72% a 1.89% y de 11.23% a 9.3% en general.

Palabras Clave: Defectuoso, DMAIC, Máquina, Botellas, Producción

Abstract

This project was made on a manufacturer company of glass bottles located in Guayaquil. The objective is to reduce the daily percentage of defective products to 9.5%. Through DMAIC methodology the definition, measure, analysis, improvement, and control of the variable. With the help of tools like brainstorming, Pareto diagram and OTIDA diagram the process could be well categorized and analyzed. Also, 5 why's tool determined the root causes of the identified problems. From here, improvements were implemented. The results were that the percentage of defective products when a job change is done was reduced from 4% to 2.1%. Blank's temperature could reach the stability of 5 degrees around 380 degrees, with these events in the machine could be preventive instead of corrective thanks to a panel that reads the blank temperature in real-time. With these improvements, the daily percentage of defective products reduced from 3.72% to 1.89% at line production A1 and from 11.23% to 9.3% overall.

Keywords: *Defective, DMAIC, Machine, Bottles, Production*

TABLA DE CONTENIDO

Capítulo 1.....	1
1 Introducción	1
1.1 Descripción del problema	2
1.1.1 Definición del problema.....	3
1.1.2 Alcance del proyecto	4
1.1.3 Requerimientos del cliente	5
1.2 Justificación del problema.....	7
1.3 Objetivos	8
1.3.1 Objetivo general.....	8
1.3.2 Objetivos específicos	8
1.4 Restricciones del proyecto	9
1.5 Marco Teórico.....	9
Capítulo 2.....	12
2 Metodología	12
2.1 Medir.....	12
2.1.1 Mapeo del proceso.....	12
2.1.2 Plan de recolección de datos.....	14
2.1.3 Recolección y confiabilidad de datos	15
2.1.4 Prueba de normalidad	20

2.1.5	Gráfica de control	22
2.1.6	Análisis de capacidad.....	23
2.1.7	Estratificación	24
2.1.8	Problema enfocado.....	25
2.2	Analizar.....	26
2.2.1	Just do it.....	26
2.2.2	Lluvia de ideas.....	26
2.2.3	Diagrama Ishikawa.....	27
2.2.4	Matriz de causa y efecto	28
2.2.5	Diagrama Impacto-Control.....	29
2.2.6	Plan de verificación de causas.....	30
2.2.7	5 Por qué	36
2.3	Mejora.....	38
2.3.1	Propuesta de soluciones.....	38
2.3.2	Análisis de costos.....	39
2.3.3	Desarrollo plan de implementación.....	40
2.4	Implementación.....	41
2.4.1	Implementación Solución 1: Fabricación de calibres para la tripulación de cambios de referencias acorde al formato y composición requerida.....	41
2.4.2	Implementación Solución 2: Modelo de asignación de parejas de cambios de referencias basado en su rendimiento.	42

Capítulo 3	46
3 Resultados y análisis	46
3.1 Resultados de las soluciones	46
3.1.1 Solución 1: Fabricación de calibres para la tripulación de cambios de referencias acorde al formato y composición requerida	46
3.1.2 Solución 2: Modelo de asignación de parejas de cambios de referencias basado en su rendimiento	47
3.1.3 Solución 3: Aplicación de la metodología 5s y limpieza continua en el taller	48
3.1.4 Solución 4: Elaboración de un formato de lista de verificación “checklist” para la revisión de equipos variables de moldura un día antes que el equipo ingrese a la máquina	49
3.1.5 Solución 5: Diseño de un panel que de la lectura en tiempo real de la temperatura de los premoldes	49
3.2 Resultados finales del proyecto DMAIC	50
3.2.1 Cartas de control	53
3.3 Métricas de sostenibilidad	56
3.3.1 Beneficio social	56
3.3.2 Beneficio medio ambiental	57
3.3.3 Beneficio financiero	58
3.4 Implementación plan de control	59
Capítulo 4	61

4 Conclusiones y recomendaciones	61
4.1 Conclusiones	61
4.2 Recomendaciones	61
Bibliografía	63
APÉNDICES	65

Abreviaturas

CTQ	Critical to Quality
DMAIC	Define, Measure, Analyze, Improve, Control
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
OTIDA	Operaciones, Transporte, Inspecciones, Demoras y Atrasos
SIPOC	Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customer
TBL	Triple Bottom Line
VOC	Voice of customer

Simbología

Mm	Milímetros
%	Porcentaje
Tons	Toneladas
Ho	Hipótesis nula
H1	Hipótesis alterna
°C	Grados centígrados

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Proceso de producción a través de todas las áreas que agregan valor al producto	2
Figura 1.2 Serie de tiempo realizada este 23-ene hasta 23-may	3
Figura 1.3 Diagrama SIPOC del proceso	5
Figura 1.4 Diagrama de afinidad a partir de las necesidades del cliente.....	6
Figura 1.5 “CTQ Tree” realizado a partir de las necesidades del cliente.....	7
Figura 1.6 Métricas del TBL.....	7
Figura 2.1 Diagrama OTIDA para determinar clasificación de actividades	13
Figura 2.2 Plan de recolección de datos	15
Figura 2.3 Procedimiento para rechazar una botella defectuosa.....	16
Figura 2.4 Procedimiento para retener una paleta con producto defectuoso	17
Figura 2.5 Diagramas de caja para espesores de botella en máquina A1	18
Figura 2.6 Prueba de normalidad para variable de respuesta.....	21
Figura 2.7 Prueba de Normalidad Anderson-Darling	21
Figura 2.8 Carta de control individual y rango móvil fuera de control estadístico	22
Figura 2.9 Carta de control individual y rango móvil bajo control estadístico.....	23
Figura 2.10 Análisis de capacidad del proceso	24
Figura 2.11 Pareto líneas de producción.....	25
Figura 2.12 Brainstorming.....	27
Figura 2.13 Diagrama Ishikawa	27
Figura 2.14 Matriz causa y efecto	28

Figura 2.15 Diagrama de Pareto causas potenciales	29
Figura 2.16 Matriz control-impacto	30
Figura 2.17 Test de normalidad.....	33
Figura 2.18 Prueba de hipótesis de diferencia de medias	33
Figura 2.19 Test de normalidad para temperatura	35
Figura 2.20 Prueba T-student.....	34
Figura 2.21 Matriz Impacto-Esfuerzo de las soluciones.....	39
Figura 2.22 Plan de implementación	41
Figura 2.23 Calibres para máquina	42
Figura 2.24 Salida de modelo en python	43
Figura 2.25 Aplicado en moldes	43
Figura 2.26 Formato de checklist de actividades precambio	44
Figura 2.27 Temperatura en panel.....	45
Figura 3.1 Beneficios de compra de calibres	46
Figura 3.2 Diagrama de caja en cambios de referencia	47
Figura 3.3 Formato de auditoria 5S	48
Figura 3.4 Procedimiento luego de implementación de solución 4	49
Figura 3.5 Diagrama de caja temperatura antes vs después.....	50
Figura 3.6 Serie de tiempo del porcentaje de producto defectuoso enero-mayo	50
Figura 3.7 Serie de tiempo del porcentaje de producto defectuoso julio-agosto	51
Figura 3.8 Prueba U de Man-Whitney	52
Figura 3.9 Toneladas promedio de producto defectuoso antes vs después	53

Figura 3.10 Prueba de normalidad de datos después de mejora	54
Figura 3.11 Carta de control de porcentaje de producto defectuoso.....	55
Figura 3.12 Análisis de capacidad datos mejorados	56
Figura 3.13 Diagrama de barras de pallets reclasificados.....	57
Figura 3.14 Cantidad de veces que el payloader va a recoger producto defectuoso vs los cambios de referencias ejecutados por semana	58
Figura 3.15 Costos bimestrales	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Descripción del problema a través del 3W+2H	4
Tabla 2.1 Resumen de actividades OTIDA.....	13
Tabla 2.2 Producto defectuoso diario.....	15
Tabla 2.3 Porcentaje de pallets bloqueados diariamente.....	16
Tabla 2.4 Grosor de las botellas después del cambio de equipo variable	17
Tabla 2.5 Dimensiones de las botellas	18
Tabla 2.6 Dimensiones de la botella después del cambio de equipo variable	19
Tabla 2.7 Tabla de resultados muestreos dimensiones	19
Tabla 2.8 Formato de registro de payloder	20
Tabla 2.9 Data para construcción de pareto	24
Tabla 2.10 Just Do It	26
Tabla 2.11 Tabla de ponderación de correlación.....	28
Tabla 2.12 Diagrama de impacto-control.....	29
Tabla 2.13 Plan de verificación de causas	31
Tabla 2.14 Porcentaje de producto defectuoso de la línea 1 con y sin cambios de referencia	31
Tabla 2.15 Análisis 5 Por que X4.....	36
Tabla 2.16 Análisis 5 porque X8.....	37
Tabla 2.17 Análisis 5 porque X11	37
Tabla 2.18 Propuesta de soluciones	38
Tabla 2.19 Análisis de costos	39

Tabla 3.1 Plan de control 59

Capítulo 1

1 Introducción

La preocupación de los consumidores por su salud y por el medio ambiente ha incentivado que la tendencia de consumo de productos envasados en material de vidrio a nivel global haya incrementado a través del tiempo debido a que los productos conservan de mejor manera sus propiedades: sabor, olor, etc., también mantiene la salubridad de los alimentos debido a su naturaleza hermética. Al ser el vidrio un material 100% reciclable ha contribuido con la disminución de la huella de carbono ya que al reutilizar este material se requiere de menos energía. Las empresas establecen normas estrictas sobre la calidad y durabilidad que deben tener estos productos y mejorar sus procesos para la reducción de producto defectuoso que se genera.

En el año 2013 las industrias manufactureras de vidrio en el Ecuador aportaron con un 0.5% del total de empleos manufactureros, en el año 2020 el mercado interno de fabricación de productos de vidrio generó ventas de \$49.1 millones (Sánchez, Vayas, Mayorga, & Freire, 2021). La empresa en la cual se desarrolla el proyecto se dedica a la fabricación de botellas de vidrios u otros recipientes bajo pedido desde el año 1965. Ubicada en la vía perimetral, busca ofrecer máxima calidad, efectividad y rapidez a cambio de confianza y satisfacción.

Por lo cual la compañía desea reducir la cantidad de producto defectuoso que se genera a lo largo del proceso en las 4 líneas de producción, lo que permitió disminuir el reproceso por tener unidades/paletas retenidas para inspección brindándole a la empresa mayor flexibilidad y a no incurrir en costos extras. Los procesos en los que se incurrieron comienzan una vez que la materia prima mezclada llega al horno que se encuentra a una temperatura de 1300⁰c, estos se muestran en la figura 1.1.

Figura 1.1 Proceso de producción a través de todas las áreas que agregan valor al producto



Desde la fundición de la materia prima hasta que se empaqa el producto terminado existe un proceso de transformación el cual debe ejecutarse bajo condiciones controladas de temperatura y liberación de tensiones en las botellas para aprovechar el uso de la materia prima en el producto terminado. Esto se lo mide mediante el rendimiento de materia prima, usando la ecuación 1.1.

Ecuación 1.1

$$\text{Rendimiento materia prima (\%)} = \frac{\text{Toneladas de producto final empaclado}}{\text{Toneladas de materia prima ingresada}} * 100 \quad (1.1)$$

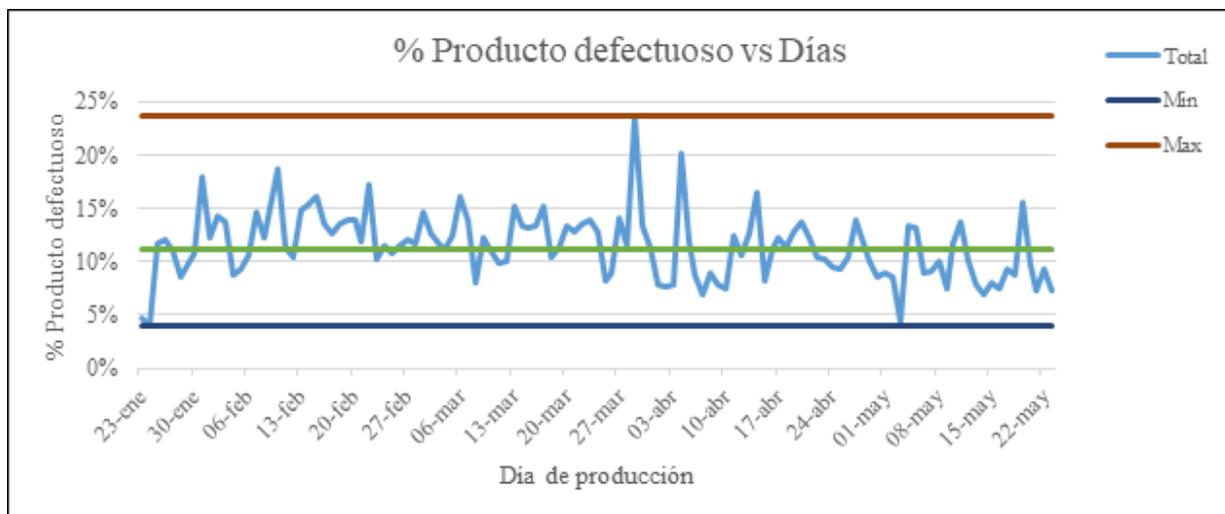
Desde enero hasta finales de mayo del 2023, el rendimiento de la materia prima ha alcanzado el 90.3% y la empresa desea optimizar el proceso de producción mediante la reducción del porcentaje de producto defectuoso generado diariamente en las líneas de producción a partir de la aplicación de la metodología DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control).

1.1 Descripción del problema

Según las necesidades de la organización, se quiere disminuir el porcentaje de producto defectuoso diario general. Con la finalidad de aumentar productividad y generar menos costos de producción.

A través de una serie de tiempo se puede observar cómo se comporta diariamente el producto defectuoso de manera general en la figura 1.2. En este gráfico se especifican datos como la mínima cantidad de porcentaje de producto defectuoso alcanzado por la organización, el máximo alcanzado y el promedio.

Figura 1.2 Serie de tiempo realizada este 23-ene hasta 23-may



1.1.1 Definición del problema

Se tiene un alto porcentaje de producto defectuoso en las líneas de producción de una empresa manufacturera de botellas de vidrio desde el 23 de enero del 2023. Datos históricos muestran que el promedio de este porcentaje diario es 11.2%, mientras que el mínimo registrado es de 4%. A través de la herramienta para definir un problema, 3W+2H se definió el problema como se observa en la tabla 1.1.

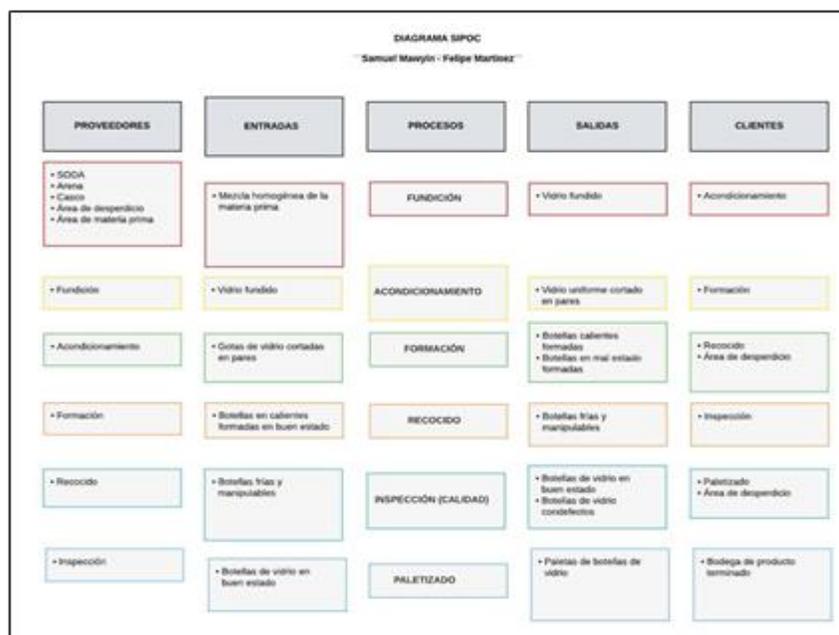
Tabla 1.1 Descripción del problema a través del 3W+2H

3W+2H	
<i>¿Qué?</i>	Alto porcentaje de producto defectuoso
<i>¿Dónde?</i>	En las líneas de producción de la empresa de vidrio
<i>¿Cuándo?</i>	Desde el 23 de enero del 2023
<i>¿Qué tanto?</i>	El porcentaje promedio de producto defectuoso es de 11.2%
<i>¿Cómo lo sé?</i>	El porcentaje mínimo alcanzado es de 4%

1.1.2 Alcance del proyecto

El alcance del presente proyecto está enfocado en las líneas de producción de botellas y envases de vidrio. Por ende, tener definidas las entradas y salidas de cada una de las partes involucradas del proceso es importante para identificar oportunidades de mejora. Por lo cual, se decidió elaborar un diagrama SIPOC (Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customer), figura 1.3.

Figura 1.3 Diagrama SIPOC del proceso



Como se observa, el proceso de producción empieza con la etapa de fundición del vidrio y va hasta el área de paletizado. Se observan diferentes tipos de entradas, salidas y desperdicios por cada proceso donde cada etapa genera y agrega valor al producto final.

1.1.3 Requerimientos del cliente

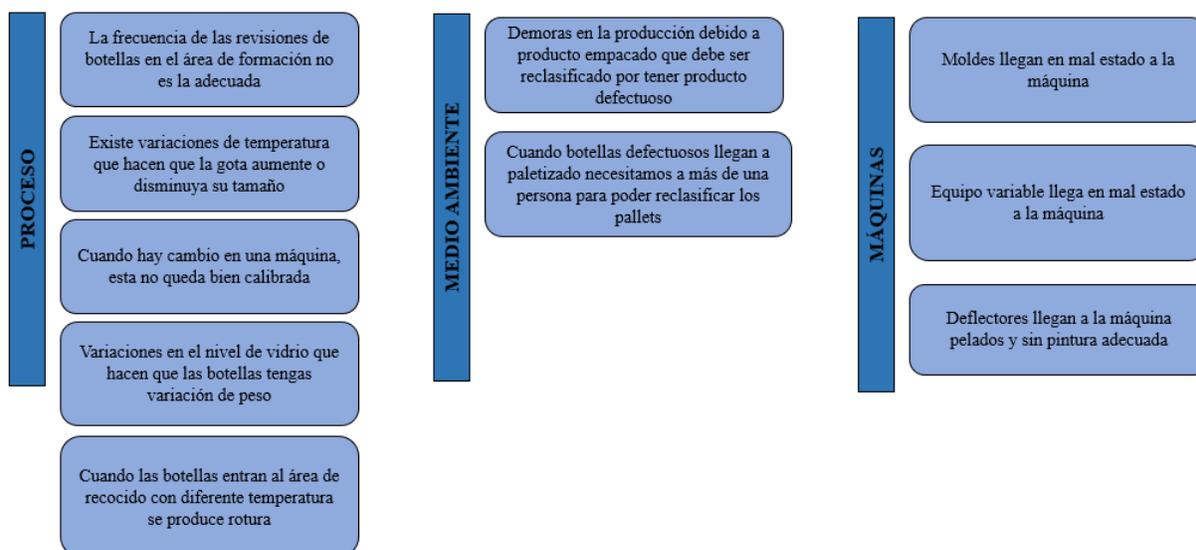
Durante la elaboración del proyecto, se interactuó con los responsables de la producción de botellas de vidrio, tales como:

- Líderes de línea
- Gerente de producción
- Coordinador de calidad
- Coordinador senior de grupo de cambio
- Operadores de máquina

De estos, el coordinador senior de grupo de cambio fue el cliente clave para la elaboración del proyecto debido a que tiene un mayor conocimiento con respecto a todas las líneas de producción y el proceso del vidrio.

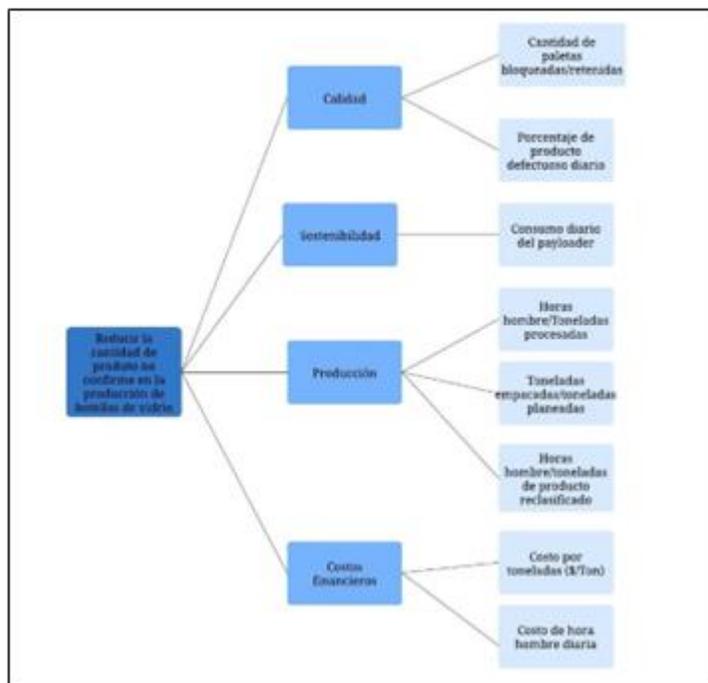
Junto con los involucrados mencionados se conversó sobre los problemas que existen en el proceso que generan producto defectuoso. De forma en que esta información pueda ser categorizada, como se observa en el diagrama de afinidad de la figura 1.4.

Figura 1.4 Diagrama de afinidad a partir de las necesidades del cliente



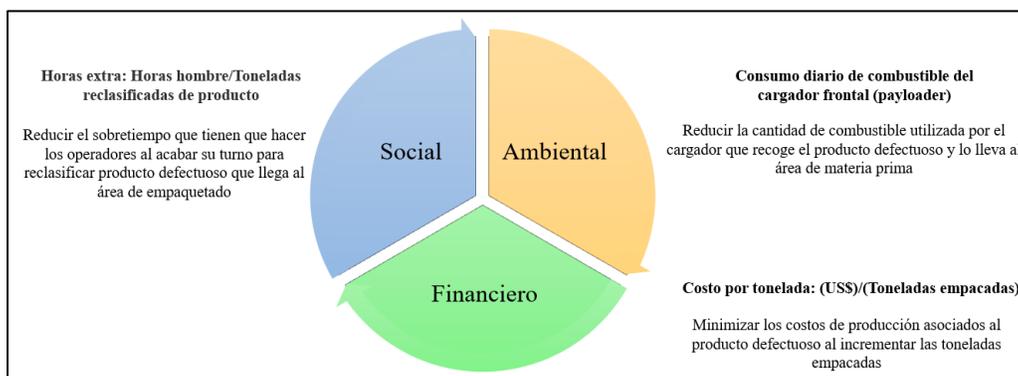
Con esto, se realizó el CTQ Tree en la figura 1.5. A partir de esto se identificaron las necesidades del cliente, siendo “la reducción de cantidad de producto no conforme en la producción de botellas de vidrio”. De forma en que se pudo segmentar estas necesidades en cuatro pilares como lo son; calidad, producción, costos financieros y sostenibilidad.

Figura 1.5 “CTQ Tree” realizado a partir de las necesidades del cliente



Se tiene que la variable de respuesta es “porcentaje de producto defectuoso diario” y a partir de esto se definieron los tres indicadores a mejorar que son social, ambiental y económico. La explicación de cada uno de estos se observa en la figura 1.6.

Figura 1.6 Métricas del TBL



1.2 Justificación del problema

La reducción de producto defectuoso en las líneas de producción de botellas de vidrio aporta en la reducción de tiempos por reproceso o por reclasificación de paletas permitiendo un

incremento en la productividad de la empresa lo que conlleva a la reducción de costos por reprocesamiento de material, horas extras de trabajo, brindándole a la empresa una mayor flexibilidad en la reducción de tiempos que no agregan valor y a un mayor cumplimiento con la planificación diaria de producción.

Como se mencionó en la declaración del problema, la empresa desde enero hasta mayo 2023 diariamente en promedio genera 11.2% de producto defectuoso, lo que implica que se generen reprocesos de producción alcanzando un coste de \$2,500,000 por los defectos que se generan en la formación de la botella para calcular dicho costo la empresa brindó información sobre la planificación diaria de dichos meses según la planificación diaria del total de toneladas a producir multiplicada por el porcentaje de producto defectuoso generado en promedio diariamente multiplicado por el costo de producción.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Reducir el porcentaje de producto defectuoso generado en las líneas de producción de botellas de vidrio por día en 4 meses para alcanzar una mayor productividad en el proceso.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Reducir los tiempos de reprocesos y reclasificación de productos defectuosos mejorando la disponibilidad de los operarios y costos asociados.
2. Mejorar el sistema de manejo de equipos variables para la reducción en los errores de calibración y un manejo correcto en la producción.
3. Analizar la implementación de nuevas tecnologías mejorando el funcionamiento del proceso.

1.4 Restricciones del proyecto

1. El presupuesto asignado para la aplicación de las mejoras encontradas.
2. La disponibilidad de la información para la obtención de datos al momento de realizar la medición y análisis de datos.
3. La planta trabaja con turnos rotativos, por lo que se tuvo que ajustar a distintos horarios.
4. Resistencia al cambio por parte del personal de planta al verse forzados en aceptar mejoras y recomendaciones del proyecto.

1.5 Marco Teórico

En esta etapa de proyectos toca conocer a fondo acerca de la metodología DMAIC sus etapas y sus orígenes. La metodología DMAIC fue desarrollada inicialmente en los años 90 en la compañía de teléfonos MOTOROLA por el ingeniero Bill Smith donde se aplicó en proyectos de Six Sigma para mejorar la calidad de los proyectos, la cual es una herramienta de mejora utilizada para reducir la variabilidad e incrementar la productividad de la planta, basada en datos y herramientas estadísticas que consta de cinco pasos: definir, medir, analizar, mejorar o en inglés improve y controlar. Se basa en los principios de Lean y Six Sigma y ayuda a las organizaciones a identificar y eliminar los residuos en sus procesos (Sanchez Ruiz, 2005).

Ahora que se conoce un poco acerca del origen de la metodología DMAIC y los pasos que la definen se entrara a detalle en cada uno, lo que implican y que herramientas se recomienda usar en estos procesos:

Definir: En este paso se debe definir el problema que se quiere resolver, el objetivo que se quiere alcanzar y el alcance del proyecto. Se debe especificar el cliente o beneficiario del proceso, sus necesidades y expectativas, y los requisitos de calidad que se deben cumplir. En esta

etapa se recomienda el uso del diagrama de Pareto o el diagrama de flujo (Ocampo & Pavon, 2005).

Medir: En este paso se debe medir el estado actual del proceso, es decir, cómo se está realizando y qué resultados se están obteniendo. Se debe definir las variables clave del proceso, los indicadores de rendimiento y los métodos de medición. Se debe recopilar datos sobre el proceso y su variación, y validar su fiabilidad y precisión. Se recomienda el uso del diagrama de Pareto o gráficos de control (Jarrín, E.V, 2005).

Analizar: En este paso se debe analizar los datos recopilados para identificar las causas raíz del problema, es decir, los factores que influyen en el rendimiento del proceso y generan residuos o defectos. Se debe utilizar herramientas estadísticas y gráficas para explorar la relación entre las variables y las causas potenciales. Se debe priorizar las causas más significativas y verificar su validez mediante pruebas (Desimavilla Espinoza & Rojas Parraga, 2021).

Mejorar: En este paso se debe diseñar e implementar soluciones para eliminar o reducir las causas raíz identificadas. Se debe generar ideas de mejora mediante técnicas creativas como el brainstorming o el benchmarking. Se debe evaluar las opciones de mejora mediante criterios como el costo, el beneficio, el riesgo y la factibilidad. Se debe seleccionar la mejor solución y planificar su implementación mediante un plan de acción (Garza Ríos & González Sánchez, 2016).

Controlar: En este paso se debe verificar que la solución implementada haya logrado los objetivos esperados y que no haya generado efectos secundarios negativos. Se debe medir el rendimiento del proceso mejorado y compararlo con el estado anterior. Se debe establecer mecanismos de control para asegurar la estabilidad del proceso y prevenir la recurrencia del

problema. Se debe documentar el proyecto y comunicar los resultados y las lecciones aprendidas (Desimavilla Espinoza & Rojas Parraga, 2021).

Capítulo 2

2 Metodología

Para desarrollar el proyecto se aplicó la metodología de mejora continua six sigma DMAIC siguiendo cada paso en el desarrollo de cada una de las etapas, una vez definido el problema detallado en las secciones anteriores se procedió a medir el estado del proceso.

2.1 Medir

Para la etapa de medición se identificaron los canales y áreas involucradas de todo el proceso. A través de la diagramación del proceso se encontraron las fábricas ocultas que no están de forma visible en cada eslabón de la cadena de suministro. De esta forma, poder medir y analizar los datos utilizando pruebas de normalidad y análisis de capacidad. Para poder tener un problema enfocado a través de la estratificación.

2.1.1 Mapeo del proceso

Para conocer el funcionamiento del proceso se realizó un diagrama OTIDA, el cual brinda información acerca del tiempo que le toma a cada actividad para hacerse efectiva y el número de operadores requeridos. Además, se clasificaron cada una de las actividades del proceso en Operaciones, Transporte, Inspección, Demora y Almacenamiento, El resumen de las actividades lo puede visualizar en la tabla 2.1.

Figura 2.1 Diagrama OTIDA para determinar clasificación de actividades

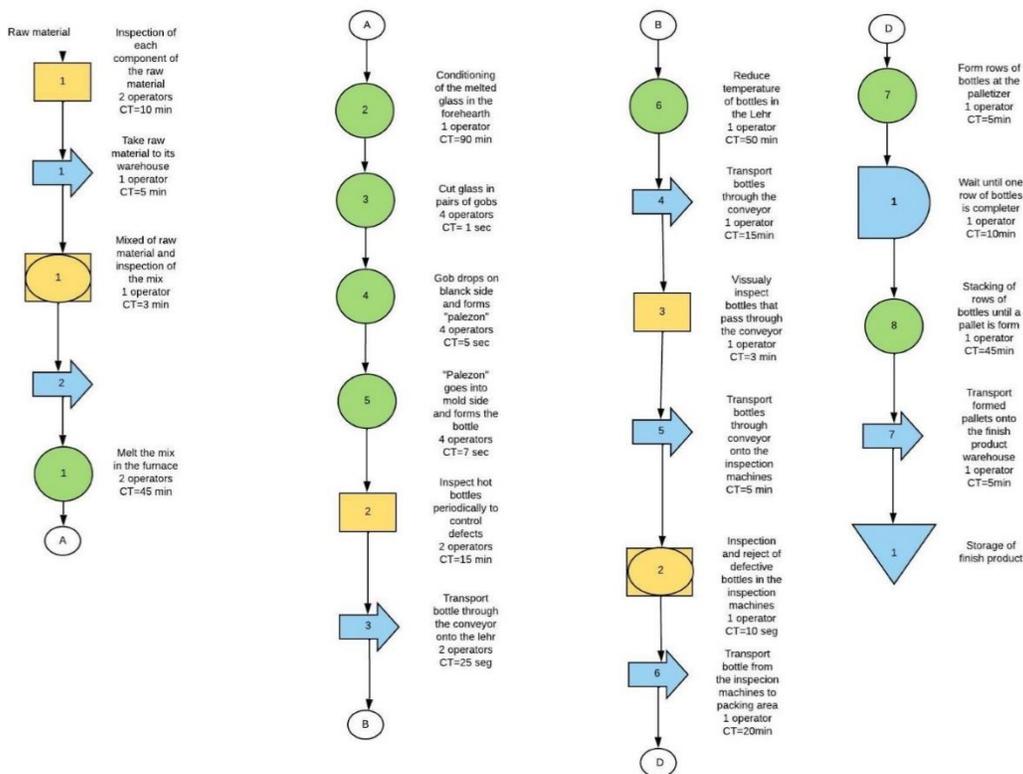


Tabla 2.1 Resumen de actividades OTIDA

Actividad	Símbolo	Cantidad
Operación		8
Transporte		7
Inspección		3
Demora		1
Almacenamiento		1
Operación e Inspección		2

Como se observa en la figura 2.1 del diagrama OTIDA las actividades de color verde son las que agregan valor y dan un total de ocho, representando el 36% del total. De la misma forma, Las actividades en amarillo son las que no agregan valor, pero son necesarias para el proceso, con un total de cinco actividades, representan el 23% del total. Por último, en azul las actividades que no agregan valor y son las que deberían ser reducidas o eliminadas. Se identificó también una fábrica oculta como lo es la reclasificación de paletas con producto defectuoso que llegan a la bodega de producto terminado y el cuello de botella del proceso siendo este la paletizadora pues es donde existe una mayor acumulación de botellas cuando esta deja de funcionar y es la máquina con mayor utilización de las líneas de producción.

2.1.2 Plan de recolección de datos

Con el fin de tener datos que ayuden a tener un mejor análisis de la variable de respuesta, se elaboró el plan de recolección de datos mostrado en la figura 2.2. Donde se especifica la variable a medir, el significado operacional de cada una, la unidad de medida, el tipo de dato, tamaño de muestra, cuándo se obtuvieron los datos, en donde se recolectaron los datos, uso futuro, encargado de la colección y el estatus.

Figura 2.2 Plan de recolección de datos

PLAN DE RECOLECCIÓN DE DATOS											
¿Qué?		¿Cuándo?		¿Dónde?		¿Cómo?		¿Por qué?		¿Quién?	
Variable	Significado operacional	Unidad de medida	Tipo de dato	Tamaño de la muestra	Factores de estratificación	Fecha	Punto de origen	Método de recolección	Uso futuro	Persona a cargo	Estatus
x1	Producto defectuoso en el proceso	Toneladas diarias	Cuantitativo - Continuo	Ene 2023- Mayo 2023	S1: Línea de Producción:1,2,3,4	Ene 2023- May 2023	Área del proceso de producción	Data histórica	Enfocar el problema en la línea de producción y los tipos de defectos que se generan	Líderes de línea	Completado
x2	Paletas retenidas a diario	Unidades	Cuantitativo - Discreto	Abril 2023	S1: Línea de Producción: 1,2,3,4	Jun-2023	Área de empaquetado	Data histórica	Determinar qué líneas generan más paletas retenidas debido a producto defectuoso	Líderes de proyecto	En progreso
x3	Espesor de las botellas al cambiar un equipo variable en la máquina	Milímetros	Cuantitativo - Continuo	10	S1: Línea de Producción:1,2,4 S2: Tipo de espesor: Cuerpo, cuello, talón, fondo	Jun-2023	Área de formación de botellas, líneas de producción	Muestreo de espesor	Verificar si existe variación en el espesor de las botellas cuando se cambia equipo variable en las máquinas	Líderes de proyecto	En progreso
x4	Dimensión de las botellas al cambiar un equipo variable en la máquina	Milímetros	Cuantitativo - Continuo	Sin definir	S1: Línea de producción: 1,2,3,4 S2: Tipo de dimensión: Verticalidad, cuello torcido, altura	Jun-2023	Área de formación de botellas, líneas de producción	Muestro dimensional	Verificar si existe variación en las dimensiones de las botellas cuando se cambia equipo variable en las máquinas	Líderes de proyecto	En progreso
x5	Número de veces que el cargador va a recoger botellas defectuosas y llevarlas al área de MP	Unidades	Cuantitativo - Continuo	Sin definir	-	Jun-2023	Área de desperdicio	Observación directa	Verificar en qué línea el cargador va a recoger producto defectuoso con más frecuencia	Líderes de proyecto	En progreso

2.1.3 Recolección y confiabilidad de datos

- **Producto defectuoso por día**

La primera variable que se midió fue el producto defectuoso diario estratificado por la línea de producción. Estos datos se los presentan en la tabla 2.2. Tomados desde enero del 2023 hasta mayo del mismo año con datos históricos de la organización.

Tabla 2.2 Producto defectuoso diario

PRODUCTO DEFECTUOSO DIARIO EN LAS LÍNEAS DE PRODUCCIÓN				
DÍA	A1	A2	A3	A4
23/01/2023	2,03	-	-	2,6
24/01/2023	4,5	-	-	2,1
25/01/2023	3,2	7,7	2,4	2,6
		...		
22/05/2023	4,7	2,2	2,7	2,8
23/05/2023	5,2	3,2	2	2,5

Estos datos se obtuvieron a través de un sistema que contabiliza las botellas que son rechazadas por las máquinas de inspección y almacena la información en un sistema automatizado de la organización. El paso a paso de esto se lo observa en la figura 2.3.

Figura 2.3 Procedimiento para rechazar una botella defectuosa



- **Pallets Bloqueados diariamente**

Para la medición de esta variable se usó data histórica del mes de abril como se observa en la tabla 2.3, de la cual se obtuvo el porcentaje diario de paletas bloqueadas de cada línea de producción usando la ecuación 2.1.

Ecuación 2.1

$$\text{Porcentaje de paletas reclasificadas diariamente} = \frac{\text{cantidad de paletas bloqueadas diariamente}}{\text{cantidad de pallets producidas diariamente}} * 100$$

Tabla 2.3 *Porcentaje de pallets bloqueados diariamente*

PORCENTAJE DE PALLETS BLOQUEADOS DIARIAMENTE EN LAS LÍNEAS DE PRODUCCIÓN				
DÍA	A1	A2	A3	A4
01/04/2023	-	-	-	-
02/04/2023	-	-	-	-
03/04/2023	1,27	3,71	-	-
04/04/2023	7,48	-	2,78	2,70
		...		
29/04/2023	-	-	2,16	-
30/04/2023	-	-	0,71	2,13

Los datos fueron registrados manualmente en un formato por los operarios como se evidencia en el apéndice A, después fueron registrados en el sistema. El paso a paso de esto se lo observa en la figura 2.4.

Figura 2.4 Procedimiento para retener una paleta con producto defectuoso



- **Grosor y dimensiones de las botellas después del cambio de equipo variable**

Se tomaron los datos haciendo uso de los equipos calibradores, primero se establecieron pruebas piloto para conocer la media y la desviación estándar, a partir de allí calcular el total de muestras faltantes usando la siguiente ecuación (2.2).

Ecuación 2.2

$$n = \frac{(1.96 * S)^2}{(0.05 * \sigma)^2}$$

En el caso del grosor se tomaron 4 medidas(mm), para cada una de las líneas de producción: cuerpo, cuello, talón y fondo, se tomó una muestra inicial de 10 para cada tipo de grosor, como se observa en la tabla 2.4.

Tabla 2.4 Grosor de las botellas después del cambio de equipo variable

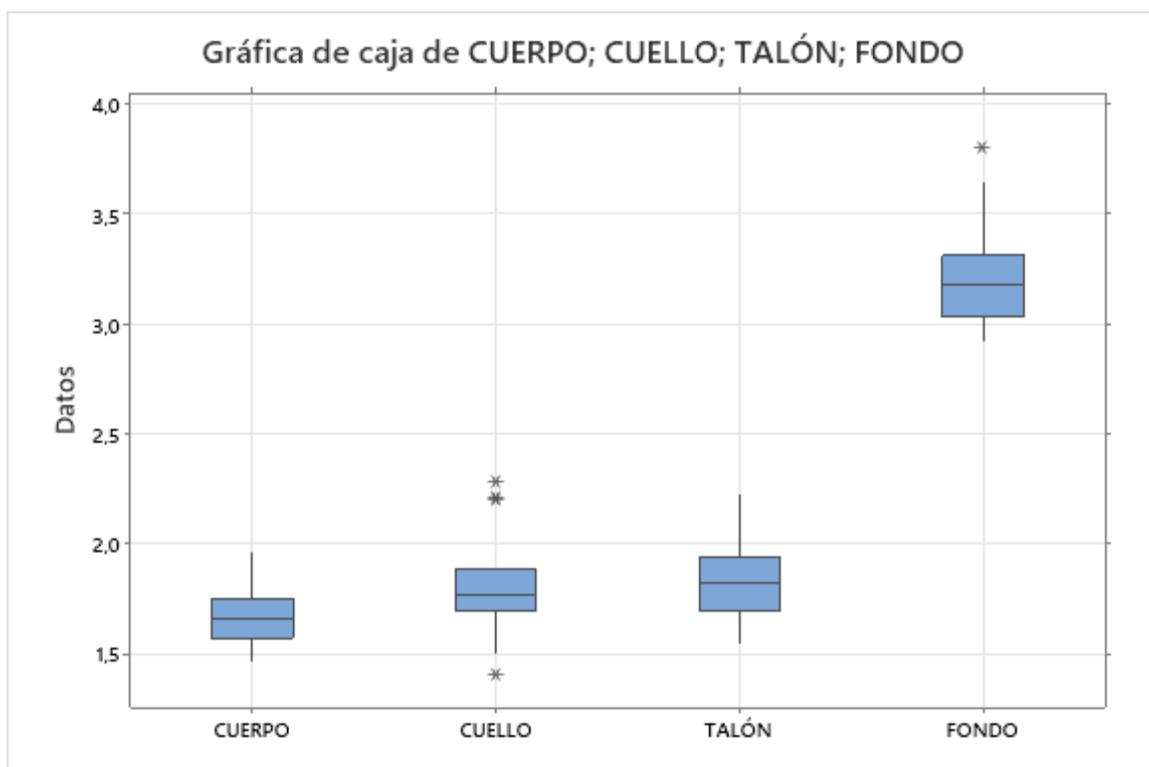
Grosor de las botellas después del cambio de equipo variable en la línea A1				
Muestra	Cuerpo	Cuello	Talón	Fondo
1	1.78	1.77	2.02	3.12
2	1.7	1.8	1.92	3.26
3	1.76	1.71	1.94	3.25
4	1.75	2.2	2.2	3.18
22	1.62	1.88	1.73	3.52
23	1.47	1.77	1.55	3.13

Tabla 2.5 Dimensiones de las botellas

RESULTS				
Muestra	Cuerpo	Cuello	Talon	Fondo
N	7	23	18	5
M23	1,66	1,80	1,82	3,20
S23	0,12	0,21	0,18	0,22

En la Figura 2.5 se observa la variación que existe entre cada una de las partes de las botellas, y que en el proceso existieron ciertas muestras cuyos valores son aberrantes, en el apéndice B encontrarán las muestras de las otras líneas de producción.

Figura 2.5 Diagramas de caja para espesores de botella en máquina A1



En el caso de las dimensiones se tomaron 3 medidas(mm): Verticalidad, cuello inclinado y altura, al igual que la variable anterior se realizó una toma de muestra inicial de 5 para cada tipo de dimensión en cada una de las líneas de producción, como se observa en la tabla 2.6.

Tabla 2.6 Dimensiones de la botella después del cambio de equipo variable

Dimensiones de la botella después del cambio de equipo variables línea A1			
Muestra	Verticalidad	Altura	Cuello inclinado
1	2.02	184.77	0.22
2	1.77	184.73	0.25
3	1.95	184.7	0.24
4	2.05	184.7	0.23
5	1.93	184.68	0.22

Tabla 2.7 Tabla de resultados muestreos dimensiones

Resultados			
Data	Verticalidad	Altura	Cuello inclinado
N	5	0	5
M5	1.94	184.72	0.23
S5	0.11	0.04	0.01

En el apéndice C se pueden observar los resultados obtenidos en las demás líneas de producción la tabla 2.7 se observan los datos de la línea A1.

- **Cantidad de veces diarias que el payloader va a la zona de desperdicio a recoger el producto defectuoso**

Para esta variable se registraron las veces que el payloader recolecta producto defectuoso en el área de desperdicio. Esto con la finalidad de tener una referencia de cuánto gas se consume diariamente y poder tener una comparativa con este indicador de medio ambiente, dando como resultado lo siguiente (tabla 2.8):

Tabla 2.8 Formato de registro de payloader

Turno #1: 8.00 am - 17.00pm							
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
<i>Cambios de referencia</i>	3	0	2	1	1	0	0
<i>Semana 1</i>	3 5	14	29	21	23	11	8
<i>Cambios de referencia</i>	2	3	0	2	1	0	0
<i>Semana 2</i>	2 7	37	10	24	18	9	10

A partir de estas mediciones se tuvo una idea de cuanto gas consume el payloader y poder tener como comparar a futuro. Para esto, se capacitó al operador de payloader para que llene un formato donde se registren las veces que va a recoger producto cada hora, se la puede apreciar en el apéndice D.

2.1.4 Prueba de normalidad

Para la prueba de normalidad se realizaron dos (Figura 2.6 y Figura 2.7) se usó los datos recolectados en la serie de tiempo de la definición del problema desde enero a mayo del 2023:

- H_0 : Los datos siguen una distribución normal.
- H_1 : Los datos no siguen una distribución normal.

Figura 2.6 Prueba de normalidad para variable de respuesta

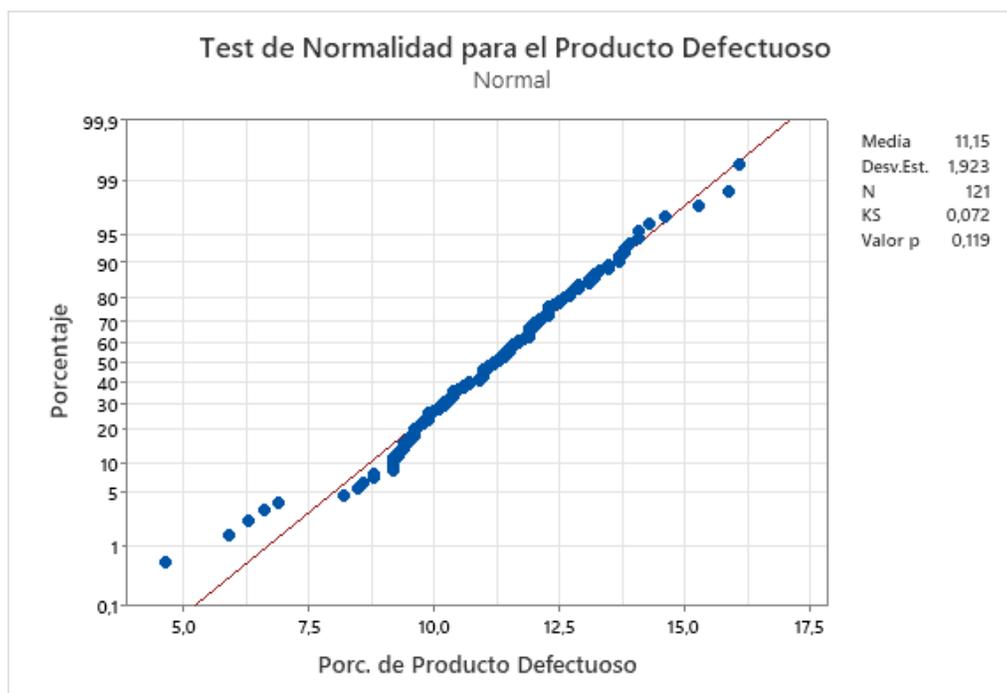
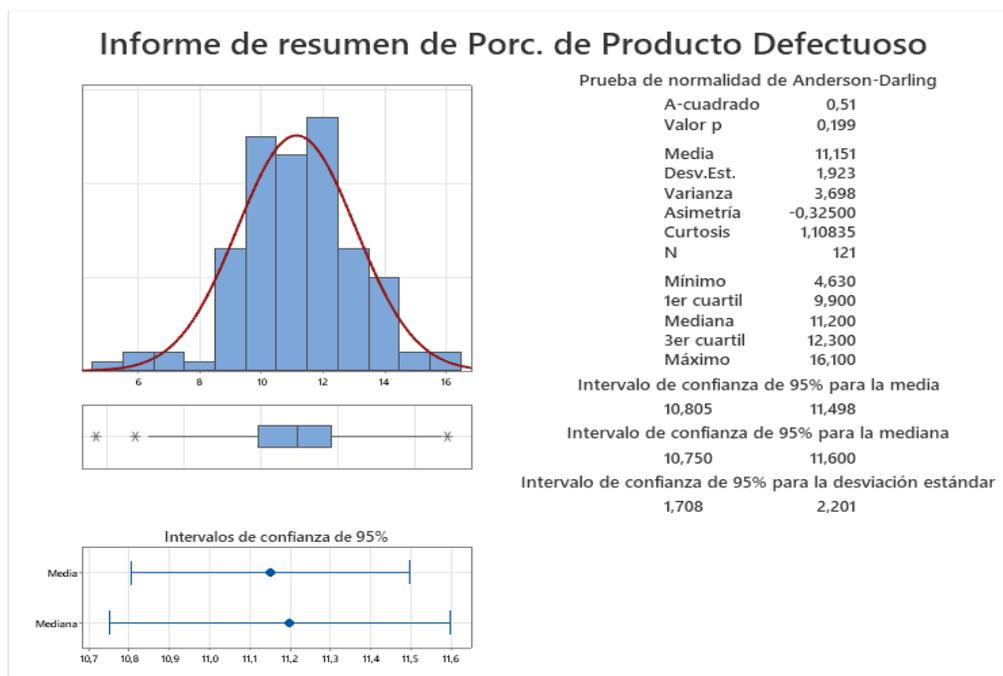


Figura 2.7 Prueba de Normalidad Anderson-Darling

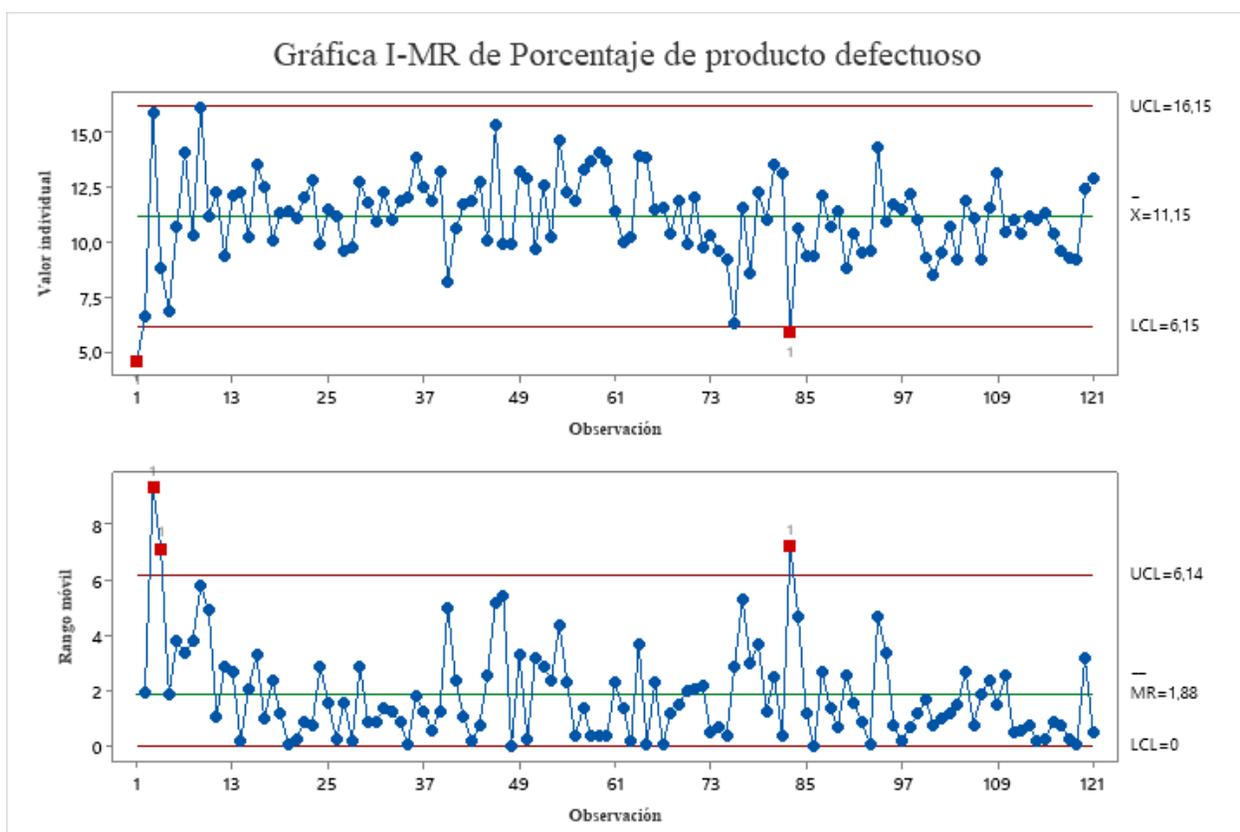


Al ser el valor-p mayor al valor de significancia 0.05 se acepta la hipótesis nula por lo cual los datos se ajustan a una distribución normal.

2.1.5 Gráfica de control

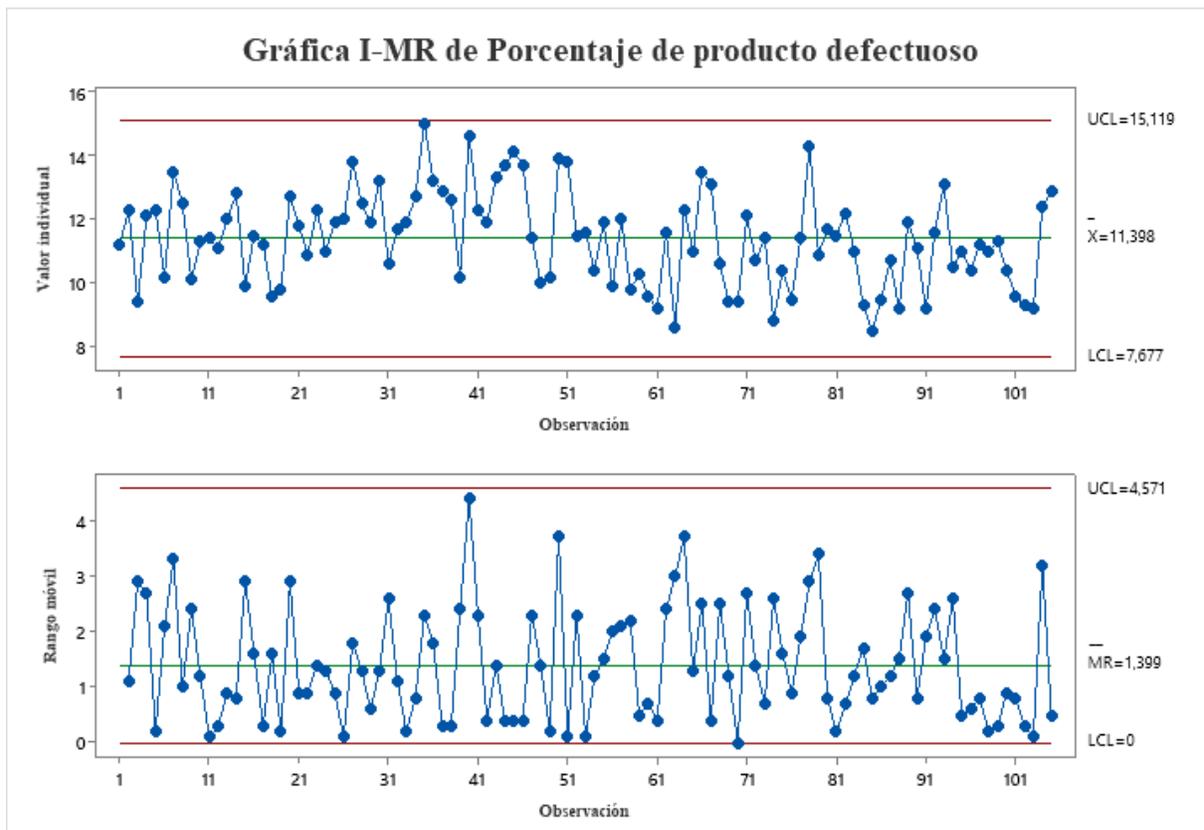
Para conocer el estado del proceso y la variabilidad inmersa en el porcentaje de producto defectuoso se utilizó la gráfica de control I-MR debido a que los datos son observaciones individuales (figura 2.8).

Figura 2.8 Carta de control individual y rango móvil fuera de control estadístico



Se evidencia que existen datos fuera de los límites de control por lo cual el proceso no está bajo control estadístico, esos datos tienen una causa asignable y es que existieron días en las que las máquinas pararon debido al cambio de color lo que generó que no se hallara producto defectuoso en esas máquinas.

Figura 2.9 Carta de control individual y rango móvil bajo control estadístico

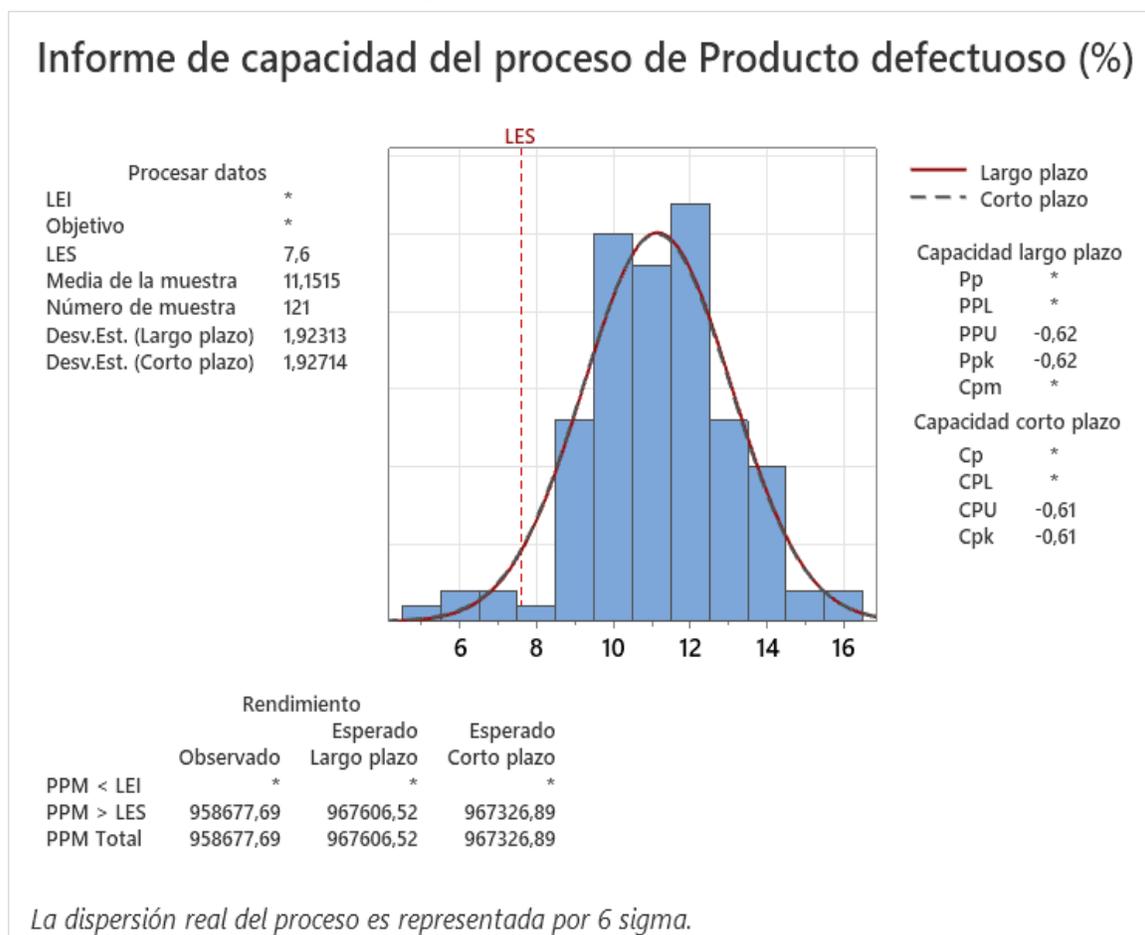


Al eliminar las observaciones que existieron por las causas asignables, el proceso se encuentra bajo control estadístico y es estable (figura 2.9). Por la tanto, se procedió a realizar el análisis de capacidad para saber la capacidad real del proceso.

2.1.6 Análisis de capacidad

Para el análisis de capacidad se estableció un límite de especificación superior el cual era 13%. Se observa el análisis en la figura 2.10.

Figura 2.10 Análisis de capacidad del proceso



Se obtuvo un $cpk = -0.62$, lo que indica que el proceso no está centrado y no es capaz.

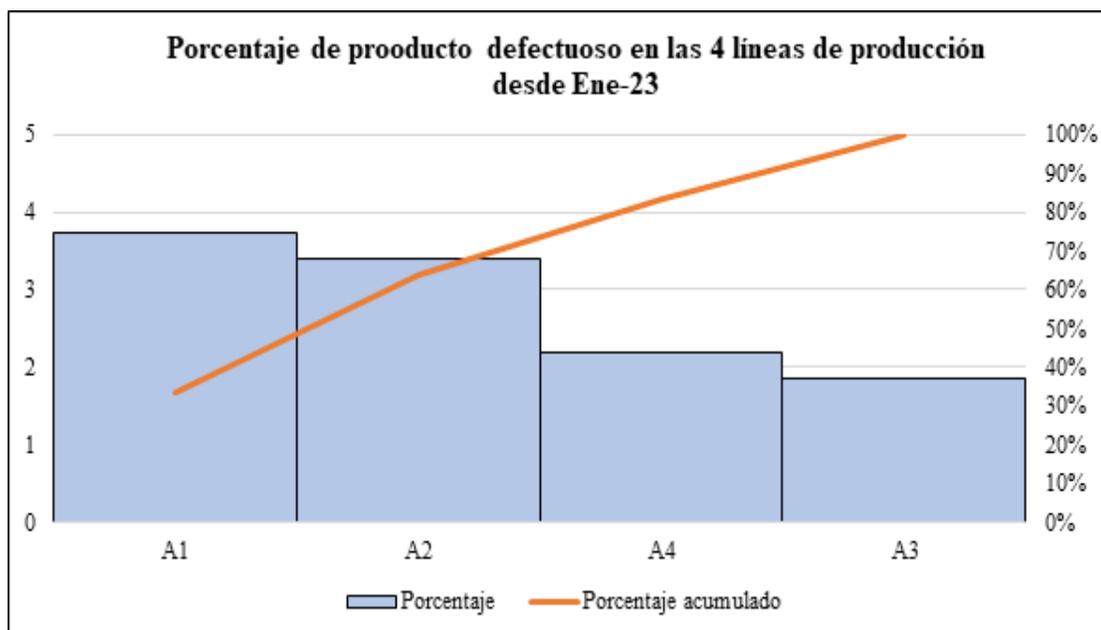
2.1.7 Estratificación

Se estableció un factor de estratificación de producto defectuoso generado por cada línea de producción. Se tomaron los datos de la tabla 2.9 para realizar un pareto como se observa en la figura 2.11.

Tabla 2.9 Data para construcción de pareto

Producto defectuoso por máquina	Porcentaje promedio de producto defectuoso	Porcentaje	Porcentaje acumulado
A1	3.74	33%	33%
A2	3.4	30%	64%
A4	2.2	20%	83%
A3	1.86	17%	100%

Figura 2.11 Pareto líneas de producción



Entre la línea de producción A1 y A2 se concentra el 64% de producto defectuoso, sin embargo, al existir falta de demanda la línea de producción A2 estará sin producir por lo que no fue considerada para el problema enfocado.

2.1.8 Problema enfocado

El problema fue enfocado en la línea de producción A1 que es la que más producto defectuoso genera:

- “Hay un alto porcentaje de producto defectuoso en la línea de producción A1 desde enero de 2023. El porcentaje promedio de producto defectuoso es 3.01% cuando el mínimo registrado ha sido del 2%.”

2.2 Analizar

2.2.1 Just do it

Se estableció un plan de soluciones el cual fue efectuado de manera rápida y sencilla, mejorando el proceso y reduciendo el producto defectuoso generado, como se observa en la tabla 2.10.

Tabla 2.10 *Just Do It*

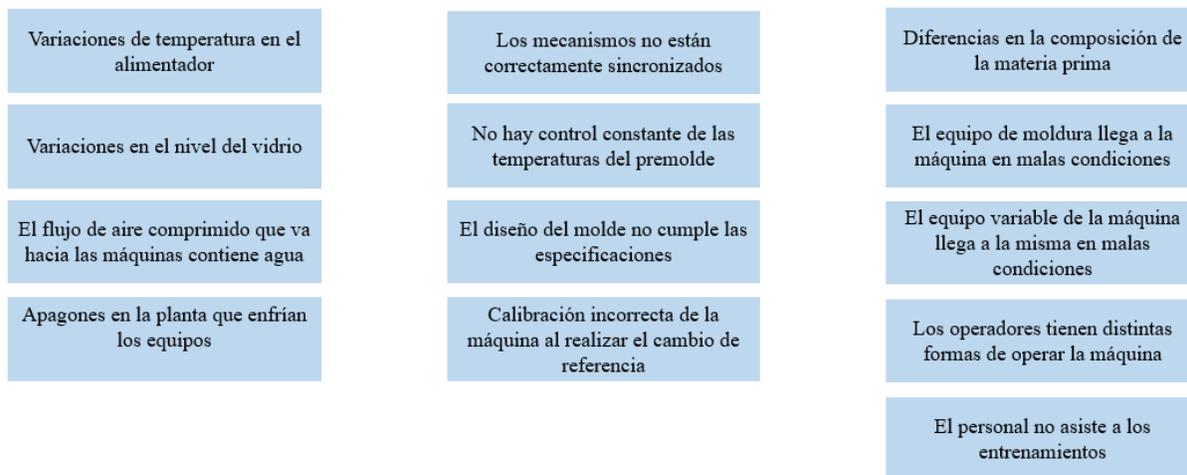
¿Qué acciones necesitan ser implementadas?	¿Porque es importante implementar la acción?	¿Quién es el responsable de ejecutar la acción?	¿Dónde debería ser implementada la acción?	¿Cuándo la acción debe ser implementada?	Estado
Subir la altura de la tijera que corta las gotas de vidrio	Porque una gota alargada o muy corta no permite que los moldes puedan hacer la botella de manera correcta y genera defectos	Área de reparación de máquinas	Línea de producción A1- parte de corte	Junio.2023	Completada

El hecho de que las tijeras no tengan la altura ajustada correctamente provocaba que las gotas de vidrio no sean cortadas de manera uniforme por lo cual al llegar a los moldes existían exceso de material o las botellas no tenían el grosor deseado por lo cual salían defectuosas, con el ajuste de la altura permitió que las gotas sean cortadas correctamente y al entrar a los moldes formen la botella sin defectos.

2.2.2 Lluvia de ideas

Se realizó reuniones con los clientes internos de la compañía para generar una lluvia de ideas (figura 2.12) de las posibles causas que estén generando producto defectuoso en la línea de producción A1:

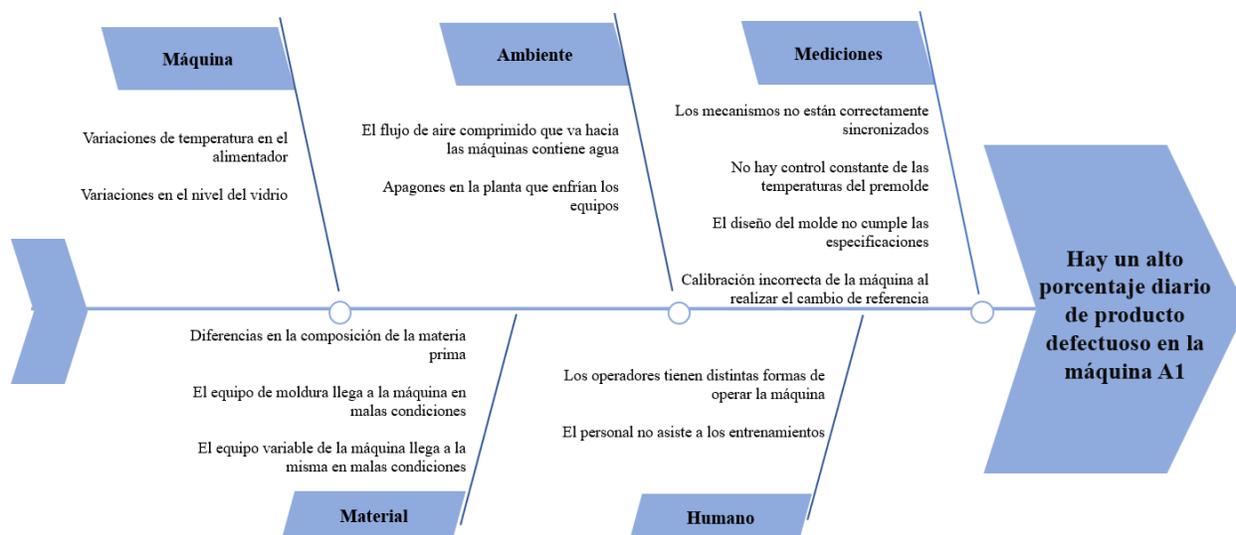
Figura 2.12 Brainstorming



2.2.3 Diagrama Ishikawa

Una vez conocidas las posibles causas del problema, se realizó el diagrama de Ishikawa con el método de las 5M: medición, maquinaria, medio ambiente, material, mano de obra como se observa en la figura 2.13.

Figura 2.13 Diagrama Ishikawa



2.2.4 Matriz de causa y efecto

En conjunto con los clientes internos de la compañía se cuantificó la importancia de las causas como en la figura 2.14, se utilizó el sistema de ponderación que se detalla en la tabla 2.11.

Tabla 2.11 Tabla de ponderación de correlación

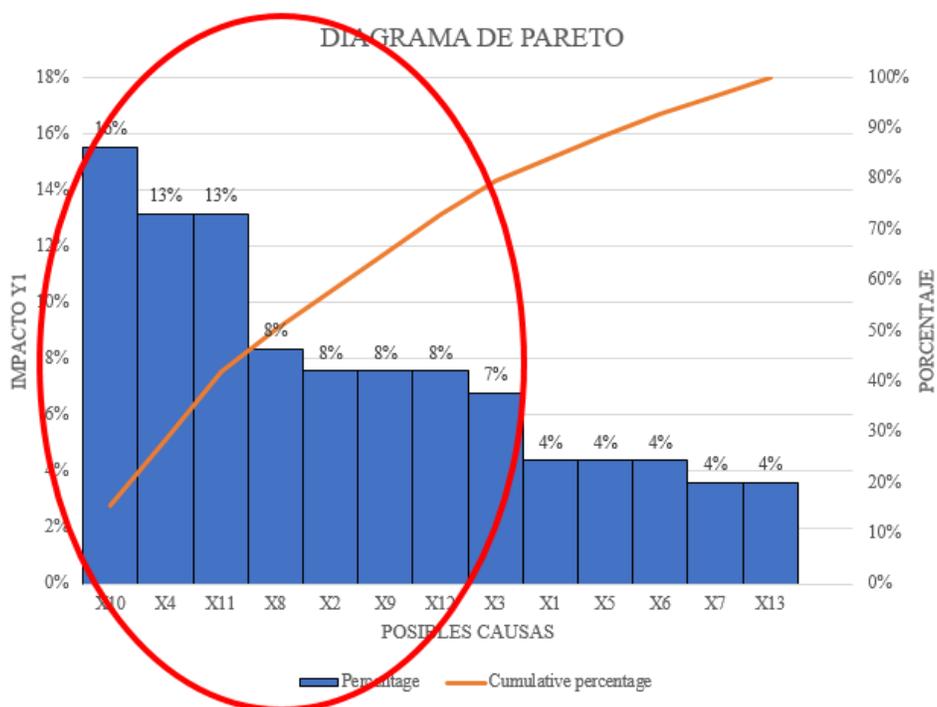
Puntaje	Niveles de relación
0	Sin correlación
1	Correlación muy baja
3	Correlación moderada
9	Correlación fuerte

Figura 2.14 Matriz causa y efecto

Matriz causa y efecto			Variables de salida (Y's)					Total
			Porcentaje de producto defectuoso en línea A1					
Variables de entrada/ Causas potenciales	VARIABLE X	CAUSAS	PRODUCTION MANAGER	LINE LEADER	JOB CHANGE SENIOR COORDINATOR	A1 SPECIALIST	A1 OPERATOR	
	X1	El diseño del molde no cumple las especificaciones	3	3	1	3	1	110
	X2	Variaciones de temperatura en el alimentador	3	3	9	1	3	190
	X3	Los operadores tienen distintas formas de operar la máquina	9	3	1	1	3	170
	X4	Calibración incorrecta de la máquina al realizar el cambio de referencia	9	9	3	9	3	330
	X5	Diferencias en la composición de la materia prima	3	3	1	1	3	110
	X6	Variaciones en el nivel del vidrio	1	3	3	3	1	110
	X7	Los mecanismos no están correctamente sincronizados	1	1	3	3	1	90
	X8	El equipo de moldura llega a la máquina en malas condiciones	3	3	9	3	3	210
	X9	El equipo variable de la máquina llega a la misma en malas condiciones	3	9	3	1	3	190
	X10	El flujo de aire comprimido que va hacia las máquinas contiene agua	9	9	3	9	9	390
	X11	No hay control constante de las temperaturas del premolde	9	3	9	3	9	330
	X12	El personal no asiste a los entrenamientos	3	9	3	3	1	190
	X13	Apagones en la planta que enfrían los equipos	1	3	1	1	3	90

Con esta información se procedió a hacer un diagrama de Pareto figura 2.15 para conocer cuáles son las causas que representan el 80% del problema y estas se centran en 8 causas:

Figura 2.15 Diagrama de Pareto causas potenciales



2.2.5 Diagrama Impacto-Control

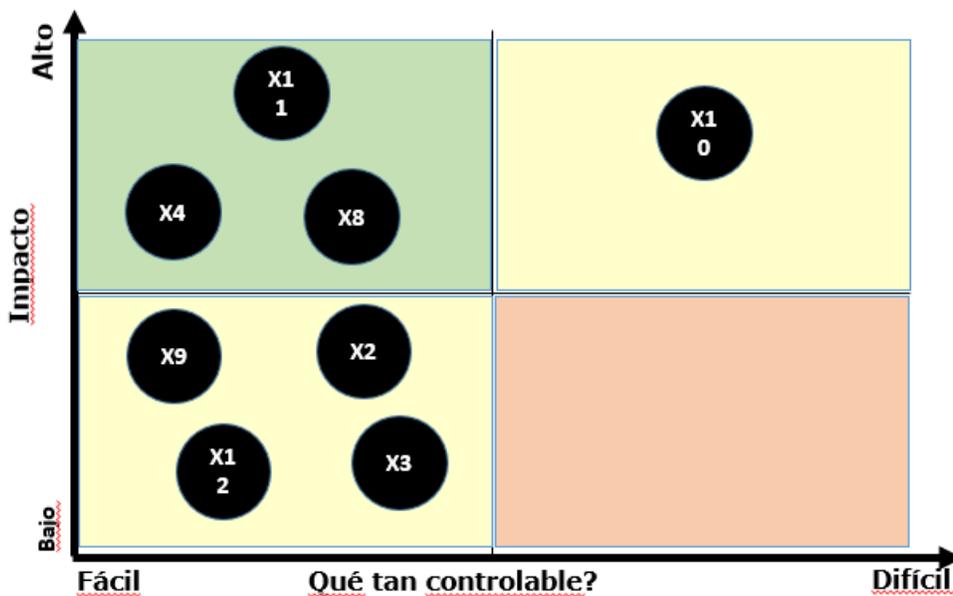
En la matriz de ponderación de causas se clasificaron las variables de entrada acordes a su impacto sobre el problema enfocado y que tan controlable es. Las causas potenciales que salieron del Pareto de la tabla 2.12 se muestran a continuación, así como la clasificación que tuvieron en la matriz de la figura 2.16.

Tabla 2.12 Diagrama de impacto-control

VARIABLE X	CAUSAS
X10	La presión del aire comprimido que entra a la máquina tiene agua
X4	Calibración incorrecta de las máquinas en el cambio de referencia
X11	No hay control constante de las temperaturas del premolde
X8	El equipo de moldura llega a la máquina en malas condiciones
X2	Variaciones de temperatura en el alimentador

- X9** El equipo variable de la máquina llega a la misma en malas condiciones
- X12** El personal no asiste a los entrenamientos
- X3** Los operadores tienen distintas formas de operar la máquina

Figura 2.16 Matriz control-impacto



Con la información brindada por la matriz se eligieron aquellas causas que se encuentran en el primer cuadrante, es decir, las que tienen alto impacto y son fáciles de controlar, obteniendo así 3 causas las que posteriormente fueron analizadas.

2.2.6 Plan de verificación de causas

Seleccionadas las causas, se elaboró el plan de verificación de causa (Tabla 2.13) en el cual se evidencia el impacto de las causas en el problema enfocado y como estas serán medidas:

Tabla 2.13 Plan de verificación de causas

Variable X's	Causas potenciales X's	Teoría de impacto	¿Como verificarlo?
X4	Calibración incorrecta de la máquina al realizar el cambio de referencia	Cuando no son calibradas correctamente después del cambio de referencia, la cantidad de producto defectuoso aumenta durante el día hasta que se arregle el problema	Prueba de hipótesis entre medias
X8	Equipo de moldura llega a la máquina en mal estado cuando se realizan los cambios de referencias	Cuando el equipo de moldura entra a la máquina efectuado el cambio de referencia se genera una gran cantidad de producto defectuoso	Gemba, observación
X11	No existe un control constante en la temperatura de los premoldes	La temperatura de los premoldes son medidas en cada turno, pero a lo largo del día comienza a enfriarse o a incrementar su temperatura por lo cual se genera producto defectuoso	Muestreo con prueba T-student

- **X4: Calibración incorrecta de la máquina al realizar el cambio de referencia**

Para verificar esta variable se realizó una prueba de hipótesis entre medias (figura 2.18), antes de realizar la prueba se comprobó la normalidad (figura 2.17) obteniendo un valor-p mayor a 0.15 por lo cual los datos se comportan como normales, se usó data relacionada a los productos defectuosos que se generan en los días que calibran las máquinas, y en los días que no se calibran las máquinas debido a que no hay cambios de referencia (tabla 2.14).

Tabla 2.14 Porcentaje de producto defectuoso de la línea 1 con y sin cambios de referencia

Porcentaje de producto defectuoso en la línea A1		
Data	Días con cambios de referencia	Días sin cambios de referencia
19-jun	4.3	

20- jun	4.4	
21- jun		1.5
22- jun	2.6	
23- jun	4.7	
24- jun	4.4	
25- jun		1.6
26- jun	2.5	
27- jun		1.5
28- jun		1.1
29- jun	5.2	
30- jun	3.7	
1-jul		2.1
2-jul		1.9

- H_0 : no existe diferencia entre medias.
- H_1 : existe diferencias entre medias.

Figura 2.17 Test de normalidad

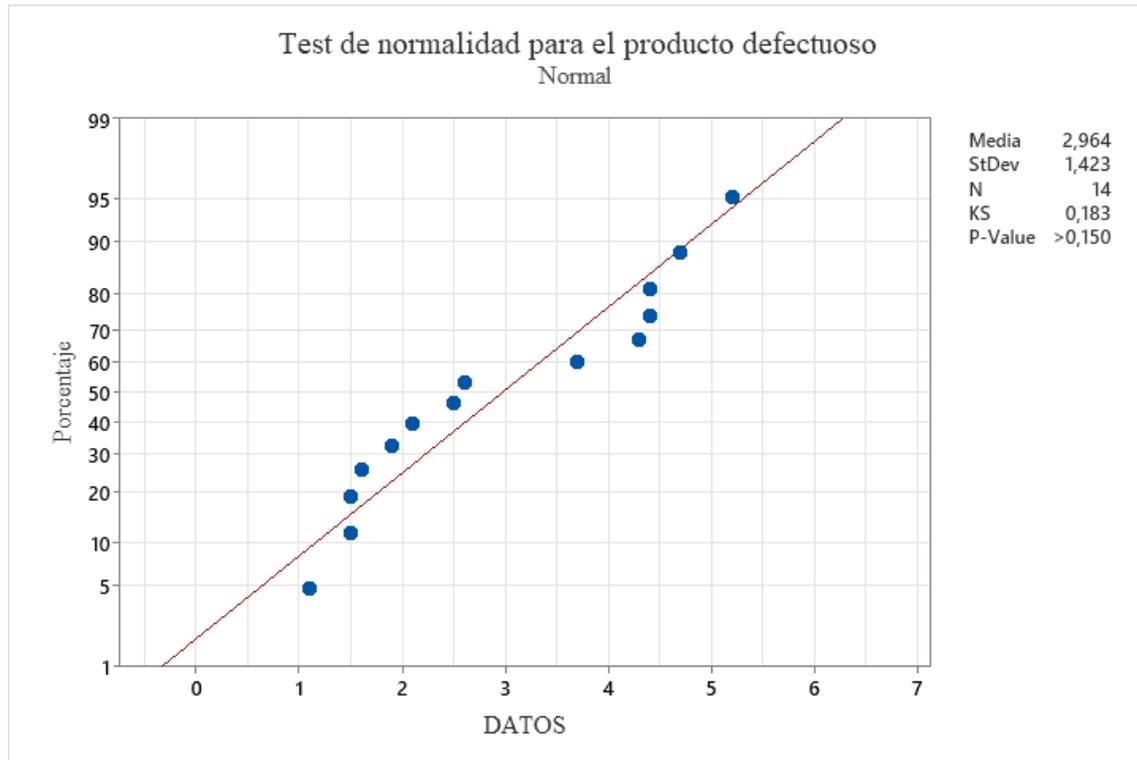


Figura 2.18 Prueba de hipótesis de diferencia de medias

Dos-Muestras T-Test y IC: DÍAS CON SET-UP; DAYS SIN SET-UP

Method

μ_1 : population mean of DAYS WITH SET-UP
 μ_2 : population mean of DAYS WITH NO SET-UP
 Difference: $\mu_1 - \mu_2$

Equal variances are not assumed for this analysis.

Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
DAYS WITH SET-UP	8	3,975	0,974	0,34
DAYS WITH NO SET-UP	6	1,617	0,349	0,14

Estimation for Difference

Difference	95% CI for Difference
2,358	(1,516; 3,201)

Test

Null hypothesis $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
 Alternative hypothesis $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

T-Value	DF	P-Value
6,33	9	0,000

Se obtuvo un valor-p igual a 0 el cual es inferior al nivel de significancia por lo cual se rechazó la hipótesis nula lo que implica que si existe diferencias entre las medias por los cual en los días que hubo cambios de referencia se generaron más producto defectuoso.

- **X8: Equipo de moldura llegan a la máquina en mal estado cuando se realizan los cambios de referencias**

Esta variable fue verificada mediante Gemba u observación directa, consiguiendo los siguiente ideas claves:

1. Los moldes en malas condiciones llegan a la máquina justo antes de realizar el cambio de referencia.
2. No existe un control previo de inspección para estos equipos.
3. La máquina A1 comienza a producir y los defectos incrementan.
4. Los equipos de moldes salen de la máquina para ser reparados lo que genera retraso en la producción y botellas defectuosas.

Al encontrarse el equipo de moldura en mal estado no permiten que las botellas se formen correctamente generando productos defectuosos, por lo cual es una variable significativa para el problema.

- **X11: No existe un control constante en la temperatura de los premoldes**

Para analizar esta causa se realizó una prueba t-student, en la cual previamente se analizó la normalidad de los datos (figura 2.19), para poder aplicar una estadística paramétrica como lo es la prueba t-student, según las especificaciones de la empresa la temperatura de los premoldes debe alcanzar las 380°C.

- $H_0: n=380^{\circ}\text{C}$.
- $H_1: n\neq 380^{\circ}\text{C}$.

Figura 2.19 Test de normalidad para temperatura

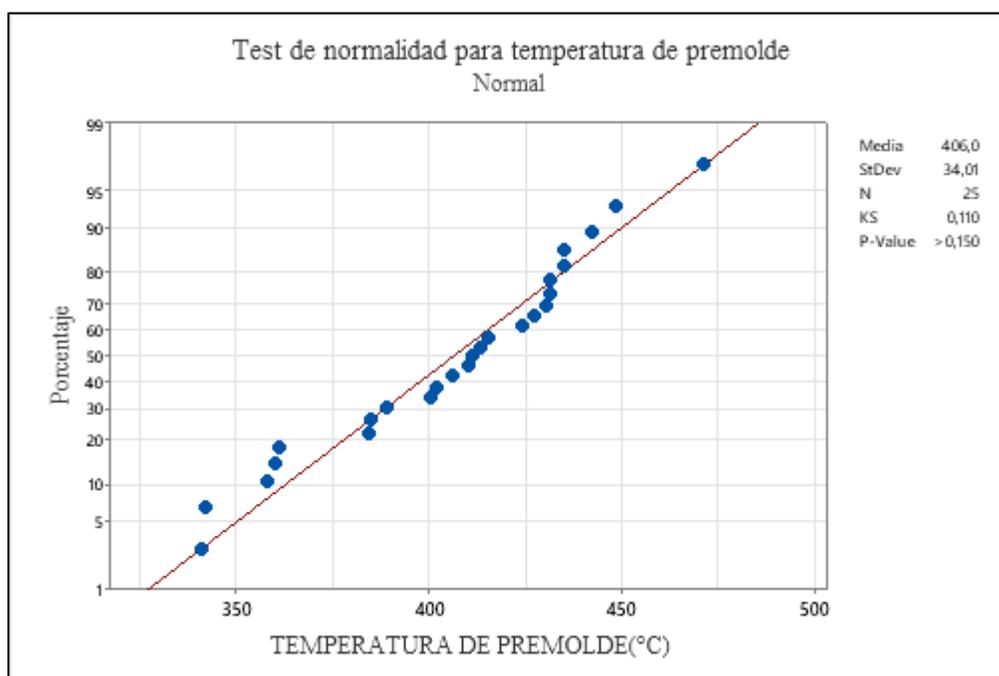
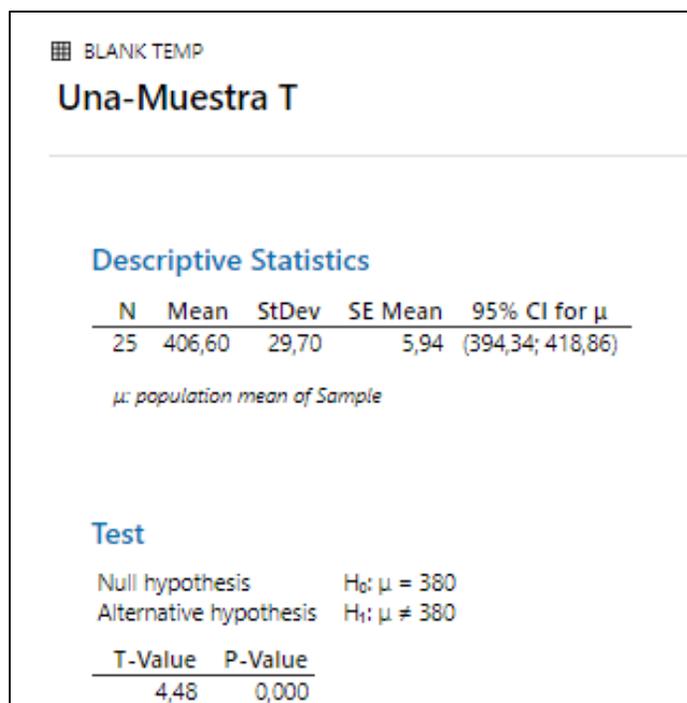


Figura 2.20 Prueba T-student



El valor-p obtenido es menor al nivel de significancia 0.05 se rechaza la hipótesis nula (figura 2.20), lo que indica que los moldes no alcanzan la temperatura deseada por lo cual es una variable significativa para el problema.

2.2.7 5 Por qué

Una vez conocidas las causas potenciales y el impacto que tienen sobre la variable de respuesta, se procedió a encontrar las causas raíz (tabla 2.15).

- **X4: Calibración incorrecta de la máquina al realizar el cambio de referencia**

Tabla 2.15 Análisis 5 Por que X4

Round 1	Round 2	Round 3
¿Por qué las máquinas se calibran incorrectamente cuando se realizan los cambios de referencia?	¿Por qué el grupo de cambio no deja bien calibrada las secciones?	¿Por qué el grupo de cambio realizan las calibraciones en base a su experiencia?
Porque el grupo de cambio no deja bien calibrada las secciones	Porque el grupo de cambio realizan las calibraciones en base a su experiencia	Porque hay pocos calibres para todas secciones de la máquina
	¿Por qué el grupo de cambio trabajan con diferentes parejas constantemente?	¿Por qué no existe una estandarización para la asignación de parejas en los cambios de referencias?
Porque el grupo de cambio trabajan con diferentes parejas constantemente	Porque no existe una estandarización para la asignación de parejas en los cambios de referencias	Porque las parejas son asignadas aleatoriamente
		Causa Raíz

- **X8: Equipo de moldura llegan a la máquina en mal estado cuando se realizan los cambios de referencias**

Tabla 2.16 Análisis 5 porque X8

Round 1	Round 2	Round 3
¿Por qué los equipos de moldura llegan a la máquina en mal estado cuando se realizan los cambios de referencias?	¿Por qué la reparación del equipo de moldura falla?	¿Por qué el grupo de cambio realizan las calibraciones en base a su experiencia?
Porque la reparación del equipo de moldura falla	Porque los reparadores de moldes tienen mucho trabajo asignado	Porque en el taller de moldes se encuentra desorganizado con poca planificación
	¿Por qué el grupo de cambio trabajan con diferentes parejas constantemente?	¿Por qué no existe un plan de verificación de los equipos de moldura?
Porque no existe un control previo de los equipos de moldura	Porque no existe un plan de verificación de los equipos de moldura	Porque los equipos de moldura son retirados de las estanterías un día antes del cambio de referencia

- **X11: No existe un control constante en la temperatura de los premoldes**

Tabla 2.17 Análisis 5 porque X11

Round 1	Round 2	Round 3
¿Por qué no existe un control constante en la temperatura de los premoldes?	¿Por qué los operadores chequean la temperatura solo una vez en el turno o cuando los problemas aparecen?	¿Por qué las termocuplas se encuentran fuera de los premoldes?
Porque los operadores chequean la temperatura solo una vez en el turno o cuando los problemas aparecen	Porque las termocuplas se encuentran fuera de los premoldes	Porque el diseño de los premoldes impide que la termocupla ingrese en el

2.3 Mejora

Una vez finalizada la etapa de análisis y conocidas las causas raíz del problema, se realizó reuniones con el equipo de producción y el coordinador de cambios de referencias para establecer una lluvia de idea de las posibles soluciones (Tabla 2.18).

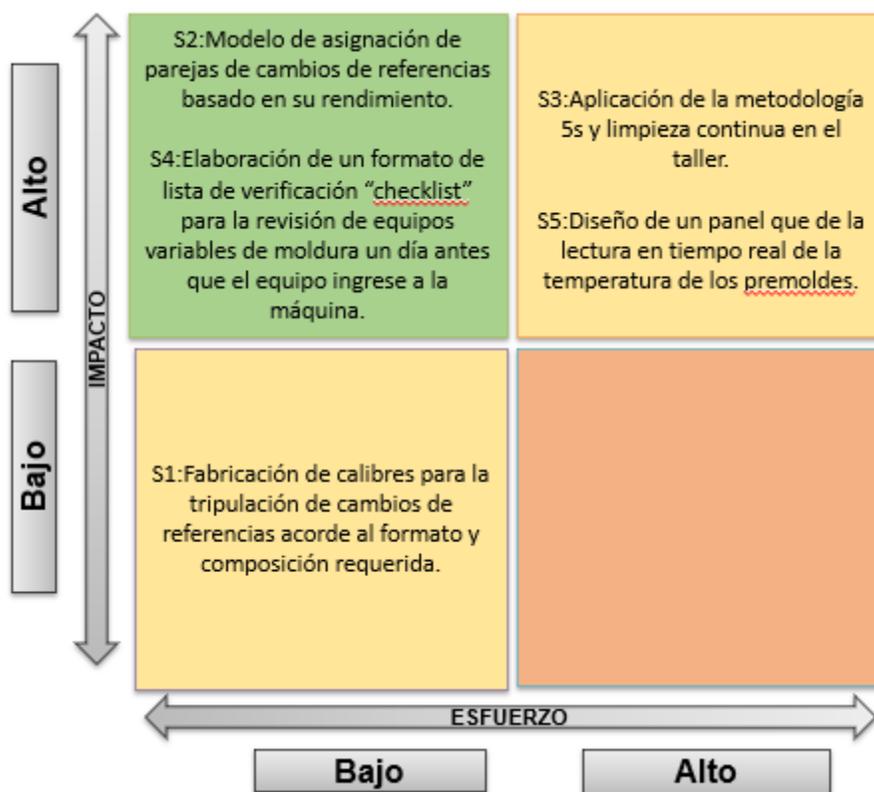
2.3.1 Propuesta de soluciones

Tabla 2.18 Propuesta de soluciones

Problema enfocado	Causas Raices	Soluciones
Y1: Existe un alto porcentaje de producto defectuoso en la línea de producción A1 desde el 23 de enero del 2023.El porcentaje promedio de producto defectuoso es 3.71% cuando el mínimo registrado ha sido 2.01%	Hay pocos calibres para todas secciones de la máquina.	S1: Fabricación de calibres para la tripulación de cambios de referencias acorde al formato y composición requerida.
	La asignación de parejas se realiza aleatoriamente.	S2: Modelo de asignación de parejas de cambios de referencias basado en su rendimiento.
	El taller de moldes se encuentra desorganizado con poca planificación.	S3: Aplicación de la metodología 5s y limpieza continua en el taller.
	Los equipos de moldura son retirados de las estanterías un día antes del cambio de referencia.	S4: Elaboración de un formato de lista de verificación “checklist” para la revisión de equipos variables de moldura un día antes que el equipo ingrese a la máquina.
	El diseño de los premoldes restringe que la termocupla ingrese en él.	S5: Diseño de un panel que de la lectura en tiempo real de la temperatura de los premoldes.

En conjunto con el coordinador de cambios de referencia se realizó una evaluación de priorización de soluciones acorde al impacto y esfuerzo que requiere la aplicación de ellas (Figura 2.21).

Figura 2.21 Matriz Impacto-Esfuerzo de las soluciones



2.3.2 Análisis de costos

Se procedió con la evaluación financiera en la cual solo se consideraron los costos fijos, es decir, los costos de compra del material, y el costo de implementación, con la finalidad de conocer la viabilidad de la aplicación de las soluciones (Tabla 2.19).

Tabla 2.19 Análisis de costos

#	Soluciones	Horas Totales	Costo material	Costo de implementación	Costo total
1	Fabricación de calibres para la tripulación de cambios de referencias acorde al formato y composición requerida.	8	\$850	\$0,00	\$850

2	Modelo de asignación de parejas de cambios de referencias basado en su rendimiento.	12	\$0,00	\$70,35	\$70,35
3	Aplicación de la metodología 5s y limpieza continua en el taller.	72	\$500	\$250	\$750
4	Elaboración de un formato de lista de verificación “checklist” para la revisión de equipos variables de moldura un día antes que el equipo ingrese a la máquina.	3	\$0,00	\$17,58	\$17,58
5	Diseño de un panel que de la lectura en tiempo real de la temperatura de los premoldes.	8	\$2000	\$6702,37	\$8702,37

En la tabla 2.19 se evidencia que la solución 5 es la más costosa, sin embargo, se recibió el visto bueno por parte de la empresa para su implementación al igual que las otras soluciones esto debido a que tienen un alto impacto en la variable de respuesta (Y) a excepción de solución 1 que tiene un bajo impacto pero la adquisición de los calibradores es necesaria, con ellas se reducirá el porcentaje de producto defectuoso y permitirá que el equipo de trabajadores sea más preventivos y menos reactivos.

2.3.3 Desarrollo plan de implementación

En esta sección se explica las soluciones planteadas para eliminar las causas raíz, el costo de su implementación y quienes son los responsables de ejecutarla como se visualiza en la figura 2.22.

Figura 2.22 Plan de implementación

Causa Raíz	¿Qué?	¿Por qué?	¿Cómo?	¿Dónde?	Responsable	¿Cuánto?	¿Cuándo?	Estado
Hay pocos calibres para todas secciones de la máquina.	Fabricación de calibres para la tripulación de cambios de referencias acorde al formato y composición requerida.	Al no tener suficientes calibradores provoca que la tripulación de cambios de referencias haga las calibraciones basadas en su experiencia	Cotización y adquisición de calibres para las referencias (botellas) puestas en la línea de producción A1	Área de formación	Líderes del proyecto, tripulación de cambios de referencias, coordinador de cambios de referencias	\$850	19/07/2023	Completo
La asignación de parejas se realiza aleatoriamente.	Modelo de asignación de parejas de cambios de referencias basado en su rendimiento.	Algunos miembros de la tripulación de cambios de referencias tienen un mayor rendimiento con una pareja que con otra	Modelo de asignación creado en Python considerando parámetros de eficiencia durante el set-up	Área de formación	Líderes del proyecto	\$70,35	31/07/2023	Completo
El taller de moldes se encuentra desorganizado con poca planificación.	Aplicación de la metodología 5s y limpieza continua en el taller.	Al conseguir un taller organizado incrementará la productividad del taller	Estableciendo una patrulla 5s para garantizar un taller de moldes más limpio y mejor organizado	Taller de moldes	Líderes del Proyecto, coordinador del taller de moldes	\$750	07/08/2023	Completo
Los equipos de moldura son retirados de las estanterías un día antes del cambio de referencia.	Elaboración de un formato de lista de verificación "checklist" para la revisión de equipos variables de moldura un día antes que el equipo ingrese a la máquina.	El ingreso de equipos de moldura en mal estado incrementa los defectos	Creación de un formato que permita a los reparadores de moldes la revisión detallada de sus equipos y encontrar cualquier inconsistencia	Taller de moldes	Líderes del Proyecto, coordinador del taller de moldes	\$17,58	15/07/2023	Completo
El diseño de los premoldes restringe que la termocupla ingrese en él.	Diseño de un panel que de la lectura en tiempo real de la temperatura de los premoldes.	Los problemas con las temperaturas de los premoldes son acciones correctivas y no preventivas	Con sensores dentro de los premoldes que emitirán una señal la cual será enviada a los paneles y mostrará la temperatura en tiempo real	Área de formación	Líderes del proyecto, coordinador de cambios de referencias	\$7900	02/08/2023	Completo

2.4 Implementación

2.4.1 Implementación Solución 1: Fabricación de calibres para la tripulación de cambios de referencias acorde al formato y composición requerida

Un calibrador es un instrumento usado en la técnica de medición, control y regulación de los equipos variables de moldura con el fin de cumplir con los lineamientos y normas de calidad. Al tener pocos calibradores disponibles para la tripulación de cambios de referencias les dificultaba el trabajo, por lo cual para no retrasar el proceso y tener los equipos listos, calibraban en base a su experiencia, lo que hacía que el equipo variable ingresa a máquina sin estar calibrado al 100% lo que generaba producto defectuoso. Por lo cual se optó por la consecución de más calibres (figura2.23) para que los trabajadores puedan ejecutar su trabajo con mayor precisión y eficiencia.

Figura 2.23 Calibres para máquina



2.4.2 Implementación Solución 2: Modelo de asignación de parejas de cambios de referencias basado en su rendimiento

La asignación de parejas se realizaba de manera aleatoria sin tomar en consideración el desempeño de cada uno de los operarios en las diferentes secciones de la zona molde-premolde (8 secciones), ya que trabajar en las secciones que están hacia la derecha son más complejas que las secciones de la izquierda, esto se debe al flujo del proceso, y es que todas las botellas son desplazadas en una banda transportadora y este movimiento se da hacia la derecha, lo que resulta que las secciones de la derecha sean más calientes. Por eso, se realizó un modelo de asignación de parejas para conocer aquellas que se desempeñan de mejor manera en las secciones más complejas para que el set-up se realice acorde a los tiempos de cambios físicos y tiempos de calificación establecidos según los tipos de cambios de referencia, presentado en la figura 2.24.

Figura 2.24 Salida de modelo en python

<p>Técnico: Jesús</p> <p>Zona F -0.0</p> <p>Zona H -0.0</p> <p>Zona D 1.0</p> <p>Zona MD 0.0</p>	<p>Técnico: Dicao</p> <p>Zona F 1.0</p> <p>Zona H -0.0</p> <p>Zona D -0.0</p> <p>Zona MD 0.0</p>	<p>Técnico: Jesús</p> <p>Zona F -0.0</p> <p>Zona H 0.0</p> <p>Zona D -0.0</p> <p>Zona MD 1.0</p>	<p>Técnico: Dicao</p> <p>Zona F 1.0</p> <p>Zona H -0.0</p> <p>Zona D -0.0</p> <p>Zona MD 0.0</p>	<p>Técnico: Jesús</p> <p>Zona F -0.0</p> <p>Zona H -0.0</p> <p>Zona D 1.0</p> <p>Zona MD 0.0</p>	<p>Técnico: Dicao</p> <p>Zona F -0.0</p> <p>Zona H 0.0</p> <p>Zona D -0.0</p> <p>Zona MD 0.0</p>
<p>Técnico: Victor</p> <p>Zona F -0.0</p> <p>Zona H 0.0</p> <p>Zona D -0.0</p> <p>Zona MD 1.0</p>	<p>Técnico: Luis</p> <p>Zona F -0.0</p> <p>Zona H 0.0</p> <p>Zona D -0.0</p> <p>Zona MD 1.0</p>	<p>Técnico: Victor</p> <p>Zona F -0.0</p> <p>Zona H 0.0</p> <p>Zona D 1.0</p> <p>Zona MD -0.0</p>	<p>Técnico: Luis</p> <p>Zona F 0.0</p> <p>Zona H 1.0</p> <p>Zona D -0.0</p> <p>Zona MD -0.0</p>	<p>Técnico: Victor</p> <p>Zona F -0.0</p> <p>Zona H 1.0</p> <p>Zona D -0.0</p> <p>Zona MD 0.0</p>	<p>Técnico: Luis</p> <p>Zona F 1.0</p> <p>Zona H -0.0</p> <p>Zona D 0.0</p> <p>Zona MD 1.0</p>
<p>Técnico: Joel</p> <p>Zona F -0.0</p> <p>Zona H 1.0</p> <p>Zona D 0.0</p> <p>Zona MD -0.0</p>	<p>Técnico: Villegas</p> <p>Zona F -0.0</p> <p>Zona H -0.0</p> <p>Zona D 1.0</p> <p>Zona MD 0.0</p>	<p>Técnico: Joel</p> <p>Zona F 1.0</p> <p>Zona H -0.0</p> <p>Zona D -0.0</p> <p>Zona MD -0.0</p>	<p>Técnico: Villegas</p> <p>Zona F 0.0</p> <p>Zona H -0.0</p> <p>Zona D -0.0</p> <p>Zona MD 1.0</p>	<p>Técnico: Joel</p> <p>Zona F -0.0</p> <p>Zona H 0.0</p> <p>Zona D -0.0</p> <p>Zona MD 1.0</p>	<p>Técnico: Villegas</p> <p>Zona F -0.0</p> <p>Zona H -0.0</p> <p>Zona D 1.0</p> <p>Zona MD 0.0</p>
<p>Técnico: Velez</p> <p>Zona F 1.0</p> <p>Zona H 0.0</p> <p>Zona D -0.0</p> <p>Zona MD -0.0</p>	<p>Técnico: William</p> <p>Zona F -0.0</p> <p>Zona H 1.0</p> <p>Zona D 0.0</p> <p>Zona MD -0.0</p>	<p>Técnico: Velez</p> <p>Zona F 0.0</p> <p>Zona H 1.0</p> <p>Zona D 0.0</p> <p>Zona MD -0.0</p>	<p>Técnico: William</p> <p>Zona F 0.0</p> <p>Zona H -0.0</p> <p>Zona D 1.0</p> <p>Zona MD -0.0</p>	<p>Técnico: Velez</p> <p>Zona F 1.0</p> <p>Zona H -0.0</p> <p>Zona D -0.0</p> <p>Zona MD 0.0</p>	<p>Técnico: William</p> <p>Zona F 0.0</p> <p>Zona H 1.0</p> <p>Zona D -0.0</p> <p>Zona MD -0.0</p>

2.4.3 Implementación Solución 3: Aplicación de la metodología 5s y limpieza continua en el taller

En el taller de moldes no existían zonas predeterminadas para ubicar los equipos variables reparados y existían equipos variables de moldura obsoletos, es decir, que ya no eran usados, pero seguían ocupando espacio en el taller, por lo cual se procedió a realizar un 5S para limpiar y desocupar el taller de los equipos innecesarios, con el fin de evitar que por error estos equipos sean llevados a las máquinas. Tener una mejor organización dentro del taller y que todo operario pueda identificar a simple vista la zona de equipos de molduras reparados (Figura 2.25).

Figura 2.25 Aplicado en moldes



2.4.4 Implementación Solución 4: Elaboración de un formato de lista de verificación “checklist” para la revisión de equipos variables de moldura un día antes que el equipo ingrese a la máquina

Se elaboró un registro de todas las actividades previas que deben ser revisadas (Figura 2.26) antes que los equipos de molduras (moldes, premoldes y acabado) sean trasladados a las líneas de producción y se ejecute el cambio de referencia. Esto debido a que actualmente los equipos son reparados y puestos en percha para ser utilizados, pero el día previo al cambio no se vuelve a comprobar el estado de estos. Con dicho registro el coordinador de taller será la persona encargada de dar el visto bueno a los reparadores. De esta manera se lleva un mejor control y aseguramiento de que el equipo variable efectivamente llegue en buen estado.

Figura 2.26 Formato de checklist de actividades precambio

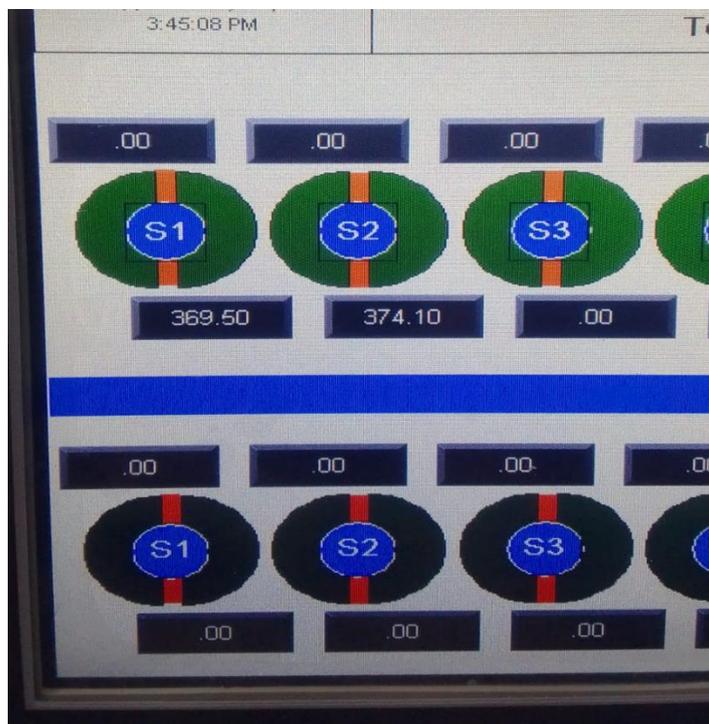
CHECKLIST ACTIVIDADES PRECAMBIO				
Referencia:	Maquina: A1	Fecha:	SI	NO
1 REVISION DE MOLDES				
Responsable Moldes	Revisar apriete de codos			
	Revisar angulo de codos			
	Revisar longitud de la manguera, enfriamiento, y estado abrasaderas			
	Sopletear moldes			
	Revisar desfogaderos destapados			
	Revisar numeracion de caras y fondos			
	Marcar molde con numero de fondo			
	Revisar fecha correspondiente			
Observaciones				
3 REVISION DE PREMOLDES				
Responsable Moldes	Premoldes en el horno			
	Premoldes pintados			
	Revisar numeracion de caras			
	Revisar deck (apriete y orientacion)			
Observaciones:				
2 REVISION DE TERMINADOS				
Responsable Moldes	Revisar estado de anillos			
	Revisar numeracion igual de boquilleras			
	Revisar numero de terminado (historia)			
	Revisar machos y tubos de enfriamiento			
	Revisar estado de camisas y agujas			
	Revisar exosto de sopladoras contra historia			
	Revisar estado de acople rapidos			
	Observaciones			

REVISADO POR

2.4.5 Implementación Solución 5: Diseño de un panel que de la lectura en tiempo real de la temperatura de los premoldes

El diseño actual de los premoldes no permiten la adaptación de las termocupas en su interior, por lo cual, si existe un problema de temperatura en ellos, es decir, que, si los premoldes no alcanzan la temperatura de 380°C, los operarios no podían identificar de manera inmediata las botellas con defectos, esta alerta se evidenciara una vez que las botellas lleguen a la máquina de inspección que es aproximadamente una hora después, por lo cual se generara producto defectuoso. Entonces, en conjunto con el equipo de mantenimiento eléctrico se modificaron los premoldes para adaptar las termocupas, consiguiendo así que se envié la información a los paneles de lectura (Figura 2.27) y tener un control visual de temperatura.

Figura 2.27 Temperatura en panel



Capítulo 3

3 Resultados y análisis

En esta sección se detallan los resultados obtenidos con la implementación de las soluciones previamente mencionadas, lo que permite hacer un comparativa versus la situación previa de la empresa y el beneficio brindado en los pilares de medio ambiente, social y financiero.

3.1 Resultados de las soluciones

3.1.1 Solución 1: Fabricación de calibres para la tripulación de cambios de referencias acorde al formato y composición requerida

Para esta solución, se tiene la adquisición de calibres necesarios para el setup correcto de la máquina. De esta forma, el personal de grupo de cambio encontró un patrón a la hora de calibrar, como se observa en figura 3.1.

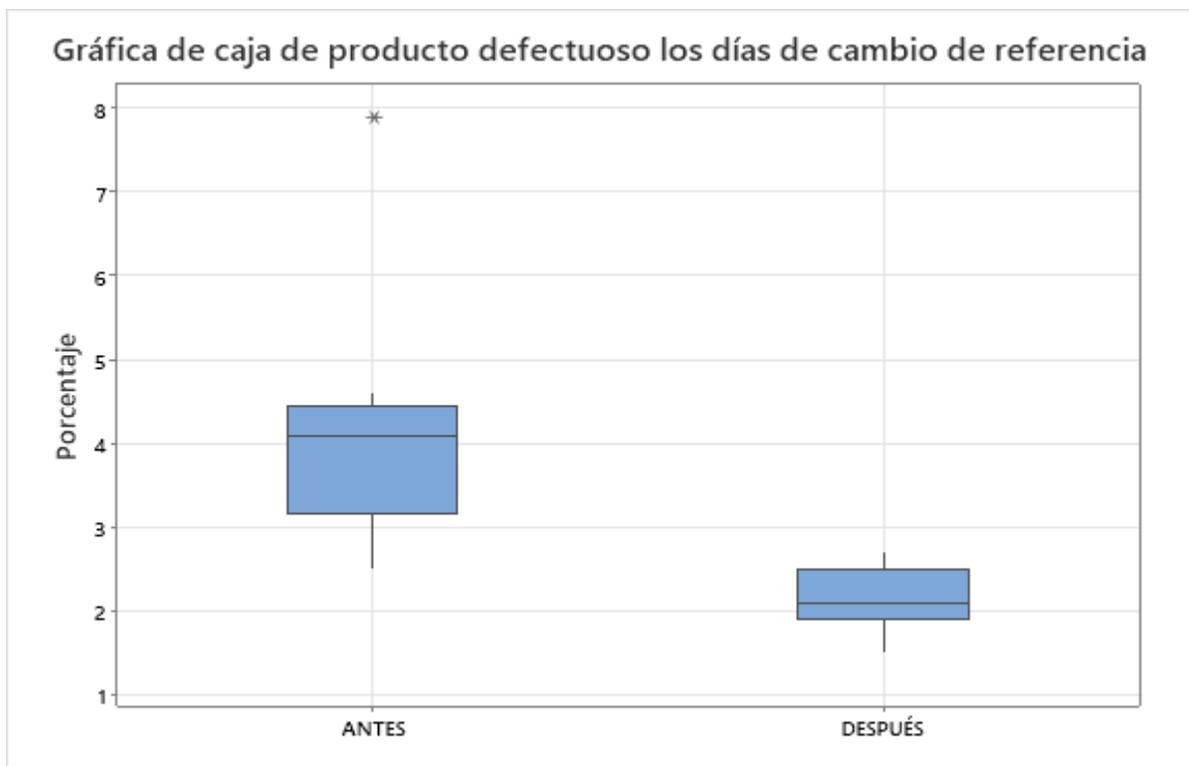
Figura 3.1 Beneficios de compra de calibres

BENEFICIOS:
<ul style="list-style-type: none">• Baja incidencia de recalibración al cambiar la máquina• Reducción del tiempo de cambio con todos los calibres en sitio• Ayuda a mantener un estándar en el tiempo de cambio físico basado en el número de cambios de referencia

3.1.2 Solución 2: Modelo de asignación de parejas de cambios de referencias basado en su rendimiento

A través de Python, se realizó el modelo de asignación de parejas de forma en que se pueda estandarizar las parejas que trabajan en la máquina en los cambios de referencia (figura 2.24). A raíz de esta solución, todos los cambios en la máquina fueron realizados en base al modelo, los resultados de esta solución se los ve reflejados con respecto al porcentaje de producto defectuoso generado antes y después de esta implementación (Figura 3.2).

Figura 3.2 Diagrama de caja en cambios de referencia



El diagrama de cajas de la figura 3.2 muestra como bajó considerablemente el porcentaje de producto defectuoso. De aproximadamente 4% a 2% en cambios de referencia.

3.1.3 Solución 3: Aplicación de la metodología 5s y limpieza continua en el taller

Se implementó la metodología 5S en el departamento de moldes. Esto para garantizar un ambiente de limpieza y de mejora continua en el taller. Como resultado, se tiene un formato de auditoría que se realiza cada mes con el fin de asegurar el desarrollo continuo de la herramienta (Figura 3.3).

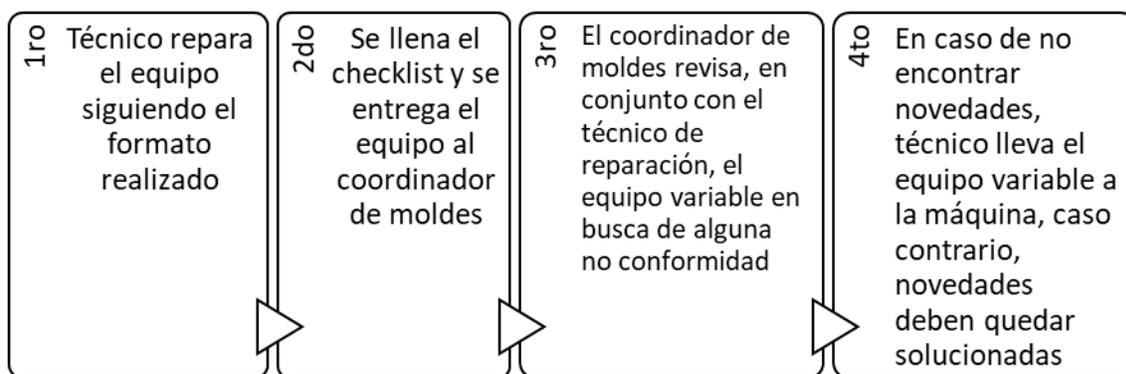
Figura 3.3 Formato de auditoría 5S

VERIFICACIÓN PROGRAMAS PREREQUISITOS (PPR) - TALLER DE MOLDES								
Responsable:								
Fecha: 30 de Junio 2023								
Taller de moldes	Valor	Bien=0 Mal=1	Puntaje	Hallazgo	Análisis de causa	Plan de acción	Responsable	Fecha para cierre del plan de acción
1 Pasillos libres (sin repuestos, baldes, empaques, etc.)	2	0	0					
2 Paredes y pisos en buen estado que no presenten humedad / deterioro de superficie	2	1	2	Paredes sucias partes de piso sin pintar		Pintar paredes y piso faltante	David Aguillo	Julio, 2023
3 Mesas de Trabajo ordenadas.	3	0	0					
4 Zona de torno ordenada y limpia	2	0	0					
5 No hay evidencia de fugas en las mangueras de aire comprimido. No usar el aire para otros fines.	3	0	0					
6 Recipientes con líquido debidamente identificados / rotulados	2	0	0					
7 Escobas, recogedores colgados en el sitio	2	0	0					
8 Machos de repuesto en máquina de formación protegidos.	3	0	0					
9 Moldes / premoldes acoplados y cerrados en el transporte y manipulación.	3	0	0					
10 No existen máquinas -herramientas en desuso.	2	0	0					
11 Carritos ordenados	2	1	2	carritos desordenados		ordenar carritos	David Aguillo	Julio, 2023
12 Chatarra correctamente ubicada en depósito (señalizado)	2	0	0					
GENERAL								
19 No existe evidencia de alimentación en alguno de los puntos.	3	0	0					
20 No Existe presencia de excremento, nidos de animales (insectos, telarañas, aves y/o roedores)	1	0	0					
21 Disposición de residuos en tachos rotulados y con tapa.	3	0	0					
22 Ausencia de derrames o fugas	2	0	0					
23 Conoce la Política del Sistema de Gestión Integrada.	2	0	0					
24 Conoce los aspecto e impactos ambientales de su área	3	0	0					
25 Ausencia de objetos fuera de lugar / sin uso.	2	0	0					
26 No cerró alguna de las observaciones de la anterior auditoría.	3	0	0					
27 Uso adecuado de equipos de protección personal (casco, protección auditiva, lentes y guantes) según actividad.	3	0	0					
28 Se observa cumplimiento de las normas de calidad, inocuidad y ambiente por parte de los contratistas.	2	0	0					
29 Se exhiben las hojas MSDS de los químicos utilizados	3	0	0					
Total	67		6	91%				

3.1.4 Solución 4: Elaboración de un formato de lista de verificación “checklist” para la revisión de equipos variables de moldura un día antes que el equipo ingrese a la máquina

Se realizó el checklist presentado en la figura 2.26 con el fin de evitar que equipo variable de moldes llegue en mal estado a la máquina. Con esto, el proceso para la verificación de un equipo después de esta mejora es el presentado en la figura 3.4.

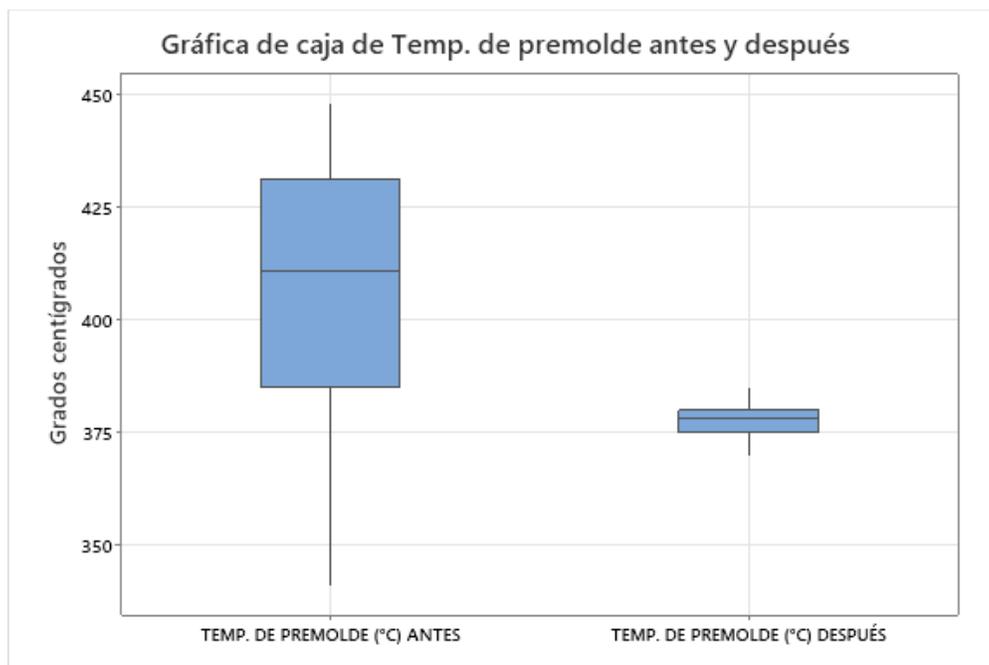
Figura 3.4 Procedimiento luego de implementación de solución 4



3.1.5 Solución 5: Diseño de un panel que de la lectura en tiempo real de la temperatura de los premoldes

Para esta mejora, se pudo controlar de mejor forma la temperatura de los premoldes de la máquina. Con esto, los problemas de producto defectuosos generados por esta causa serán tratados de forma preventiva en lugar de forma correctiva. El control de la temperatura luego de la implementación de esta solución se observa en la figura 3.5.

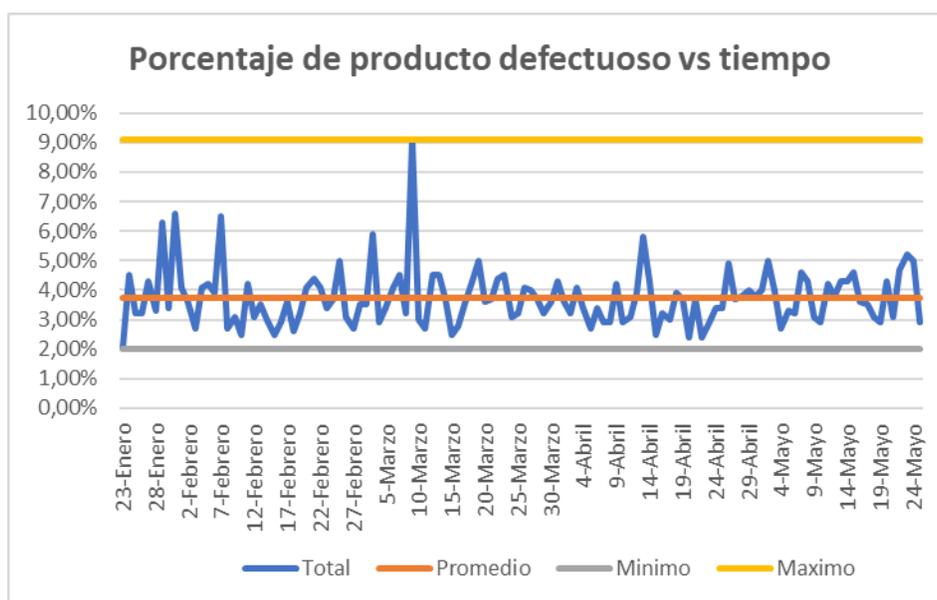
Figura 3.5 Diagrama de caja temperatura antes vs después



3.2 Resultados finales del proyecto DMAIC

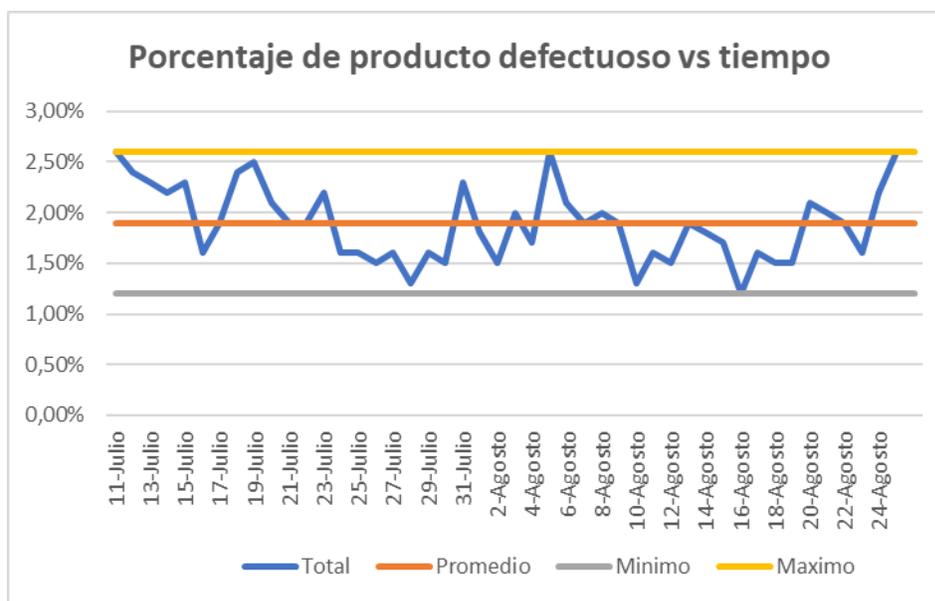
En esta sección se muestran los resultados conseguidos los cuales fueron enfocados en la línea de producción A1 y como era su rendimiento antes de la aplicación de las mejoras como se observa en la figura 3.6.

Figura 3.6 Serie de tiempo del porcentaje de producto defectuoso enero-mayo



Como se evidencia en la figura 3.16 en la línea de producción A1 el porcentaje promedio de producto defectuoso de enero a mayo fue de 3.72%, y el máximo fue de 9.10%, con la aplicación de las mejoras se redujo el porcentaje de producto defectuoso como se muestra en la figura 3.7.

Figura 3.7 Serie de tiempo del porcentaje de producto defectuoso julio-agosto



Con las mejoras realizadas se evidencia la reducción de porcentaje de producto defectuoso, de julio-agosto el porcentaje promedio de producto defectuoso se mantuvo en 1.89%, además en la figura 3.7 se puede observar que también existió una reducción en la variabilidad del proceso ya que el máximo alcanzado fue de 2.6%, para corroborar que esta reducción fue significativa para el proceso se realiza un estadístico de prueba.

Antes de la aplicación del estadístico de prueba se debe comprobar la distribución que siguen los datos de la variable, como se evidencia en la figura 3.8 los datos de enero a mayo no siguen una distribución normal ya que el valor p es menor a 0.05, por lo cual se aplica un estadístico de prueba no paramétrico como lo es la U Man-Whitney.

Figura 3.8 Prueba U de Man-Whitney**Mann-Whitney: Porcentaje diario ANTES; Porcentaje diario DESPUÉS****Método**

η_1 : mediana de Porcentaje diario ANTES
 η_2 : mediana de Porcentaje diario DESPUÉS
 Diferencia: $\eta_1 - \eta_2$

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Mediana
Porcentaje diario ANTES	122	3,6
Porcentaje diario DESPUÉS	47	1,9

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda
1,7	(1,5; 2)	95,04%

Prueba

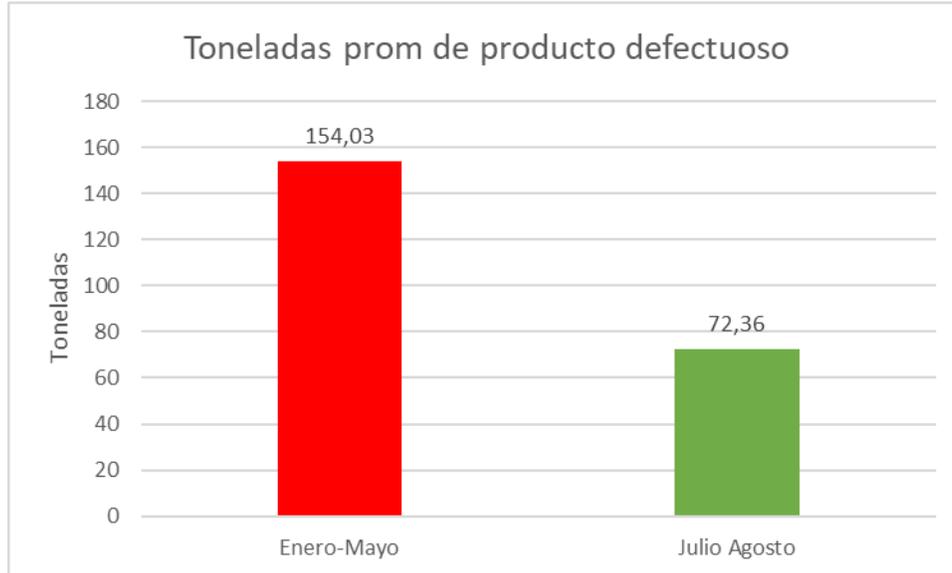
Hipótesis nula $H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$
 Hipótesis alterna $H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$

Método	Valor W	Valor p
No ajustado para empates	13195,50	0,000
Ajustado para empates	13195,50	0,000

El estadístico de prueba U Man-Whitney nos da un valor p menor a 0.05, por lo cual se rechaza la hipótesis nula, lo que significa que la diferencia de las medianas de ambas muestras es significativa estadísticamente, y con un intervalo de confianza de medianas positivo indica que efectivamente el porcentaje de producto defectuoso de enero a mayo es mayor al porcentaje de producto defectuoso de julio a agosto.

Un hallazgo que se evidencia con estas mejoras del proceso es que se redujo el promedio de toneladas de producto defectuoso bimensual de 154.03 a 72.36(figura 3.9), lo que implica un aprovechamiento del 98.10% de las toneladas empacadas.

Figura 3.9 Toneladas promedio de producto defectuoso antes vs después



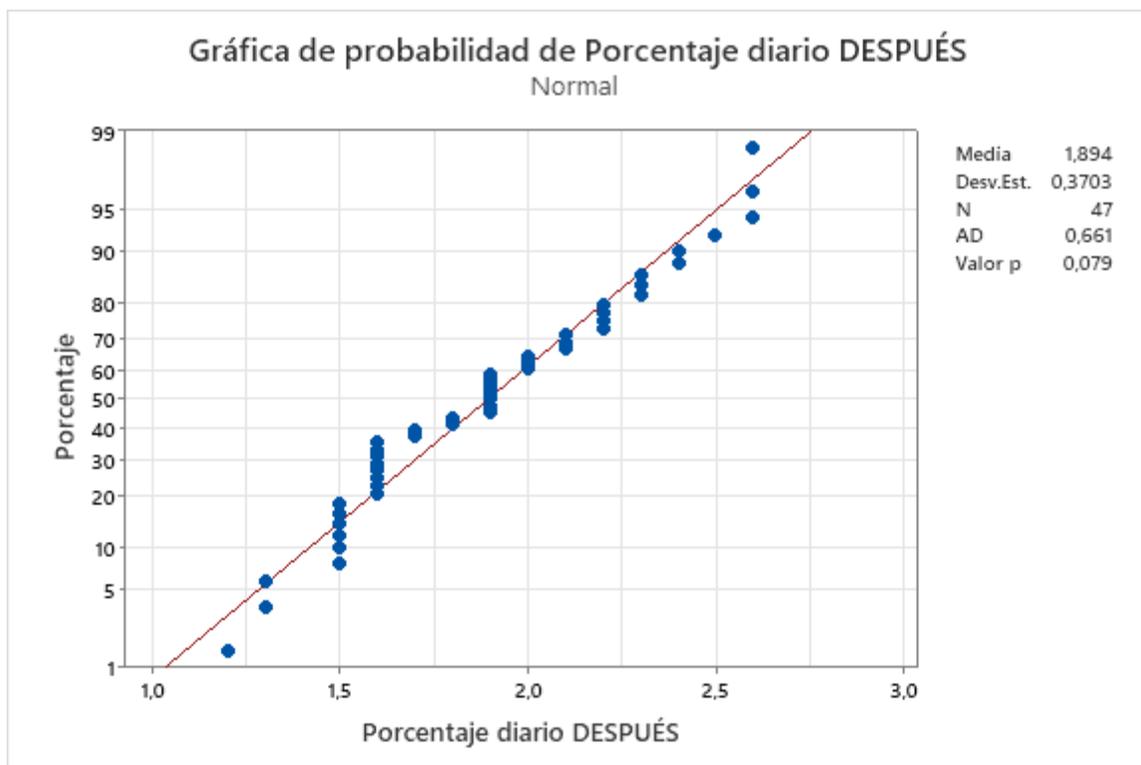
3.2.1 Cartas de control

Con los datos obtenidos de julio a agosto se realizó una prueba de normalidad (Figura3.10):

H_0 =Los datos siguen una distribución normal

H_1 =Los datos no siguen una distribución normal

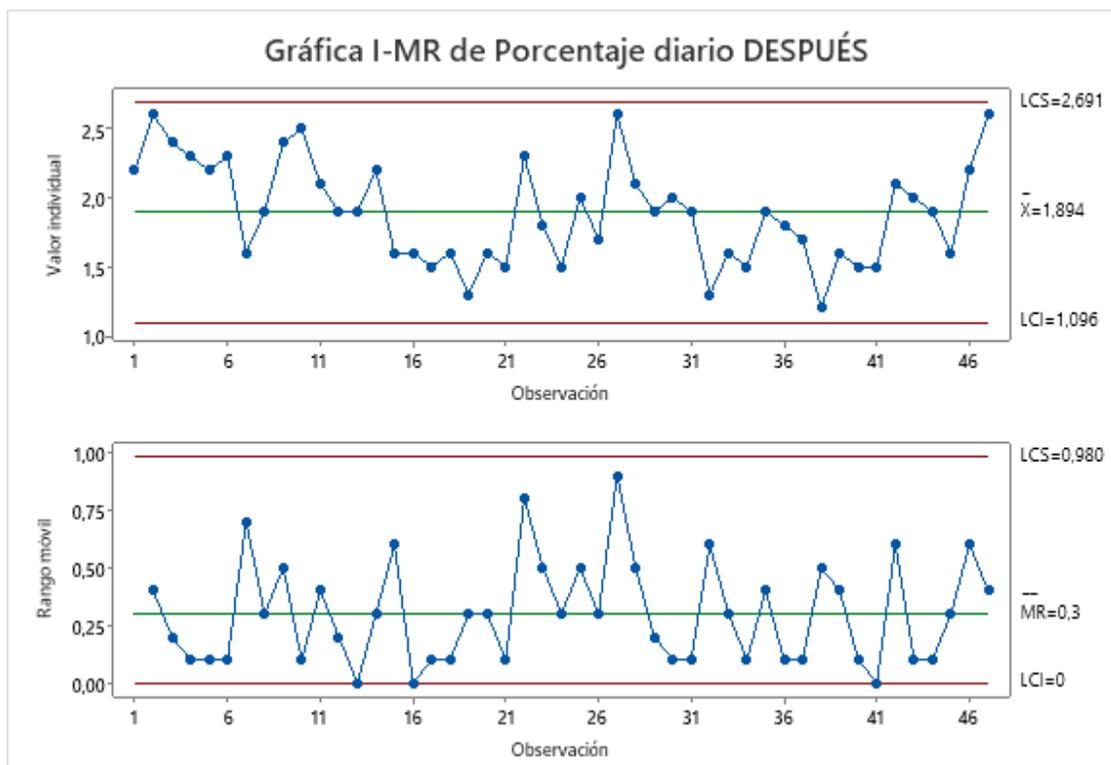
Figura 3.10 Prueba de normalidad de datos después de mejora



Se obtuvo un valor p mayor al nivel de significación (0.05), con lo cual se acepta la hipótesis nula y se concluye en que los datos siguen una distribución normal.

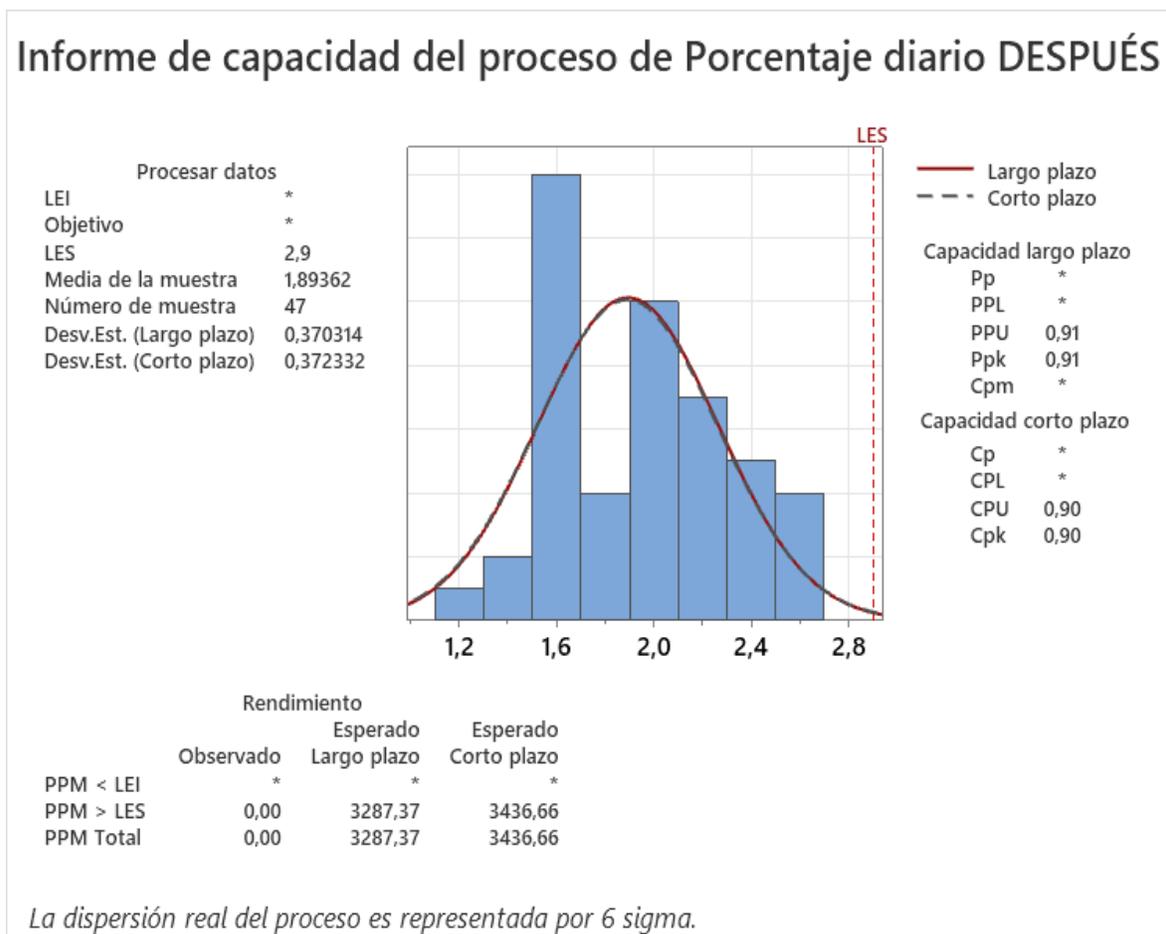
Conociendo la normalidad de los datos se procedió con el análisis de cartas de control (figura 3.11), donde se puede observar que el proceso está bajo control estadístico, debido a que todas las observaciones se encuentran dentro de los límites de control, sin embargo en el rango móvil existe una gran dispersión debido a la diferencias de porcentaje de producto defectuoso que se generan diariamente, por lo cual es importante seguir controlando el proceso para reducir la variabilidad y el proceso sea más compacto.

Figura 3.11 Carta de control de porcentaje de producto defectuoso



Se realizó el análisis de capacidad (Figura 3.12) donde se obtuvo un $cpk = 0.90$, lo que indica que la amplitud de la voz del cliente es menor a la amplitud de la voz del proceso, y solo el 0.34% del producto se encuentra fuera de especificación por encima del límite superior.

Figura 3.12 Análisis de capacidad datos mejorados

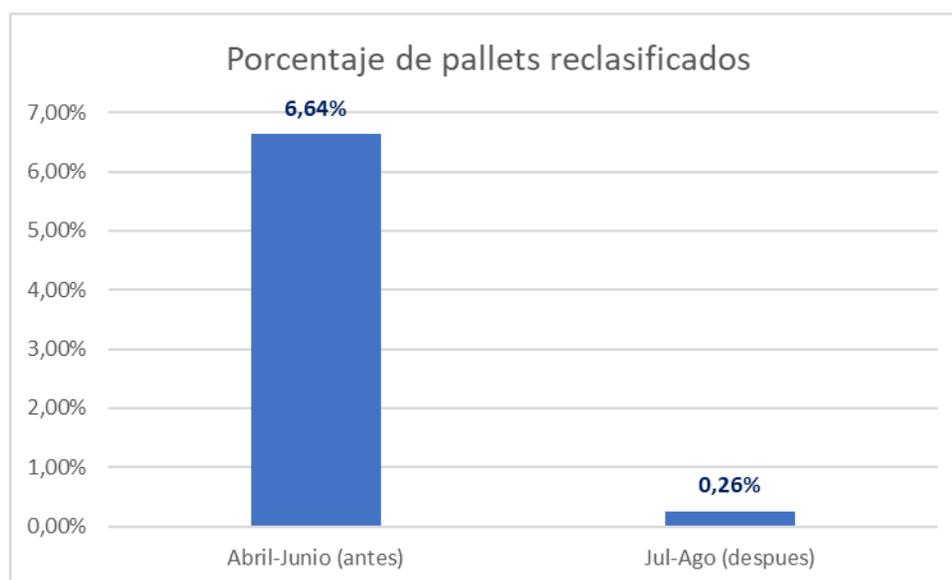


3.3 Métricas de sostenibilidad

3.3.1 Beneficio social

La disminución del porcentaje de producto defectuoso tiene una correlación directamente proporcional con el porcentaje de paletas retenidas que paso de 6.64% a 0.26% (Figura 3.13), por lo cual los trabajadores redujeron las horas extras que debían tomar post turnos para poder reclasificar las paletas, lo cual es una actividad que no agrega valor ya que es un reproceso.

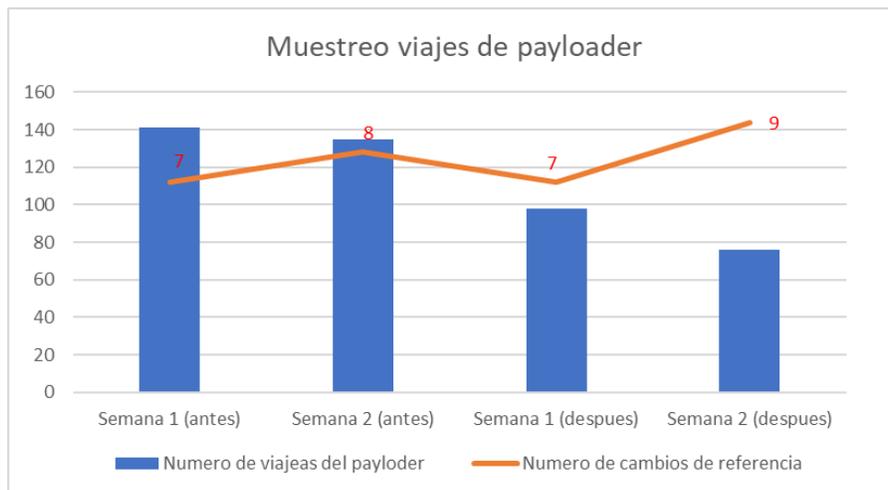
Figura 3.13 Diagrama de barras de pallets reclasificados



3.3.2 Beneficio medio ambiental

Al principio del proyecto se asoció que cuando existía una mayor cantidad de cambios de referencias entraba más producto defectuoso al área de desperdicios y el payloader tenía que ir más veces a recolectarlo, con la disminución de las toneladas de producto defectuoso el payloader paso de ir 138 a 78 veces (Figura 3.14) al área de desperdicio, lo que implica una reducción del 56.52%, y esto se asocia directamente con la reducción del consumo de gas del vehículo.

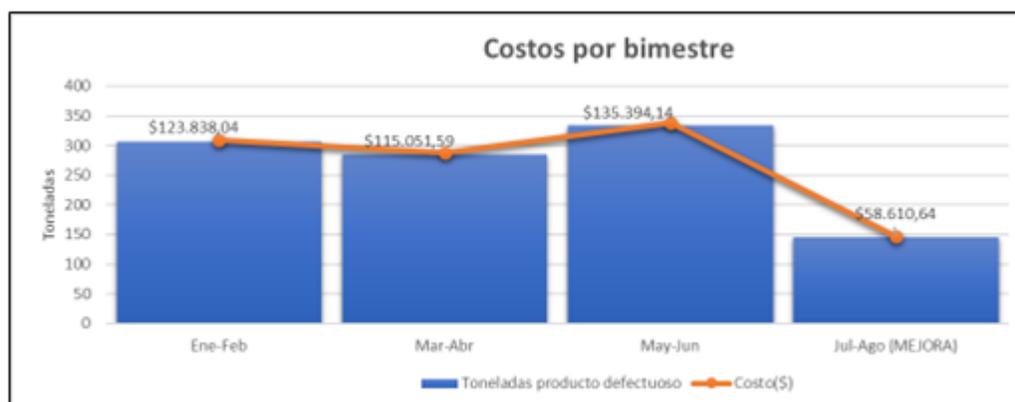
Figura 3.14 Cantidad de veces que el payloader va a recoger producto defectuoso vs los cambios de referencias ejecutados por semana



3.3.3 Beneficio financiero

Con la reducción de la cantidad de toneladas promedio de producto defectuoso de 154.03 a 72.36 por mes, se obtuvo grandes beneficios, la empresa en los primeros 6 meses del año dejó de ganar \$374 283 por la cantidad de toneladas defectuosas generadas, después de las mejoras en los meses de julio y agosto, la pérdida se redujo a \$58 610, para establecer una comparación racional se procedió a realizar una comparativa bimensual (figura 3.15), en la cual se observa que se ha reducido los costos en un 15% versus el primer bimestre, 13% versus el segundo bimestre y 18% versus el tercer bimestre.

Figura 3.15 Costos bimestrales



3.4 Implementación plan de control

Se estableció un plan de control para mantener los resultados conseguidos con las soluciones implementadas a largo plazo (tabla 3.1).

Tabla 3.1 Plan de control

Proceso	Línea de producción de botellas de vidrio A1					
Proyect:	Reducir el porcentaje promedio diario de producto defectuoso					
Fecha:	Agosto 2023	Lideres proyecto:	Samuel Mawyin, Felipe Martínez			
¿Que?	¿Quien?	¿Por qué?	¿Como?	¿Cuándo?	¿Donde?	¿Cuanto?
Realizar los cambios de referencia acorde al modelo de asignación de parejas hecho en Python.	Coordinador de cambios de referencias	Asegurarse que el trabajo en pareja sea seleccionado acorde al rendimiento y categoría del cambio de referencia.	Al realizarse lo cambios de referencias el coordinador debería tomar una foto de la pizarra y de las personas trabajando en el lado molde/premolde en planta para la verificación de que el modelo está siendo aplicado	Cada cambio de referencia	Área de producción	\$0,00
Llevar seguimiento a la temperatura de los premoldes	Operadores de línea	Asegurar que esta variable del proceso no este variando más de lo permitido	Leer el panel de temperatura de premoldes y colocar valor en el sistema	Cada hora	Área de producción	\$0.00
Validar y certificar las reparaciones de los equipos variables de molde	Coordinador de moldes	Evitar que equipo variable llegue a máquina en malas condiciones	Seguimiento a el equipo de 5S verificando que las auditorías se están realizando	Mensual	Taller de moldes	\$0.00
			Al final del día, conversar con las personas que presentaron novedades	Diario		\$0.00

			en las reparaciones para buscar oportunidades de mejora			
Actualizar los indicadores de eficiencia productiva	Lideres de linea	Asegurar que las maquinas están realizando su trabajo correctamente y compartir el cumplimiento del objetivo de la eficiencia, basado en ello tomar precauciones y acciones correctivas para la implementación de mejoras continuas en el futura	Registrar la información de la eficiencia de las máquinas en e formato de Excel conectado al dashboard de Power BI y presentarlo en las reuniones diarias de producción	Diario	Área de producción	\$0.00

Capítulo 4

4 Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

La correcta elección de la variable de respuesta, así como los factores de estratificación para definir el problema enfocado son de vital importancia para dar con la problemática del producto defectuoso generado. Las herramientas estadísticas sirvieron para identificar mejoras y tener claro el panorama a seguir implementando con respecto a las causas. Con esto, las soluciones escogidas tuvieron un impacto en la variable de salida, así como también en otros indicadores. Estos son los principales hallazgos a lo largo de este proyecto:

- Reducción del porcentaje de producto defectuoso diario de 3.72% a 1.89% en la línea de producción A1 y de 11.23% a 9.3% en total de la planta.
- La aplicación del modelo de asignación de parejas en el programa Python trajo consigo la mejora del porcentaje de producto defectuoso los días con cambio de 4% a 2.1%.
- La implantación de la herramienta de 5S y el formato de control visual sirvieron para disminuir el equipo variable que llega a máquina, junto con la herramienta de control de eficacia de reparación se alcanzaron valores de 92% de eficacia de reparación.
- La instalación del tablero de lectura de premoldes mejoró el control sobre la variable temperatura. Con un objetivo de 380 grados centígrados, el control de la temperatura no varió más de 5 grados.

4.2 Recomendaciones

Todo proyecto tiene sus restricciones, estas vienen acompañadas de aprendizaje y recomendaciones a dar. Para la recolección de los datos e información por parte de los líderes de

línea, la principal traba fue el tiempo disponible. La operación de las máquinas y reuniones diarias dificultaron la accesibilidad de las personas a aportar con información para el proyecto. Sin embargo, cabe recalcar el interés por parte del personal de producción a cerca del proyecto y la planificación de sus horarios para aportar con ideas e información. El proyecto dejó mejoras y resultados a la operación que no son posibles sin la mejora continua de cada área involucrada, por eso se enlistan oportunidades de mejora y recomendaciones para seguir mejorando en las líneas de producción.

- Seguimiento cada hora en cada turno a la temperatura de premoldes para actuar de forma preventiva en la máquina.
- Crear un plan de entrenamiento para los reparadores de moldes que presenten mayores incidencias en las auditorias de los formatos implementados.
- Entrenamiento constante al equipo de 5S para que en cada mes las auditorias sean realizadas a conciencia.
- Aplicar el modelo de asignación realizado para la línea A1 en las demás líneas de producción para estandarizar el proceso de los cambios de referencia.

Bibliografía

- Desimavilla Espinoza, E. G., & Rojas Parraga, T. C. (2021). *PROPUESTA METODOLOGIA DMAIC PARA LA DISMINUCION DE DEFECTOS EN EL PROCESO DE ENVASADO DE AGUA EN UNA INDUSTRIA DE BEBIDAS*. GUAYAQUIL: UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA.
- Sanchez Ruiz, E. A. (2005). *SEIS SIGMA, FILOSOFÍA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD: ESTUDIO TEORICO Y SU POSIBLE APLICACION EN EL PERU*. PIHURA: UNIVERSIDAD DE PIURA. Obtenido de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1213/ING_427.pdf
- Sanchez, A. M., Vayas, T., Mayorga, F., & Freire, C. (08 de 2021). *Evolución de la industria de vidrio en el Ecuador*. Obtenido de <https://obest.uta.edu.ec/wp-content/uploads/2021/08/EVOLUCION-DE-LA-INDUSTRIA-DEL-VIDRIO-EN-ECUADOR.pdf>
- DIAGO, V. O., & MERCADO, V. J. (2013). *REDUCCION DE DESPERDICIOS EN EL PROCESO DE ENVASADO DEL YOGURT PUREPAK DE 210 g*. BARRANQUILLA: UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC.
- Garza Rios, R. C., Gonzalez Sanchez, C. N., & Rodriguez Gonzalez, E. L. (2016). *Aplicacion de la metodologia DMAIC de Seis Sigma con simulacion discreta y tecnicas multicriterio*. La Habana: REVISTA DE METODOS CUANTITATIVOS PARA LA ECONOMIA Y LA EMPRESA. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/2331/233148815002.pdf>
- JARRÍN, E. V. (2015). *APLICACIÓN DE METODOLOGÍA DMAIC (SIX SIGMA) PARA LA REDUCCIÓN DE REPROCESO DE INFORMACIÓN ESTADÍSTICA DE NUTRICION*. Guayaquil: ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL. Obtenido de

<https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/df5a7bbc-9c87-4abb-aa81-fec5bf7beb57/D-CD71865.pdf>

Ocampo, J. R., & Pavon, A. E. (2012). *Integrando la Metodologia DMAIC de Seis Sigma con la Simulacion de Eventos Discretos en Flexim*. Panama City: Universidad Tecnologica Centroamericana.

Legesse, B., & Geremew, S. (2021). Minimizing Costs of Poor Quality for Glass Container Bottles Production Using Six Sigma's Dmaic Methodology: A Case Study in a Bottle and Glass Share Company. *Industrial Engineering*, 5(1), 7.

APÉNDICES

APÉNDICE A

Formulario de registro de pallets bloqueados

Fecha	26/06/2023	C-00241	Jar Roun	Turno	3
Material	10001002	2197/13	Stock	Lote	5033593380
Máquina	A2	GRUPO "c"	728ml	Orden	4212246

# Paleta	Aceptada	Retenida	reselección	Observación
1 5110370976				
2 5110370977				
3 5110370978				
4 5110370979				
5 5110370980				
6 5110370981				
7 5110370982				
8 5110370983				
9 5110370984				
10 5110370985				
11 5110370986				
12 5110370987				
13 5110370988				
14 5110370989				
15 5110370990				
16 5110370991				
17 5110370992				
18 5110370993				
19 5110370994				
20 5110370995				
21 5110370996				
22 5110370997				
23 5110370998				
24 5110370999				
25 5110371000				
26 5110371001				

Separadores para el lado de pallets
No tiene
Paleta para
Car 11-15
25

24 5110370999 *x* *paleta*
25 5110371000 *x* *paleta*
 26 5110371001 *paleta*

ESTIBAS DE MADERA

Proveedor: _____
 Lote: _____

MARCOS

Proveedor: _____
 Lote: _____

SEPARADORES

Proveedor: _____
 Lote: _____

han hecho 3 pal
de poste 6 pallets sustituir *6 pallets*

APÉNDICE B

Grosor de las botellas después del cambio de equipo variables en las otras líneas de producción

Línea A2		
Muestra	Cuerpo	Fondo
1	1.83	1.54
2	1.89	1.42
3	1.68	1.44
4	1.76	1.48
5	1.77	1.62
6	1.83	1.4
7	1.54	1.34
8	1.58	1.31
9	1.81	1.33
10	1.66	1.41

Resultados		
Muestra	Cuerpo	Fondo
N	7	7
M ₁₀	1.74	1.43
S ₁₀	0.12	0.10

Línea A4				
Muestra	Cuerpo	Cuello	Talon	Fondo
1	1.34	1.28	1.25	1.09
2	1.34	1.39	1.37	1.13
3	1.68	1.85	1.63	1.25
4	1.52	1.55	1.46	1.21
5	1.32	1.49	1.24	1.12
6	1.54	1.57	1.2	1.26
7	1.6	1.55	1.32	1.3
8	1.62	1.49	1.48	1.31
9	1.64	1.51	1.45	1.28
10	1.46	1.2	1.16	1.18
11	1.69	1.58	1.49	1.23
12	1.44	1.54	1.34	1.23
13	1.57	1.5	1.33	1.2
14	1.69	1.57	1.44	1.25
15	1.67	1.5	1.89	1.32
16	1.87	1.5	1.89	1.32
17	1.69	1.48	1.65	1.3
18	1.68	1.48	1.71	1.26
19	1.8	1.64	1.31	1.21
20	1.44	1.41	1.45	1.24
21	1.93	1.47	1.63	1.29
22	1.44	1.41	1.42	1.21

Resultados				
Muestra	Cuerpo	Cuello	Talon	Fondo
N	12	22	18	7
M22	1.59	1.50	1.46	1.24
S22	0.17	0.13	0.20	0.06

APÉNDICE C

Dimensiones de las botellas después del cambio de equipo variables en las otras líneas de producción

Línea A2		
Muestra	Altura	Cuello inclinado
1	110.8	0.47
2	110.8	0.41
3	110.9	0.5
4	110.9	0.49
5	110.96	0.42
6	110.91	0.49
7	110.96	0.38
8	110.98	0.4
9	110.95	0.44
10	110.95	0.38
11	110.96	0.46
12	110.95	0.38

Resultados		
Data	Altura	Cuello inclinado
N	0	12
M ₁₂	110.92	0.44
S ₁₂	0.06	0.05

Línea A4			
Muestra	Verticalidad	Altura	Cuello inclinado
1	1.82	319.81	0.15
2	1.85	319.95	0.16
3	1.8	319.73	0.16
4	1.64	319.76	0.15
5	1.6	319.75	0.16
6	1.53	319.75	0.13
7	1.72	320.09	0.12

Resultados			
Data	Verticalidad	Altura	Cuello inclinado
N	7	0	2
M7	1.71	319.83	0.15
S7	0.12	0.14	0.02

APÉNDICE D

Formato de registro de la cantidad de veces que el payloader va al área de desperdicio

Registro de recolección de producto defectuoso

Nombre Responsable: Saul Rojas - Ricardo Chay

Función: _____

Turno: 1 (P-13:00)

Turno	8:00-9:00	9:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	Observación	
Lunes	4	3	3	2	4	3	4	3	1	2 CR	27
Martes	3	5	5	4	3	5	5	4	3	3 CR	37
Miércoles	1	0	1	1	2	1	1	1	1	—	10
Jueves	3	4	3	3	2	4	2	1	2	2 CR	24
Viernes	1	3	2	2	3	1	2	2	2	3 CR	18
Sábado	1	1	1	1	1	1	1	1	1	—	9
Domingo	1	2	1	1	1	1	1	1	1	—	10


 operador payloader

