

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Aplicación de la metodología DMAIC para la reducción del tiempo de cambio
de SKUs en una línea de elaboración de botellas de vidrio

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingenieros Industriales

Presentado por:

Nicole Ambrosini Ruiz
Jean Carlos Andrade Aguilera

Guayaquil - Ecuador
Año: 2023

Dedicatoria

Este proyecto se lo dedico a Dios, ya que gracias a él he logrado terminar mi carrera. A mi familia, por siempre estar presentes brindándome todo el apoyo a lo largo de mi vida universitaria. A mis amigos de carrera, con mención especial a Jean Carlos Andrade, mi compañero de tesis, con el que he disfrutado y aprendido mis últimos años de universidad.

Nicole Ambrosini Ruiz

Dedicatoria

Este proyecto se lo dedico a Dios que me dio la fuerza para seguir adelante en todo este camino. A mi familia que fue mi apoyo incondicional en todas las decisiones que tome. A todos los amigos que hice en esta trayectoria que hicieron el camino más llevadero en especial a John, Root, Israel y Samuel. A mi compañera incondicional Nicole ya que sin ella no hubiera sido posible este proyecto.

Jean Carlos Andrade Aguilera

Agradecimientos

Nuestros más sinceros agradecimientos a nuestras familias que siempre estuvieron con nosotros en cada momento, a los profesores que pusieron las bases para convertirnos en los profesionales que somos a todos nuestros compañeros que conocimos en la carrera también no podíamos terminar este proyecto sin mencionar a nuestra tutora la ingeniera María Laura Retamales que estuvo codo a codo con nosotros en todo este proyecto

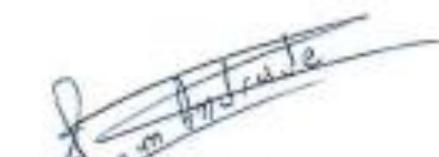
Declaración Expresa

Nosotros Nicole Ambrosini Ruiz y Jean Carlos Andrade Aguilera acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.


Nicole Ambrosini Ruiz


Jean Carlos Andrade
Aguilera

Evaluadores

Denisse Rodríguez Z, PhD

Profesor de Materia

Laura Retamales G., MSc.

Tutor de proyecto

RESUMEN

El objetivo de este proyecto es reducir el tiempo de cambio entre un SKUs a otro en la segunda línea de producción categoría 5 de una empresa dedicada a la producción y venta de envases de vidrio mediante la aplicación de la metodología DMAIC. Para la correcta aplicación de la metodología se identificaron las necesidades del cliente, se realizó un estudio estadístico de normalidad y capacidad del proceso, se identificaron las actividades que más tiempo tomaban dentro del proceso, se encontraron las causas raíz del porque esos elevados tiempos y sobre las causas raíz se plantearon 5 soluciones para disminuir el tiempo de cambio de SKUs. Entre las soluciones planteadas están la realización de un checklist de actividades precambio que consta de 3 partes, un código de asignación de parejas basadas en la data histórica de tiempos que tenía cada operador, la estandarización del proceso de cambio mediante el uso de la herramienta SMED donde se pudo combinar, eliminar, reducir y simplificar varias actividades y como solución final estuvo la capacitación del personal de planta sobre este nuevo proceso de cambio. Una vez que se logró poner en marcha todas las soluciones se pudo reducir el tiempo de cambio pasando de tener una media de 54 minutos a una media de 46 minutos y reduciendo los tiempos perdidos por equipos defectuoso de 25 minutos a 7 minutos trayendo un beneficio económico adicional de 4,62% por cambio de referencia y ahorrando alrededor de 62 litros de agua por reprocesamiento de envases de vidrio.

Palabras clave: DMAIC, checklist, SMED, tiempos perdidos, 5s.

ABSTRACT

The objective of this project is to reduce the changeover time between one SKU and another in the second production line category 5 of a company dedicated to the production and sale of glass containers by applying the DMAIC methodology. For the correct application of the methodology, the customer's needs were identified, a statistical study of normality and process capability was carried out, the activities that took the most time within the process were identified, the root causes of those high times were found and on the root causes 5 solutions were proposed to reduce the changeover time of SKUs. Among the proposed solutions are the realization of a pre-change checklist that consists of 3 parts, a code of assignment of pairs based on the historical data of times that each operator had, the standardization of the change process by using the SMED tool where it was possible to combine, eliminate, reduce and simplify several activities and as a final solution was the training of the plant staff on this new change process. Once all the solutions were put into operation, the changeover time was reduced from having an average of 54 minutes to an average of 46 minutes and reducing the lost times due to defective equipment from 25 minutes to 7 minutes bringing an additional economic benefit of 4.62% per reference change and saving around 62 liters of water per reprocessing of glass containers.

Keywords: DMAIC, checklist, SMED, lost time, 5s.

Índice general

Resumen.....	I
Abstract.....	II
Abreviaturas.....	VI
Índice de figuras.....	VII
Índice de tablas	IX
Capítulo 1.....	1
1 Introducción	2
1.1 Descripción del problema.....	3
1.1.1 Definición del problema	4
1.1.2 Alcance del proyecto.....	4
1.1.3 Requerimientos del cliente.....	5
1.2 Justificación del problema.....	7
1.2.1 Justificación social	7
1.2.2 Justificación Ambiental	7
1.2.3 Justificación económica	8
1.3 Objetivos	8
1.3.1 Objetivo general.....	8
1.3.2 Objetivos específicos	8
1.4 Marco teórico	9
1.4.1 Metodología DMAIC.....	9
1.4.2 Herramienta SMED	10
Capítulo 2.....	12
2.1 Problema declarado	13
2.2 Medición.....	13
2.2.1 Diagrama del proceso – OTIDA	13
2.2.2 Plan recolección datos.....	16
2.2.3 Prueba de normalidad	17
2.2.4 Análisis de capacidad.....	19
2.2.5 Análisis de data para determinar el tamaño de muestra.....	20
2.2.6 Plan de confiabilidad de los datos.....	21

2.2.6	Estratificación	24
2.2.7	Problema enfocado.....	26
2.3	Analizar	27
2.3.1	Lluvia de ideas	27
2.3.2	Ishikawa	29
2.3.3	Causas potenciales	31
2.3.4	Diagrama impacto control.....	35
2.3.5	Plan de verificación de causas	35
2.3.6	Verificación de causas	36
2.3.7	Análisis 5 por qué	40
2.4	Mejora	41
2.4.1	Propuestas de soluciones.....	41
2.4.2	Análisis del costo	42
2.4.3	Plan implementación.....	43
2.5	Implementación.....	44
2.5.1	Implementación de solución 1: Estandarización del proceso de cambio de referencia	44
2.5.2	Implementación de solución 2: Crear código de asignación de parejas en base a su rendimiento histórico en la sección.....	46
2.5.3	Implementación de solución 3: Aplicación de la metodología 5S.....	48
2.5.4	Implementación de solución 4: Procedimiento para verificación de los equipos variables mediante Checklists.	52
2.5.5	Implementación de solución 5: Capacitación del personal	53
Capítulo 3	54
3.1.	Resultado de soluciones	55
3.2.1.	Mejoras del proceso: Serie de tiempo.....	55
3.2.2.	Prueba de normalidad	56
3.3.3.	Análisis de capacidad	57
3.2.	Triple impacto	58
3.2.1.	Justificación económica	58
3.2.2.	Justificación Ambiental	59
3.2.3.	Justificación social	59
3.3.	Plan de control.....	60
Capítulo 4	61
4.1	Conclusiones	62

4.2 Recomendaciones.....	62
Bibliografía	63

Abreviaturas

OTIDA Operación, Transporte, Inspección, Demora y Almacenamiento

SMED Single-Minute Exchange of Die

DMAIC Define, Measure, Analyze, Improve y Control

SKU Stock keeping unit

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Serie de tiempo de tiempos de cambio total desde enero hasta septiembre del 2023	3
Figura 1.2 Diagrama de afinidad con relación al cliente	5
Figura 1.3 CTQ tree	6
Figura 1.4 Métricas del TBL.....	6
Figura 2.1 Diagrama OTIDA: Paso a paso de cambio de SKU lado molde para línea de producción 2 de categoría 5	14
Figura 2.2 Diagrama OTIDA: Paso a paso de cambio de SKU lado pre-molde para línea de producción 2 de categoría 5	15
Figura 2.3 Prueba de normalidad para variable de respuesta.....	17
Figura 2.4 Carta de control individual y rango móvil fuera de control estadístico	18
Figura 2.5 Carta de control individual y rango móvil en control estadístico.....	19
Figura 2.6 Análisis de capacidad del proceso	20
Figura 2.7 Comparación de tiempos de cambio físico.....	22
Figura 2.8 Descripción estadística de la comparación de tiempos de cambio físico.....	22
Figura 2.9 Resultados estadísticos de la comparación de tiempo de cambio físico	23
Figura 2.10 Comparación de tiempos de calificación.....	23
Figura 2.11 Descripción estadística de la comparación de tiempos de calificación	24
Figura 2.12 Resultados estadísticos de la comparación de tiempo de calificación	24
Figura 2.13 Diagrama de Pareto de las actividades durante el cambio de SKU.....	25
Figura 2.14 Problema enfocado	26
Figura 2.15 Luvia de ideas para movimiento de equipo variable	28
Figura 2.16 Luvia de ideas para estabilización de la sección	28
Figura 2.17 Lluvia de ideas para ajuste de equipo variable.....	29
Figura 2.18 Ishikawa para movimiento de equipo variable.....	30
Figura 2.19 Ishikawa para estabilización de la sección	30
Figura 2.20 Ishikawa para ajuste de equipo variable.....	31
Figura 2.21 Matriz control-impacto.....	35
Figura 2.22 Referencia de la máquina de producción A2.....	36
Figura 2.23 Comparación de medias entre couple 1 y couple 2	37
Figura 2.24 Descripción estadística de la comparación de tiempos de cambio entre couple 1 y couple 2.....	37

Figura 2.25 Comparación de medias entre couple 2 y couple 3	38
Figura 2.26 Descripción estadística de la comparación de tiempos de cambio entre couple 2 y couple 3.....	38
Figura 2.27 Carritos de equipos variable sin lugar fijo (8/11/2023).....	39
Figura 2.28 Deflectores porosos foto del 5/11/2023.....	40
Figura 2.29 Llevadores de pre-molde con empate alto (16/11/2023).....	40
Figura 2.30 Matriz análisis impacto-esfuerzo.....	42
Figura 2.31 Resultados del código de asignación	47
Figura 2.32 Aplicación de tarjeta roja.....	48
Figura 2.33 Carrito de equipo variable	49
Figura 2.34 Nuevo carrito de equipo variable	50
Figura 2.35 Layout de la máquina 2	50
Figura 2.36 Nuevos casilleros.....	51
Figura 2.37 Checklist del área molde	52
Figura 2.38 Reunión con equipo cambio	53
Figura 2.39 Capacitación al personal de planta	53
Figura 3.1 Serie de tiempo de los tiempos de cambio en base al tipo de data.....	515
Figura 3.2 Prueba de normalidad	526
Figura 3.3 Grafica rango móvil.....	537
Figura 3.4 Análisis de capacidad	538

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Tabla de herramienta 3W1H.....	4
Tabla 2.1 Plan de Recolección de datos.....	16
Tabla 2.2 Tabla de resultados muestreos tiempo de cambio físico y tiempo de calificación ..	21
Tabla 2.3 Tabla de metodología 5W2H.....	27
Tabla 2.4 Tabla de ponderación de correlación	31
Tabla 2.5 Matriz de causas potenciales para movimiento de equipo variable.....	32
Tabla 2.6 Matriz de causas potenciales para ajuste de equipo variable.....	33
Tabla 2.7 Matriz de causas potenciales para estabilización de la sección	34
Tabla 2.8 Diagrama de impacto-control	34
Tabla 2.9 Plan de verificación de causas	36
Tabla 2.10 Análisis del 5 por qué	41
Tabla 2.11 Propuestas de soluciones	41
Tabla 2.12 Análisis de costos.....	42
Tabla 2.13 Plan de implementación.....	43
Tabla 2.14 Proceso del lado molde	44
Tabla 2.15 Proceso estandarizado del lado molde	45
Tabla 2.16 Proceso del lado premolde	45
Tabla 2.17 Proceso estandarizado del lado premolde.....	46
Tabla 2.18 Matriz de tiempo de los operadores.....	47
Tabla 2.19 Diagrama detallado actividades restantes	51
Tabla 3.1 Tabla con datos estadísticos de la variable tiempo de cambio.....	55
Tabla 3.2. Plan de control	60

Capítulo 1

1 Introducción

La industria del vidrio es una de las más importantes y antiguas del mundo, ya que produce un material versátil, resistente, reciclable y saludable que se utiliza en diversos sectores como el alimentario, el farmacéutico y el cosmético. El vidrio es un material que no altera las propiedades de los productos que contiene, que protege de la luz, el calor, la humedad y los microorganismos, y que no genera residuos tóxicos ni contaminantes. Además, el vidrio es un material que se puede reciclar infinitas veces, lo que contribuye a la economía circular y a la preservación del medio ambiente.

En Ecuador, la industria del vidrio ha tenido un desarrollo significativo en las últimas décadas, gracias a la innovación, la calidad, la diversificación y la competitividad de sus productos. Según datos de la Cámara de Industrias de Guayaquil, el sector del vidrio genera alrededor de 4.000 empleos directos y 12.000 indirectos, y aporta con el 0,4% del Producto Interno Bruto (PIB) del país (Freire, Mayorga, & Vayas, 2020). Además, la industria del vidrio ha logrado posicionarse en el mercado nacional e internacional, exportando sus envases a países como Colombia, Perú, Chile, Estados Unidos, entre otros.

La importancia de la industria productora de envases de vidrio en Ecuador radica en su contribución al desarrollo económico, social y ambiental del país, así como a la salud y el bienestar de los consumidores. Por ello, el objetivo de este proyecto es analizar los beneficios y los retos que enfrenta esta industria, así como proponer estrategias para mejorar su competitividad y sostenibilidad. Para ello, se realizará una revisión bibliográfica y la aplicación de la metodología DMAIC (Define, Measure, Analyse, Improve and Control) en sus líneas de producción.

1.1 Descripción del problema

La organización que se analiza en este trabajo es una empresa de cristalería reconocida en el mercado, que actualmente enfrenta un problema de aumento en los tiempos de cambio de SKU. Este problema afecta la eficiencia y la rentabilidad de la producción, ya que genera más desperdicios y menos botellas de vidrio. Por lo tanto, se busca reducir el tiempo de cambio de SKU para optimizar el proceso productivo.

Para establecer una línea base, se realizó una serie de tiempo que muestra el comportamiento de los tiempos de cambio de la categoría 5 en la línea de producción 2, desde enero hasta septiembre de 2023. La serie de tiempo se puede observar en la figura 1.1, donde se indican los valores mínimos y máximos alcanzados en el periodo, el tiempo best class definido por la empresa y el tiempo promedio de cambio.

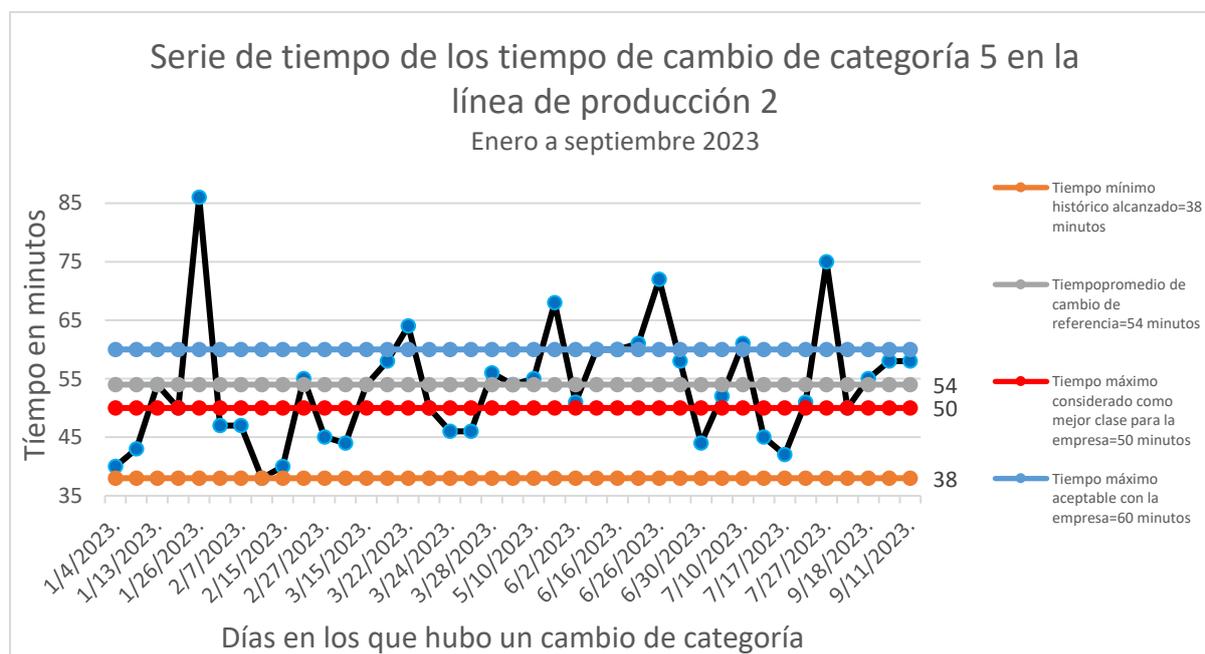


Figura 1.1 Serie de tiempo de tiempos de cambio total desde enero hasta septiembre del 2023

1.1.1 Definición del problema

Desde enero 1 del 2023, se observó un incremento en los tiempos de cambio en la línea de producción 2 en una empresa manufacturera de envases de vidrio. Basado en la data histórica, el promedio de tiempo de cambio de categoría 5 es de 54 minutos, excediendo el tiempo de cambio estándar establecido para la categoría que es de 50 minutos, alcanzando valores sobre los 85 minutos. Definición del problema establecida con la ayuda de la herramienta 3W+2H reflejado en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1 Tabla de herramienta 3W1H

3W+2H	
¿Qué?	Alto tiempo de cambio de categoría 5
¿Dónde?	En la línea de producción número 2 en una compañía de vidrio
¿Cuándo?	Desde enero 1 del 2023
¿Qué tanto?	El promedio de tiempo de cambio de categoría 5 es de 54 minutos, alcanzando valores superiores a 85 minutos
¿Cómo lo sé?	El tiempo de cambio estándar establecido por la empresa para la categoría 5 es de 50 minutos

1.1.2 Alcance del proyecto

Este proyecto busca diseñar y aplicar una estrategia para disminuir el tiempo que se tarda en cambiar de referencia de un SKU a otro usando la metodología DMAIC en una empresa que se dedica a la producción de envases de vidrio, durante el periodo que va desde octubre de 2023 hasta enero de 2024. El problema que se quiere solucionar es el elevado tiempo de parada que se produce en la línea de producción cada vez que se hace un cambio de referencia de una SKU a otro, lo que repercute en la productividad, la calidad y la rentabilidad de la empresa.

1.1.3 Requerimientos del cliente

Para el análisis del proceso de cambio de un SKU a otro en la producción de botellas de vidrio, se identificaron los factores que afectan el tiempo y la calidad de este, se realizó entrevistas semiestructuradas a los actores involucrados en el proceso tales como; el líder de la línea de producción de la máquina A2, el coordinador del grupo de cambio, el coordinador senior del grupo de cambio y los operadores de máquina. Estos últimos fueron los aportadores de más información sobre las dificultades y oportunidades de mejora que se presentan en el cambio de SKU, ya que son los que tienen mayor contacto con el problema y conocen los detalles del proceso.

Por su parte, el coordinador del grupo de cambio brindó una visión más general y orientada a la gestión del recurso humano y material. La información recabada se organizó en categorías temáticas mediante un diagrama de afinidad, el cual se muestra en la figura 1.2.

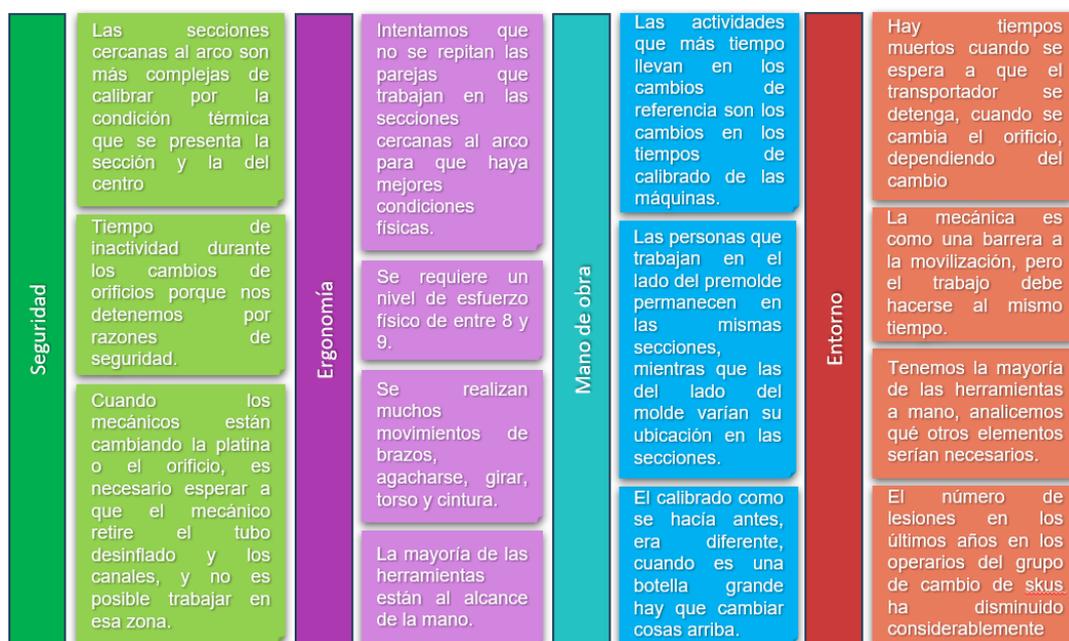


Figura 1.2 Diagrama de afinidad con relación al cliente

Con la información agrupada se dio paso a la estructuración del CTQ TREE donde se identifican las diferentes necesidades del cliente segmentadas en; seguridad, ergonomía mano de obra y entorno como se visualiza en la figura 1.3.

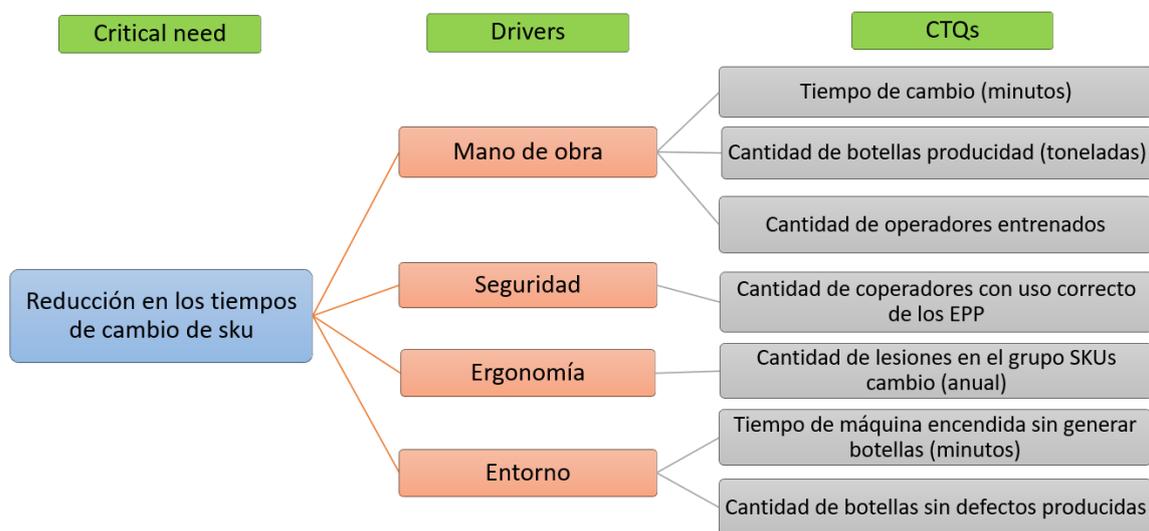


Figura 1.3 CTQ tree

Donde se definió como variable respuesta el tiempo de cambios en minutos, y con la información recolectada se plantearon los siguientes tres indicadores respecto al ámbito social, ambiental y económico para empresa, visualizados en la figura 1.4.



Figura 1.4 Métricas del TBL

1.2 Justificación del problema

Los altos tiempos de ajuste de equipo variable y de movimiento en el cambio de referencia de un SKU a otro en una empresa dedicada a la producción de envases de vidrio, ocasionan altos desperdicios por lo que la empresa analiza alternativas sustentables a corto y a mediano plazo para aumentar la eficiencia de esta operación.

1.2.1 Justificación social

Este pilar es fundamental para que todos los operadores del grupo cambio sean conscientes y aporten con ideas para la implementación de herramientas de mejora continua como lo es el SMED.

Brindar y asegurar que los operadores conozcan sobre estas herramientas los hará involucrarse en todo el proceso que se llevara a cabo a lo largo de este proyecto aportando con ideas y conocimientos sobre la situación que pasa actualmente en el cambio de referencia. Considerando la importancia de esta herramienta para la reducción de los tiempos en los cambios de referencia, el pilar social se obtiene de la métrica:

$$\text{Cantidad de operadores entrenados} = \text{Cantidad de operadores capacitados en SMED}$$

1.2.2 Justificación Ambiental

Cada vez son más las personas y las empresas que tiene como prioridad realizar actividades que sean sostenibles para el medio ambiente y este proyecto no es la excepción. Cada segundo que la maquina está sin funcionar por el cambio de referencia de un SKU a otro desperdicia materia prima, en este caso vidrio por lo que se tiene que reprocesar toda esa materia prima consumiendo en el proceso, luz, agua, gas licuado de petróleo entre otros recursos naturales. Por lo que al reducir el tiempo de cambio de referencia se ahorrara todos esos recursos mencionados por lo que se busca reducir el tiempo de inactividad de la maquina hasta su punto mínimo. Por lo tanto, para el pilar ambiental se utilizó la métrica:

$$\text{Tiempo improductivo} = \text{Tiempo total} - \text{Tiempo productivo}$$

1.2.3 Justificación económica

La rentabilidad de la empresa es el eje principal sobre el cual gira todo por ende el ahorro de dinero es fundamental para asegurar que dicha rentabilidad crezca, teniendo eso claro, al reducir el tiempo de cambio de referencia significa que la maquina empezara a producir botellas antes de lo habitual y el número de botellas producidas aumentara. Ahora poniéndonos en contexto la línea A2 tiene un promedio de 80 cambios de referencia al año y si en cada cambio se piensa ahorrar 8 minutos, sabiendo que la maquina produce 120 botellas por minutos y que cada botella se vende en promedio a 0.97 centavos nos da un total de \$74496 más al año. Entonces para el pilar económico se tiene la siguiente métrica.

$$\text{Botellas producidas en 12 horas} = \left(\frac{\text{cantidad de botellas producidas}}{\text{cantidad teórica de botellas producidas}} \right) * 100$$

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Reducir el tiempo de cambio total de 54 minutos a 46 minutos en la segunda línea de producción en los cambios de categoría 5, sin superar los 60 minutos por cambio, de octubre del 2023 a enero del 2024, mediante la aplicación de la metodología DMAIC

1.3.2 Objetivos específicos

- Analizar los datos recogidos para identificar las causas profundas utilizando herramientas cualitativas.
- Aplicar mejoras para reducir el tiempo de cambio.
- Establecer un plan de seguimiento para evaluar la aplicación

1.4 Marco teórico

1.4.1 Metodología DMAIC

Para comprender la metodología DMAIC, sus componentes y las herramientas que se aplican en cada uno de ellos, es necesario conocer un poco de su origen. Esta metodología surgió en los años 80 como parte de la iniciativa Six Sigma, que Motorola impulsó para mejorar la calidad y reducir la variabilidad y los defectos en sus procesos de producción. Más tarde, se expandió a otros ámbitos y se integró con los principios de Lean, que se centran en eliminar los desperdicios y aumentar el valor para el cliente (Burgasí Delgado & Cobo Panchi, 2021).

La metodología DMAIC es un proceso de mejora continua basado en datos que se usa para optimizar la calidad y la eficiencia de los procesos industriales. DMAIC son las siglas de las cinco fases que lo conforman: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. A continuación, te describo brevemente cada una de ellas y las herramientas que se pueden emplear en cada fase (Espinoza & Rojas Parraga, 2021).

- **Definir:** Esta fase consiste en definir el problema que se quiere resolver, el objetivo que se quiere lograr y el alcance del proyecto. Algunas herramientas que se pueden emplear en esta fase son: la carta del proyecto, el diagrama SIPOC (proveedores, entradas, procesos, salidas y clientes), así como el mapa de procesos y el análisis de las partes interesadas (Gutiérrez, 2017).
- **Medir:** Esta fase consiste en obtener datos sobre el proceso actual y el nivel de calidad que se está logrando. Algunas herramientas que se pueden emplear en esta fase son: el plan de recogida de datos, las hojas de verificación, los histogramas, los diagramas de Pareto, los gráficos de control y el cálculo del índice de capacidad del proceso C_p y C_{pk} (Téllez, 2018).

- **Analizar:** Esta fase consiste en determinar las causas raíz de los problemas y las posibilidades de mejora. Algunas herramientas que se pueden emplear en esta fase son: el diagrama de Ishikawa o de espina de pescado, el análisis de regresión, el análisis de varianza (ANOVA), el análisis de modos y efectos de fallo (AMEF) y la técnica de los cinco porqués (Pérez Domínguez & Pérez Blanco, 2020).
- **Mejorar:** Esta fase consiste en generar, evaluar e implementar soluciones para optimizar el proceso y reducir los defectos. Algunas herramientas que se pueden emplear en esta fase son: el análisis de campo de fuerzas, el análisis de decisión multicriterio, el diseño de experimentos (DOE), el plan de acción y el plan de prueba piloto (Pérez Domínguez & Pérez Blanco, 2020).
- **Controlar:** Esta fase consiste en comprobar que las mejoras se sostengan en el tiempo y que se alcancen los objetivos propuestos. Algunas herramientas que se pueden emplear en esta fase son: el plan de control, el gráfico de control, el análisis de capacidad del proceso y el análisis de coste-beneficio (García González, Paredes Castañeda, & Bayona Ibáñez, 2022).

1.4.2 Herramienta SMED

SMED significa Cambio de Herramienta en Pocos Minutos, y es una herramienta que se emplea en los sistemas de producción para disminuir el tiempo que se desperdicia al cambiar de máquina entre producciones de distintos productos (Andrade, 2018). El propósito de SMED es que el cambio de máquina se realice en menos de 10 minutos. Los pasos para implementar SMED son los siguientes:

- **Preparación previa:** Consiste en analizar el proceso actual, el producto, la máquina, el layout, las instrucciones de preparación, etc. También se deben recabar datos históricos de los tiempos de preparación.

- Separar lo interno de lo externo: Consiste en distinguir las actividades de preparación que se pueden realizar con la máquina funcionando (externas) y las que se deben realizar con la máquina detenida (internas).
 - Organizar actividades externas: Consiste en planear y mejorar las actividades externas para que se realicen de forma eficaz y segura.
 - Convertir lo interno en externo: Consiste en hallar formas de realizar las actividades internas con la máquina funcionando, por ejemplo, mediante el uso de dispositivos de ajuste rápido, de fijación rápida, de centrado automático, etc.
 - Reducir los tiempos de actividades internas: Consiste en optimizar las actividades internas que no se pueden convertir en externas, por ejemplo, mediante la estandarización, la simplificación, la eliminación de ajustes, etc.
 - Realizar el seguimiento: Consiste en medir y supervisar los resultados del SMED, por ejemplo, mediante el uso de indicadores de rendimiento, auditorías, revisiones, etc.
- (Carbonell, 2013).

El SMED nos puede ayudar a incrementar la productividad de la empresa, ya que al disminuir el tiempo de cambio de máquina se pueden obtener los siguientes beneficios:

- Incrementar la capacidad de producción al disminuir el tiempo improductivo.
- Disminuir el stock en proceso al poder fabricar lotes más pequeños y frecuentes.
- Incrementar la calidad al disminuir el riesgo de defectos y averías.
- Mejorar la flexibilidad al poder adaptarse mejor a las demandas del cliente.
- Disminuir los costes al ahorrar recursos y espacio (Camacho, López, & Bonilla, 2010).

Capítulo 2

2.1 Problema declarado

De acuerdo con la metodología DMAIC, se debe de elegir una variable de respuesta o “Y” como se conoce en la metodología DMAIC, esta sería definida como la reducción en el tiempo de cambio en línea de producción 2, enfocados en los tiempos de cambio de categoría 5, teniendo como componentes de está Y a analizar las actividades que se realizan durante el cambio las cuáles serían las actividades internas externas y las actividades internas que pueden ser externas. En el proyecto se estableció un problema enfocado: Reducir el tiempo medio de cambio de 54 minutos a 46 minutos en la segunda línea de producción en los cambios de categoría 5, sin superar los 60 minutos por cambio, de octubre a diciembre de 2023.

2.2 Medición

En esta etapa de medición, se analizó el estado actual del proceso de cambio de referencia de un SKU a otro en la línea A2 categoría 5, esto mediante el estudio estadístico de su data histórica y una muestra de 10 observaciones para entender mejor el comportamiento de los mismos datos. Tras el estudio estadístico, se conoció el proceso de cambio de referencia y cada actividad que se da en él.

2.2.1 Diagrama del proceso – OTIDA

Se realizó el grafico de flujo OTIDA (Operación, Transporte, Inspección, Demora y Archivo) en donde se observa de manera detallada cada actividad que realizan los operadores tanto del lado molde como del pre-molde de la línea de producción, también se identificaron los tiempos que se demoran en cada actividad y si estas actividades agregan o no valor al proceso.

Lado Molde							
Actividades	Tiempo	Agregan valor	Operación	Transporte	Inspección	Demora	Archivo
Apagar las secciones y sus mecanismos	1 min	NAVN	0.1				
Remover las pinzas	2 min	AV	0.2				
Remover los fondos de moldes	2 min	AV	0.3				
Bajar el brazo de inversión	2 min	AV	0.4				
Buscar carrito de pinzas y fondos	1 min	NAV		T-1			
Dejar las pinzas y los fondos de molde	1 min	NAV		T-2			
Remover las boquilleras	2 min	AV	0.5				
Remover los moldes	4 min	AV	0.6				
Dejar las boquilleras y los moldes en su carrito respectivo	2 min	NAV		T-3			
Traer a la maquina el nuevo molde	2 min	NAV		T-4			
Remover la cabeza de sopladora	3 min	AV	0.7				
Colocar el nuevo molde	6 min	AV	0.8				
Buscar el carrito con las nuevas pinzas, sopladoras y	3 min	NAV		T-5			
Colocar las nuevas boquilleras	3 min	AV	0.9				
Colocar las nuevas sopladoras	2 min	AV	0.10				
Colocar las nuevas pinzas	4 min	AV	0.11				
Ajustar la altura de el brazo de inversion	4 min	AV	0.12				
Prender la seccion y activar los mecanismos	1 min	AV	0.13				
Esperar la caída de la gota	1 min	NAV				E-1	
Inspección de las botellas y sus características	12 min	NAV			I-1		

Figura 2.1 Diagrama OTIDA: Paso a paso de cambio de SKU lado molde para línea de producción 2 de categoría 5

Lado Premolde							
Actividades	Tiempo	Agregan valor	Operación	Transporte	Inspección	Demora	Archivo
Apagar las secciones y sus mecanismos	1 min	NAVN	0.1				
Remover los premoldes	3 min	AV	0.2				
Remover los profundos	2 min	AV	0.3				
Remover las binchas de los machos y los machos	3 min	AV	0.4				
Llevar los premoldes, los profundos y los machos a su carrito	2 min	NAV		T-1			
Buscar el carrito de los llevadores de premoldes	1 min	NAV		T-2			
Remover los llevadores de premolde	3 min	AV	0.5				
Dejar los llevadores de premoldes y traer los nuevos	2 min	NAV		T-3			
Remover los espaciadores y los porta macho	2 min	AV	0.6				
Ajustar los nuevos llevadores de premolde	4 min	AV	0.7				
Ajustar los nuevos espaciadores, porta machos y machos	3 min	AV	0.8				
Ajustar los nuevos fondos de premolde	2 min	AV	0.9				
Ajustar los nuevos premoldes	3 min	AV	0.10				
Centrar los deflectores	2 min	AV	0.11				
Engrasar todos los nuevos equipos variables	1 min	NAVN	0.12				
Esperar a que termine el lado molde	10 min	NAV				E-1	
Encender la sección	1 min	AV	0.13				
Inspeccionar el funcionamiento de la sección	3 min	NAV			I-1		

Figura 2.2 Diagrama OTIDA: Paso a paso de cambio de SKU lado pre-molde para línea de producción 2 de categoría 5

En el diagrama OTIDA figura 2.2 se presentaron un total de 39 actividades, 20 del lado molde y 18 del lado pre-molde para lo cual se identificó que se tiene 10 actividades que no agregan valor, 24 actividades que agregan valor y 5 actividades que no agregan valor, pero son necesarias. También se pudo identificar aquellas actividades internas y externas dentro del proceso lo cual nos servirá más adelante para la aplicación de la herramienta SMED.

2.2.2 Plan recolección datos

La herramienta Plan de recopilación de datos se aplica principalmente para identificar los datos que deben recopilarse para el análisis y la toma de decisiones. Esta sección identifica las variables que surgen del problema que son centrales para la Y previamente identificada. Estas variables deben ser demostrables y relevantes para el enfoque. Deben ser medibles, analizados mediante métricas y contener datos continuos o discretos. Se analizará con la base de datos proporcionada por el personal de mejora continua para obtener una base de datos y una base estadística del problema y ofrecer mejor las acciones recomendadas. La tabla 2.1 presenta el plan de recolección de datos elaborado para el proyecto.

Tabla 2.1 Plan de Recolección de datos

PLAN DE RECOGIDA DE DATOS: LÍNEA DE PRODUCCIÓN 2 CATEGORÍA 5

¿QUÉ? (VARIABLE)	Tipo de data	¿Dónde recolectarla?	¿Cuándo recolectarla?	Método de recolección	Factor de estratificación	Razón
TIEMPO DE CAMBIO TOTAL	Continuo - minutos	Línea de producción de botellas número 2	Ene 2023- Sep 2023	Data histórica	Por actividad	Determinar el momento exacto en que se produce el cambio físico
TIEMPO DE CALIFICACIÓN	Continuo - minutos	Línea de producción de botellas número 2	Ene 2023- Sep 2023	Data histórica	Por actividad	Determinar el momento exacto en que se produce el acoplamiento
PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS	Discreto	Línea de producción de botellas número 2	Desde 16/10/2024	Observación	Actividades externas Actividades internas	Identificar las causas del aumento del tiempo de cambio

TIEMPO DE CAMBIO TOTAL	Continuo - minutos	Línea de producción de botellas número 2	Desde 16/10/2024	Observación	Actividades dentro del cambio que añaden valor Tiempo por actividades dentro del cambio	Determinar el momento exacto en que se produce el cambio físico
TIEMPO DE CALIFICACIÓN	Continuo - minutos	Línea de producción de botellas número 2	Desde 16/10/2024	Observación	Actividades dentro del cambio que añaden valor Tiempo por actividades dentro del cambio	Determinar el momento exacto en que se produce el acoplamiento

2.2.3 Prueba de normalidad

Se probó la normalidad de los datos históricos agregados para determinar si se distribuían normalmente. Las pruebas de normalidad se realizaron en aproximadamente el 95% para determinar si se cumple la siguiente hipótesis:

H_0 = Los datos se distribuyen normalmente.

H_1 = Los datos no se distribuyen normalmente

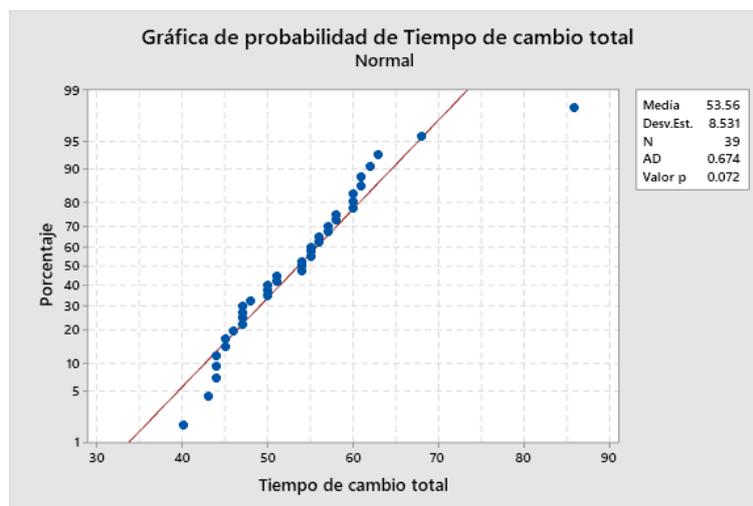


Figura 2.3 Prueba de normalidad para variable de respuesta

Como se visualiza en la figura 2.3 los datos de enero a septiembre del 2023 siguen una distribución normal. Esto se debe a que el valor p obtenido es de 0,072. Este valor es mayor que el nivel de significancia de 0,05, lo que significa que la hipótesis nula es aceptada, concluyendo que los datos siguen una distribución normal.

Para analizar la variación del proceso, se elaboró un gráfico de control para identificar puntos de referencia dentro del rango y analizar las posibilidades registradas en un gráfico específico, donde la presencia. Algunas tareas están fuera del gráfico promedio donde el análisis de variables reduce el tiempo de cambio. La figura 2.4 presenta los valores de control.

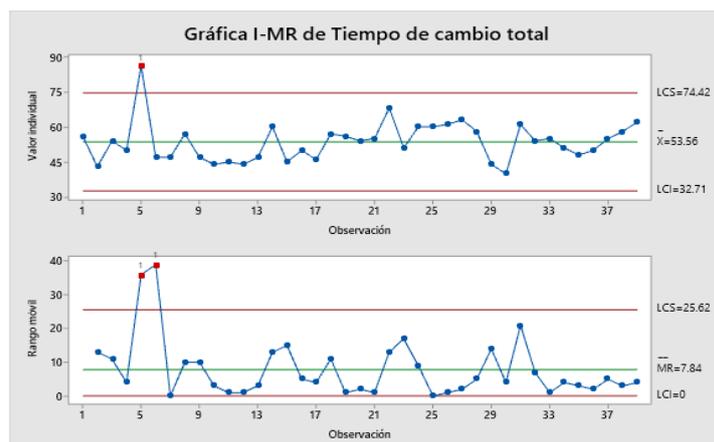


Figura 2.4 Carta de control individual y rango móvil fuera de control estadístico

La grafica de control muestra un proceso fuera de control estadístico. El punto 5 se encuentra fuera de control, es una causa especial, causada debido a que se realizó un trabajo de mantenimiento de tijeras en los alimentadores, retrasando la caída de gota de vidrio; Por eso se procedió a eliminar para recalcular los límites y estimar los parámetros. La figura 2.5 presenta los nuevos valores de control.

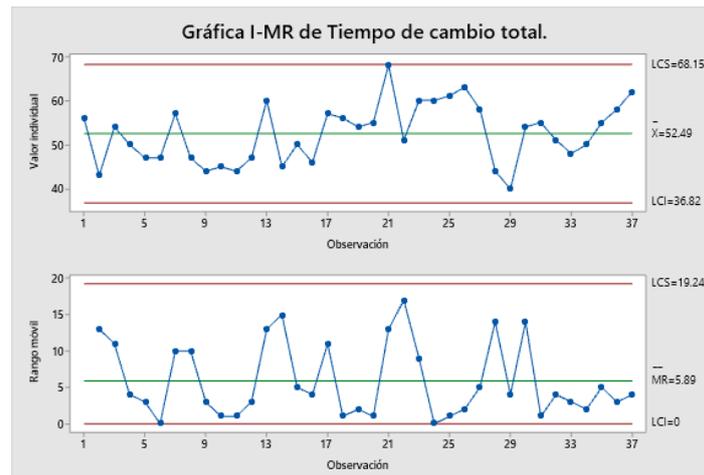


Figura 2.5 Carta de control individual y rango móvil en control estadístico

Eliminando el punto fuera de control el proceso es estable y está bajo control estadístico. No hay puntos fuera de los límites de control, aunque hay algunos puntos cerca del límite que indican que si la variabilidad aumenta el proceso estará fuera de control estadístico.

2.2.4 Análisis de capacidad

El C_{pk} es un indicador de la capacidad de un proceso que considera la asimetría del mismo respecto al valor objetivo, evaluando los límites de especificación superior e inferior para estimar la confiabilidad del proceso (Kotz & Johnson, 2017). La figura 2.6 muestra el informe de capacidad de nuestro proceso.

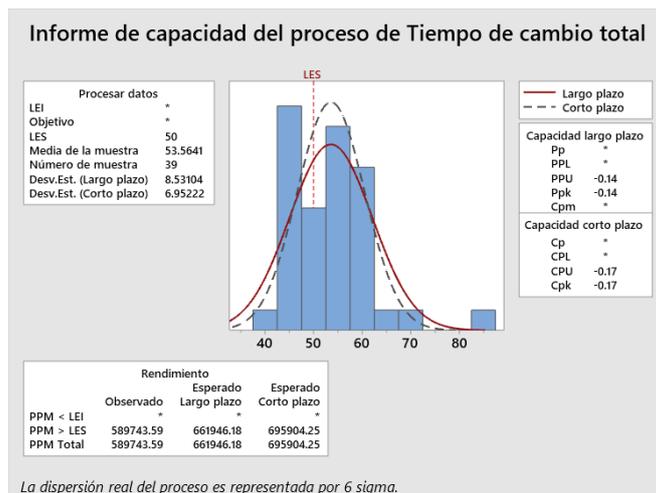


Figura 2.6 Análisis de capacidad del proceso

Para el análisis de capacidad se estableció un límite de especificación superior el cual es 50 minutos. En la figura 2.6 se puede visualizar el análisis, se obtuvo un $cpk = -0.17$, lo que indica mi proceso actual no es capaz (Cpk) y a largo plazo lo será menos (Ppk). Por lo tanto, se justifica la aplicación de DMAIC, donde el objetivo será reducir la variabilidad.

2.2.5 Análisis de data para determinar el tamaño de muestra

Con base al plan de recolección de datos de la figura 1 se procede a realizar la comparación de los datos históricos recopilados desde enero a septiembre del 2023 y los datos recolectados por los líderes del proyecto mediante el uso de un cronometro durante el cambio de SKU, para ello se utilizó la fórmula del tamaño de muestra para determinar la cantidad de muestra necesaria a tomar.

$$N = \frac{(\alpha * S_{30})^2}{(d)^2}$$

Donde:

N: Tamaño mínimo de la muestra.

s: Desviación estándar.

d: Nivel de precisión.

α : Nivel de confianza.

Con los datos históricos de los tiempos de cambio físico y de calificación se procedió a calcular el tamaño mínimo de la muestra, obteniendo como resultado los valores dentro de la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Tabla de resultados muestreos tiempo de cambio físico y tiempo de calificación

	Physical changeover time	Warm up time
Sample Size	30	30
Mean (M30)	38	19
Standard Desviation (S30)	3.08	1.44
Error(e)	0.05	0.05
N	9.88	9.13
	10	10

2.2.6 Plan de confiabilidad de los datos

$$N = \frac{(1.69 * S_{30})^2}{(0.05 * M_{30})^2} = 10$$

Con la fórmula para saber el número mínimo de muestra que se debe tomar para validar los datos, se calculó el resultado de $n=10$ con un nivel de significancia del 95%, con el que se procedió a tomar la muestra respectiva de tiempos de cambio físico y tiempo de calibración para proceder con la comparación de medias para poder concluir si los datos son confiables, tanto para la variable de tiempo de calibración y tiempo de cambio físico. Para determinar si cumplen se utilizó la siguiente hipótesis:

Ho= Las medias son iguales.

H1= Las medias son diferentes

Como se observa en la figura 2.7 y figura 2.10, al momento que se realizó la prueba de medias entre los 30 datos históricos y la muestra de tiempos tanto para el tiempo de cambio físico como para el tiempo de calificación.

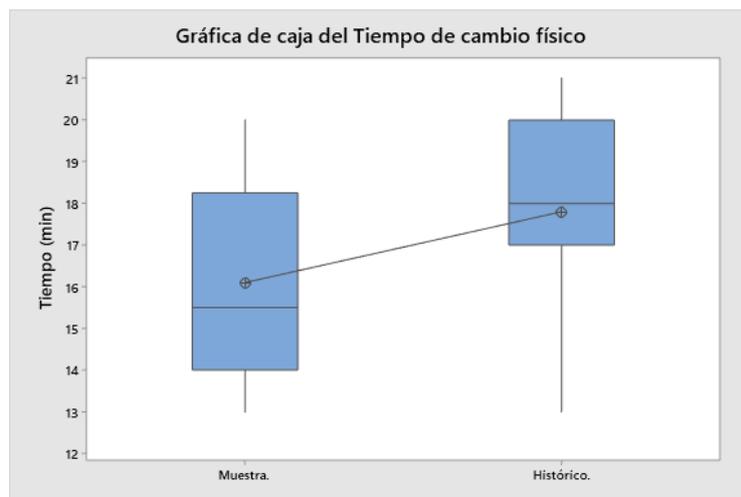


Figura 2.7 Comparación de tiempos de cambio físico

En la data histórica se utilizó una total de 30 muestras, mientras que en la data de muestra se utilizó un total de 10 muestras. La presente prueba se la realizó con un intervalo de confianza del 95 %. La figura 2.8 muestra la descripción estadística.

Estadísticas descriptivas

				Error estándar de la media
Muestra	N	Media	Desv.Est.	
Muestra.	10	16.10	2.33	0.74
Histórico.	30	17.80	2.35	0.43

Figura 2.8 Descripción estadística de la comparación de tiempos de cambio físico

Se observó que los datos históricos tienen una media de 17,8 minutos y una desviación estándar de 2,33, mientras que los datos de muestra tienen una media de 16,1 minutos y una desviación estándar de 2,35. La figura 2.9 muestra los resultados estadísticos de la comparación de tiempos de cambio físico.

Prueba

Hipótesis nula	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$	
Hipótesis alterna	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$	
Valor T	GL	Valor p
-1.99	15	0.065

Figura 2.9 Resultados estadísticos de la comparación de tiempo de cambio físico

Se observó que el valor p obtenido es mayor a 0.05, se concluye que no existe diferencia significativa entre las medias de los tiempos de los datos históricos y las medias de los tiempos tomados en la muestra.

De la misma forma que con la variable de tiempo de cambio físico se realizó el análisis de tiempo de calificación o warm up time como se lo conoce en el mundo de la industria.

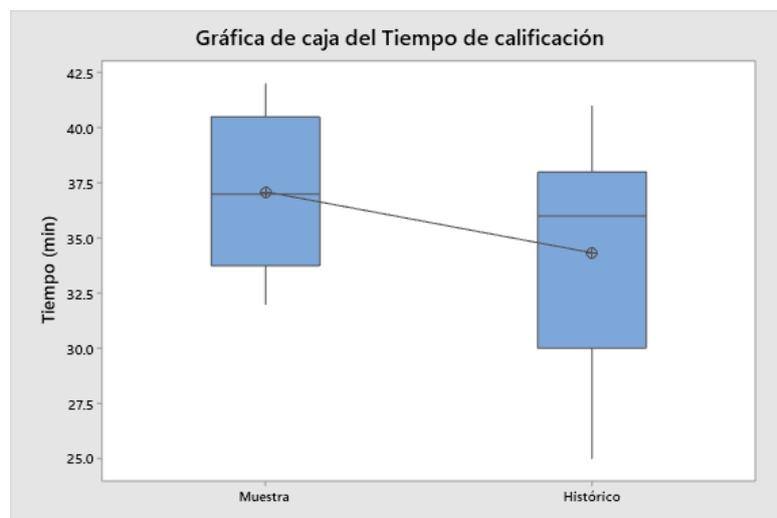


Figura 2.10 Comparación de tiempos de calificación

En la data histórica se utilizó una total de 30 muestras, mientras que en la data de muestra se utilizó un total de 10 muestras. La presente prueba se la realizó con un intervalo de confianza del 95%. La figura 2.11 muestra la descripción estadística de la comparación del tiempo de calificación.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Muestra	10	37.10	3.60	1.1
Histórico	30	34.33	4.59	0.84

Figura 2.11 Descripción estadística de la comparación de tiempos de calificación

Se observó que los datos históricos tienen una media de 37,1 minutos y una desviación estándar de 3,6, mientras que los datos de muestra tienen una media de 16,1 minutos y una desviación estándar de 4,59. La figura 2.12 muestra los resultados estadísticos de esta comparación.

Prueba

Hipótesis nula	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$	
Hipótesis alterna	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$	
Valor T	GL	Valor p
1.96	19	0.065

Figura 2.12 Resultados estadísticos de la comparación de tiempo de calificación

Se observa que el valor p obtenido es mayor a 0.05, se concluye que no existe diferencia significativa entre las medias de los tiempos de los datos históricos y las medias de los tiempos tomados en la muestra.

2.2.6 Estratificación

Una vez que se analizó los datos, comprobado su normalidad y comprobado la tendencia histórica con los datos actuales podemos seguir con el análisis la cual comienza con la estratificación de datos mediante un Pareto en el cual se compara las actividades que se dan dentro del tiempo de cambio de SKU y el tiempo que toman estas actividades. La figura 2.13

muestra el diagrama Pareto de las actividades que más tiempo toman en el cambio de referencia de un SKU a otro.

- Ajuste del equipo variable
- Retirar equipo variable
- Movimiento del equipo variable
- Reajuste de secciones
- Búsqueda de herramientas
- Estabilización de secciones
- Tiempo de espera
- Lubricación de secciones

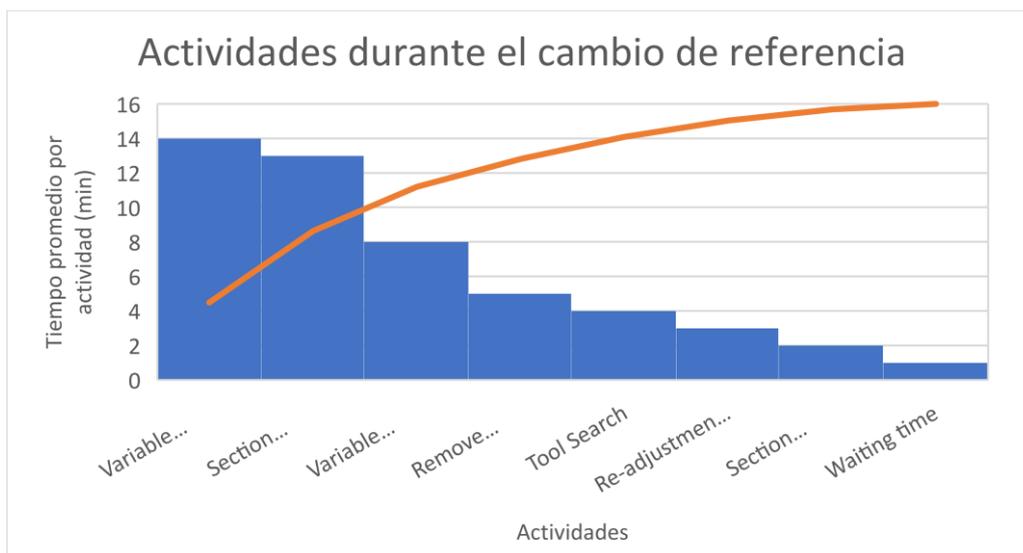


Figura 2.13 Diagrama de Pareto de las actividades durante el cambio de SKU

2.2.7 Problema enfocado

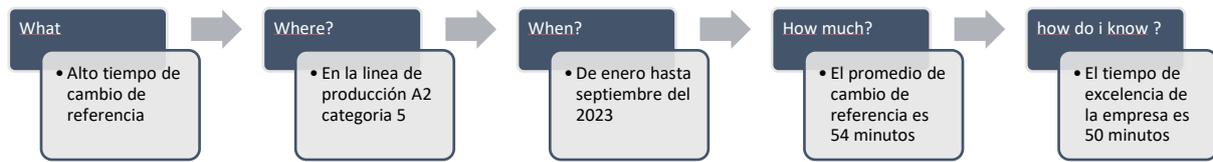


Figura 2.14 Problema enfocado

Teniendo como un problema enfocado que existe un elevado tiempo de cambio de referencia en la línea A2 categoría 5 de enero a septiembre de 2023. Teniendo un tiempo medio de 54 minutos cuando el mínimo ha sido de 36 minutos.

También es importante en este punto conocer el contexto de la empresa, esta empresa cuenta actualmente con 4 líneas de producción A1, A2, A3 y A4, en la cual la línea A2 tiene un total de 68 cambio de referencia entre enero y septiembre siendo esta la línea con mayor cantidad de cambios en el año. Otro aspecto a tener en cuenta para la empresa es que esta se basa en categoría para su cambio referencia, teniendo actualmente categoría 4, 5 y 6. La figura 2.14 muestra el paso a paso del problema enfocado.

El numero de la categoría lo definen la cantidad de equipos variables que necesitan cambiar mientras más equipos variables se necesitan cambiar mayor la categoría. Habiendo un total de 39 cambios categoría 5 en la línea 2 siendo esta la categoría que más se da en la línea A2, por lo que nos enfocaremos en la línea 2 categoría 5.

Para centrarnos más en el problema y profundizar en el contexto de la situación, se utiliza la herramienta 5W 2H, que se centra en tres actividades relacionadas con Pareto y nos ayuda a encontrarlas. La tabla 2.3 muestra el paso a paso de la metodología 5W+2H

Tabla 2.3 *Tabla de metodología 5W2H*

5W+2H						
<i>What?</i>	<i>Why?</i>	<i>When?</i>	<i>Where?</i>	<i>Who?</i>	<i>How?</i>	<i>How much?</i>
<i>Reducir el tiempo de preparación de los equipos variables</i>	Mejorar la productividad de la empresa	Desde Septiembre a Enero 2023	En la línea de producción A2	NA	Aplicando la metodología DMAIC	3 minutos
<i>Reducir el tiempo de estabilización de la sección</i>	Mejorar la productividad de la empresa	Desde Septiembre a Enero 2023	En la línea de producción A2	NA	Aplicando la metodología DMAIC	3 minutos
<i>Reducir el tiempo variable de movimiento de los equipos</i>	Mejorar la productividad de la empresa	Desde Septiembre a Enero 2023	En la línea de producción A2	NA	Aplicando la metodología DMAIC	2 minutos

2.3 Analizar

Para el análisis una vez enfocado nuestro problema en el proceso de cambio de referencia en línea de producción 2 categoría 5, se utilizó diferentes herramientas como lluvia de ideas, diagrama Ishikawa, matriz causas efectos, diagrama impacto control y los 5 porqués para así poder hallar la causa raíz de nuestro problema.

2.3.1 Lluvia de ideas

Se empezó por la lluvia de ideas para cada una de nuestras variables, el cual se realizó en conjunto con diferentes miembros de la empresa como los operadores del grupo cambio los cuales alrededor de 20 años de experiencia dentro del cambio de referencia, el coordinador de grupo cambio y el líder de línea 2.

2.3.1.1 Lluvia de ideas para movimiento de equipo variable

La primera lluvia de ideas en mostrarse en la figura 2.15 es sobre nuestra variable “movimiento de equipo variable”.



Figura 2.15 Luvia de ideas para movimiento de equipo variable

2.3.1.2 Lluvia de ideas para estabilización de la sección

Esta segunda lluvia de ideas que se muestra en la figura 2.16 fue enfocada para la variable “estabilización de la sección”.

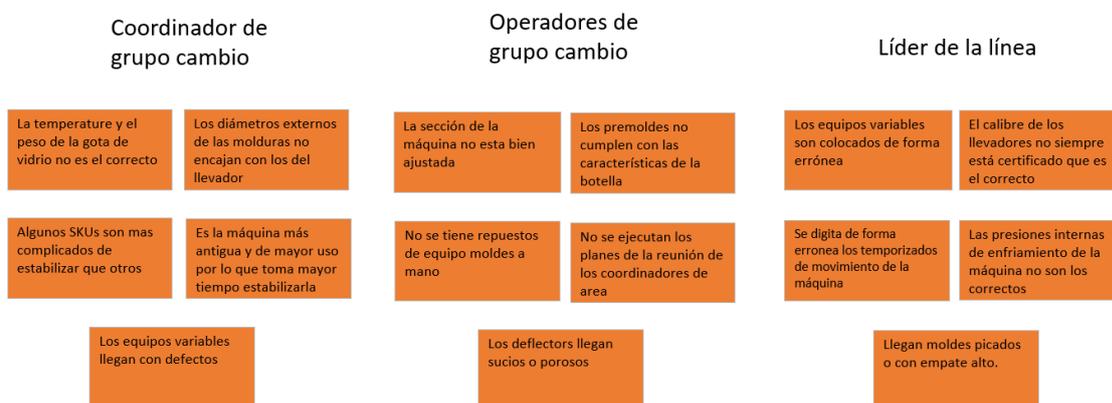


Figura 2.16 Luvia de ideas para estabilización de la sección

2.3.1.3 Lluvia de ideas para ajuste de equipo variable

Mientras que la última lluvia de ideas que se muestra en la figura 2.17 se centró en “ajuste de equipo variable”.

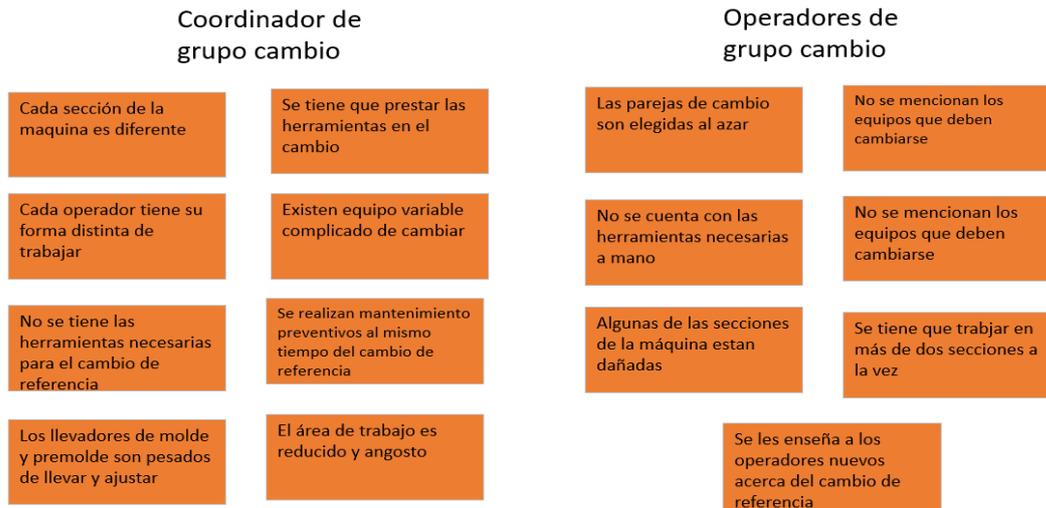


Figura 2.17 Lluvia de ideas para ajuste de equipo variable

2.3.2 Ishikawa

Antes de iniciar con el diagrama Ishikawa se debe conocer un poco sobre la teoría detrás de este diagrama y cuál es su funcionamiento.

El diagrama de Ishikawa es una herramienta que permite identificar y analizar las causas que originan un problema o un efecto. Su nombre se debe a que fue creado por el ingeniero japonés Kaoru Ishikawa en 1943, quien lo empleó para mejorar la calidad de los procesos industriales. El diagrama de Ishikawa también se conoce como diagrama de causa-efecto, diagrama de espina de pescado o diagrama de las 6 M (máquina, método, material, mano de obra, medio ambiente y medida). (Burgasí Delgado & Cobo Panchi, 2021)

2.3.2.1 Ishikawa de movimiento de equipo variable

Ahora una vez que sabemos para que sirve el diagrama Ishikawa y teniendo realizada la lluvia de ideas el siguiente paso es separar esas dichas ideas por categoría en el diagrama Ishikawa, uno por cada lluvia de ideas, el primero que se presenta es el diagrama Ishikawa en la figura 2.18 para movimiento de equipo variable.

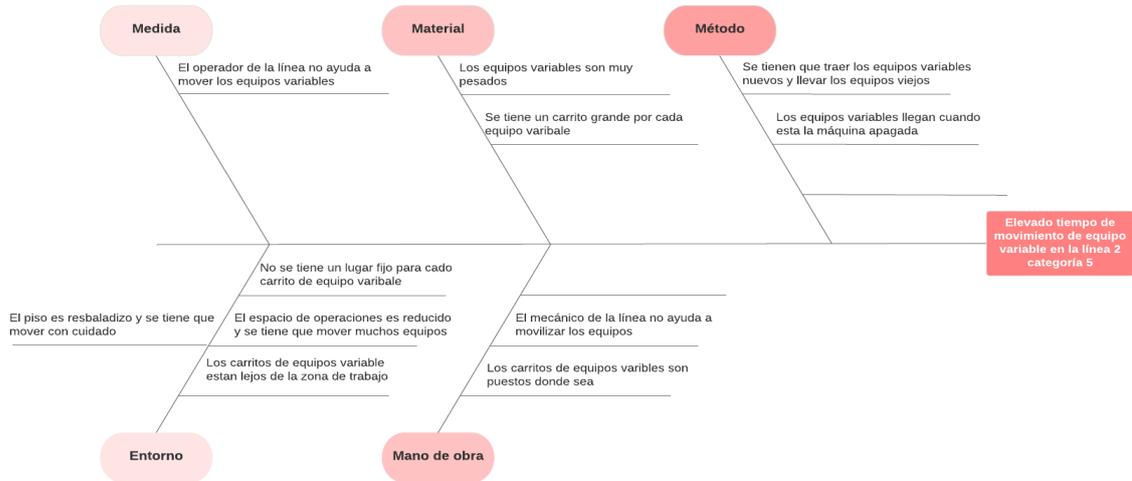


Figura 2.18 Ishikawa para movimiento de equipo variable

2.3.2.2 Ishikawa para estabilización de la sección

El segundo Ishikawa que se presente en la figura 2.19 es para la lluvia de ideas de estabilización de la sección.

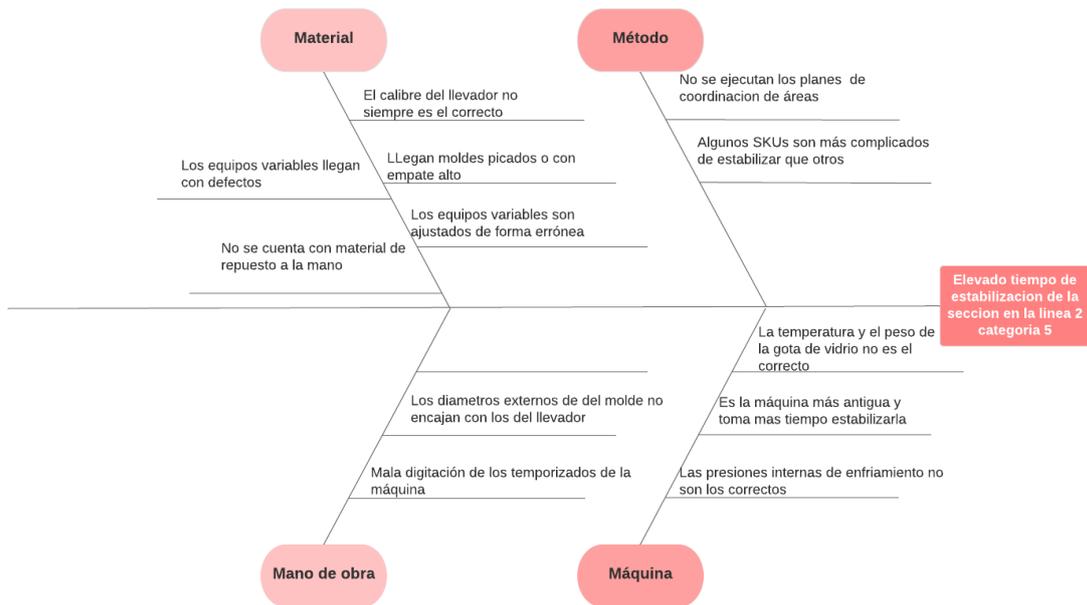


Figura 2.19 Ishikawa para estabilización de la sección

2.3.2.3 Ishikawa para ajuste de equipo variable

El ultimo Ishikawa que se presenta en la figura 2.20 es de la lluvia de ideas sobre ajuste de equipo variable.

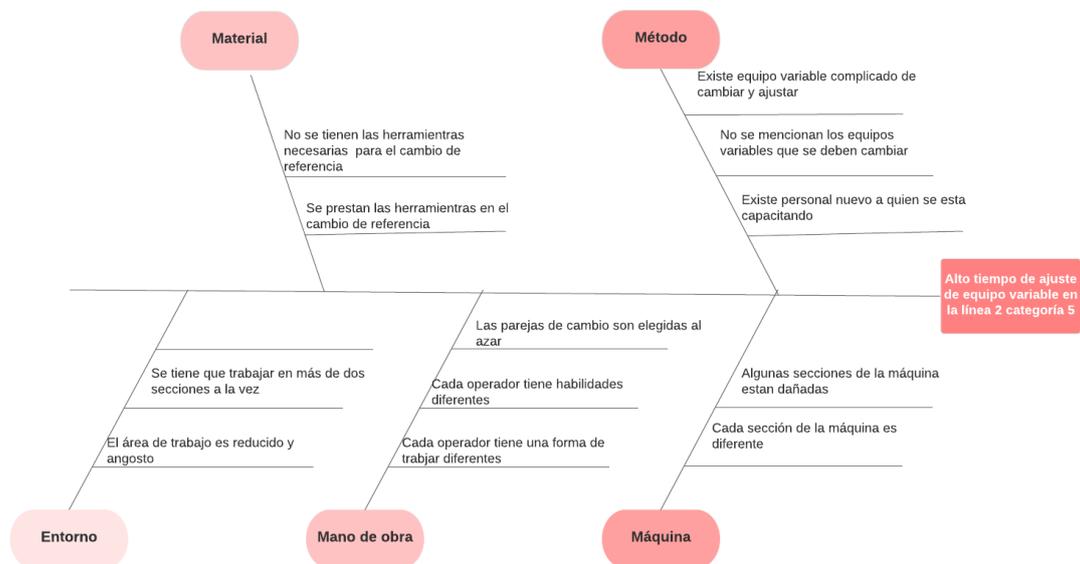


Figura 2.20 Ishikawa para ajuste de equipo variable

2.3.3 Causas potenciales

Para la aplicación de la herramienta causas potenciales se realizó una reunión con diferentes miembros de la empresa, donde estaban presentes operadores del grupo cambio, líderes de línea, gerente de producción, coordinador de grupo cambio y coordinador senior de grupo cambio, a los cuales se les asignó una abreviatura la cual se detalla en la tabla (). Para este punto también se les explica a las personas en la reunión sobre la puntuación que le pueden dar a cada posible causa la cual se detalla en la tabla 2.4.

Tabla 2.4 Tabla de ponderación de correlación

Asignatura	Cargo	Puntuación	Significado
P1	Operador grupo cambio	0	No tiene influencia
P2	Líder de línea 2	1	Poca influencia
P3	Coordinador senior de grupo cambio	3	Media influencia

P4	Coordinador de grupo cambio
P5	Gerente de producción

9	Alta influencia
---	-----------------

3.3.3.1 Matriz de causas potenciales “Movimiento de equipo variable”

Para la primera matriz la cual se muestra en la tabla 2.5 cada participante le dió una ponderación a cada posible causa para los elevados tiempos en movimiento de equipo variable, en los cuales resalto los que tuvieron mayor impacto fueron:

- Los carritos de equipo variable están lejos de la zona de trabajo.
- Los carritos de equipo no tienen un lugar fijo en el área de cambio
- Los equipos variables llegan a última hora

Tabla 2.5 Matriz de causas potenciales para movimiento de equipo variable

Movimiento de equipo variable							
#	Posibles causas	P1	P2	P3	P4	P5	Total
1	Los carritos de equipo variable están lejos de la zona de trabajo	3	3	9	9	2	26
2	Se tiene que llevar los equipos variables para colocarlos y luego regresar a dejar los salientes	9	3	3	1	0	16
3	El operador de la línea no ayuda a mover los equipos variables	1	1	3	0	1	6
4	El espacio de operación es reducido y se tiene que mover para dejar cada uno de los equipos variables	3	0	9	3	1	16
5	Los carritos de equipo no tienen un lugar fijo en el área de cambio	3	3	3	9	9	27
6	Falta personal que ayude a mover los equipos variables removidos	1	2	0	0	9	12
7	Los equipos variables son muy pesados	3	0	1	3	1	8
8	No se tiene un espacio fijo para los carritos de equipo variable	1	3	0	9	3	16
9	Los equipos variables llegan a última hora	2	3	3	9	1	18
10	Los carritos de equipos variables no entran en la zona de cambio de referencia	9	1	1	1	3	15
11	No se tiene carritos adaptados al espacio de la línea de producción	1	1	1	3	1	7
12	No se colocan los carritos de equipo variable cerca de la zona de operación	3	3	3	3	1	13

2.3.3.2 Matriz de causas potenciales “Ajuste de equipo variable”

Para esta segunda matriz la cual se muestra en la tabla 2.6 cada participante le dió una ponderación a cada posible causa para los elevados tiempos en ajuste de equipo variable, en los cuales resalto los que tuvieron mayor impacto fueron:

- Cada operador tiene su forma distinta de trabajar
- No se tiene las herramientas necesarias para el cambio de referencia

- Las parejas de cambio son elegidas al azar

Tabla 2.6 Matriz de causas potenciales para ajuste de equipo variable

Ajuste de equipo variable							
#	Posibles causas	P1	P2	P3	P4	P5	Total
1	Cada sección de la máquina es diferente	3	3	1	3	1	11
2	Se tiene que prestar las herramientas en el cambio	0	3	1	3	3	10
3	Cada operador tiene su forma distinta de trabajar	9	9	9	3	3	33
4	Existen equipo variable complicado de cambiar	1	1	1	3	3	9
5	No se tiene las herramientas necesarias para el cambio de referencia	9	1	3	1	9	23
6	Se realizan mantenimientos preventivos al mismo tiempo del cambio de referencia	3	3	3	3	9	21
7	El área de trabajo es reducida y angosto	3	3	3	3	3	15
8	Los llevadores de molde y pre-molde son pesados de llevar y ajustar	3	3	3	3	3	15
9	Las parejas de cambio son elegidas al azar	9	9	9	9	9	45
10	No se mencionan los equipos que deben cambiarse	1	3	3	3	3	13
11	No se cuenta con las herramientas necesarias a mano	3	3	1	1	1	9
12	Dos secciones de la maquina están dañadas	3	3	9	3	1	19
13	Se tiene que trabajar en más de dos secciones a la vez	3	3	3	3	9	21
14	Se les enseña a los operadores nuevos acerca del cambio de referencia	3	3	1	1	3	11

2.3.3.3 Matriz de causas potenciales “Estabilización de la sección”

Para esta tercera matriz la cual se muestra en la tabla 2.7 cada participante le dio una ponderación a cada posible causa para los elevados tiempos en estabilización de la sección en los cuales resalto los que tuvieron mayor impacto fueron:

- Los equipos variables del área molde y maquina llegan con defectos a la máquina.
- No se ejecutan los planes acordados por los coordinadores de área.
- Los equipos variables son colocados de forma incorrecta en la sección

Tabla 2.7 Matriz de causas potenciales para estabilización de la sección

Estabilización de la sección							
#	Posibles causas	P1	P2	P3	P4	P5	Total
1	La temperatura y el peso de la gota de vidrio no es el correcto	3	9	3	9	1	25
2	Algunos skus son más complicados de estabilizar que otros	9	3	3	1	1	17
3	Los equipos variables de área molde y maquina llegan con defectos a la maquina	9	9	9	9	9	45
4	Los diámetros externos de las molduras no encajan con los del llevador	3	3	3	1	1	11
5	Es la máquina más antigua y de mayor uso por lo que toma mayor tiempo estabilizarla	0	1	1	1	1	4
6	La sección de la máquina no está bien ajustada	1	1	3	3	3	11
7	No se tiene repuestos de equipo moldes a mano	3	3	3	3	3	15
8	Los deflectores llegan sucios o porosos	9	9	3	1	1	23
9	Los pre-moldes no cumplen con las características de la botella	9	3	3	3	3	21
10	No se ejecutan los planes de la reunión de los coordinadores de área	3	3	3	9	9	27
11	Los equipos variables son colocados de forma incorrecta en la sección	9	9	9	3	3	33
12	Se digita de forma errónea los temporizados de movimiento de la máquina	1	1	1	1	3	7
13	Llegan moldes picados o con empaque alto	9	3	1	3	9	25
14	El calibre de los llevadores no siempre este certificado que es el correcto	3	1	1	1	3	9
15	Las presiones internas de enfriamiento de la máquina no son los correctos	1	1	3	3	2	10

2.3.3.4 Matriz de causas potenciales enfocado

Una vez finalizada la ponderación en las matrices de causas potenciales para cada una de nuestras variables, se escogió las 3 que tenían mayor puntuación de cada una de ellas para luego poder realizar una matriz unificada y poder seleccionar en conjunto con los demás miembros de la empresa cuál de las 9 tuviera un mayor impacto en la empresa y que sea fácil de controlar, las cuales se muestran en la tabla 2.8.

Tabla 2.8 Diagrama de impacto-control

Variable x	Posibles causas
x1	Cada operador tiene su forma distinta de trabajar
x2	No se tiene las herramientas necesarias para el cambio de referencia
x3	Las parejas de cambio son elegidas al azar
x4	Los carritos de equipo variable están lejos de la zona de trabajo
x5	Los carritos de equipo no tienen un lugar fijo en el área de cambio
x6	Los equipos variables llegan a última hora
x7	Los equipos variables de área molde y maquina llegan con defectos a la maquina
x8	No se ejecutan los planes de la reunión de los coordinadores de área
x9	Los equipos variables son colocados de forma incorrecta en la sección

2.3.4 Diagrama impacto control

En conjunto con los miembros de la empresa se escogió que aquellas causas que tiene un mayor impacto y que sean fáciles de controlar como se muestran en la figura 2.21. Ahora se puede explicar par de razones las cuales se cree porque son fáciles de controlar y tienen un gran impacto:

- X5: Debido a que la búsqueda de los carritos de equipos variable dentro del cambio de referencia toma mucho tiempo.
- X1: Existen pareja de operadores que terminar de realizar el cambio de referencia en su sección, pero no pueden arrancar la maquina por la otra pareja de operadores suelen terminar en 54 minutos.

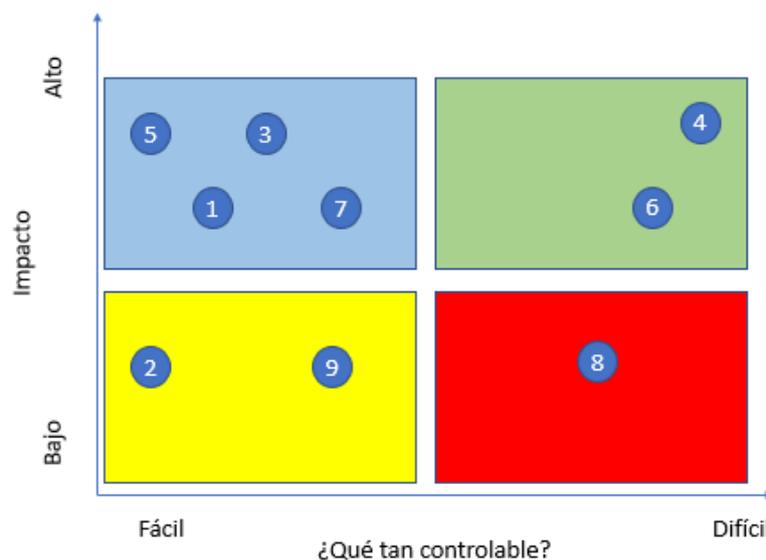


Figura 2.21 Matriz control-impacto

2.3.5 Plan de verificación de causas

En este punto se realizó un plan de verificación de causas con el único objetivo de analizar qué impacto tiene nuestras variables “X” en nuestra variable respuesta “Y”, las cuales se muestran en la tabla 2.9.

Tabla 2.9 Plan de verificación de causas

Variable	Causas potenciales	Impacto x en y	¿Cómo lo compruebas?	¿Quién verifica?	¿Dónde lo compruebas?	Estado
x1	Cada operador tiene su forma distinta de trabajar	Al tener cada operador una forma de operar la maquina esto provoca que algunas secciones de la maquina tome mas tiempos realizar el cambio fisico de equipo variable lo que provoca que la maquina no pueda arrancar	Análisis estadístico	Lideres de proyecto Coordinador senior de grupo cambio	Maquina A2	Verificado
x3	Las parejas de cambio son elegidas al azar	Las parejas asignadas a las secciones de la maquina son elegidas de forma aleatoria no en base a su rendimiento historico lo que genera que haya secciones mal calibradas o que tome mucho mas tiempo realizar el tiempo de cambio fisico impidiendo el arranque de la maquina.	Análisis estadístico	Lideres de proyecto Coordinador senior de grupo cambio	Maquina A2	Verificado
x5	Los carritos de equipo no tiene un lugar fijo en el área de cambio	A menor orden en la zona de cambio de referencia mayor tiempo conyeva buscar y movilizar los equipos varibales dandonos como resultado un elevado tiempos de inactividad	Gemba u observación directaa	Lideres de proyecto Coordinador senior de grupo cambio	Maquina A2	Verificado
x7	Los equipos variables de área molde y maquina llegan con defectos a la máquina.	Cuando los equipos de area molde y area maquina llegan con defecto, este impacta en el tiempo de calificacion ya que se tiene que detener la seccion sacar el equipo defectuoso y colocar uno en buen estado lo que genera tiempo perdido	Gemba u observación directaa	Lideres de proyecto Coordinador senior de grupo cambio	Maquina A2	Verificado

2.3.6 Verificación de causas

2.3.6.1 Verificación de causas: *Cada operador tiene su forma distinta de trabajar y las parejas de cambio son elegidas al azar.*

Para la verificación de la causa x1 y x3, se tomó en cuenta que dentro de la empresa se cuenta con 4 líneas de producción, en la figura 2.22 se observa la distribución de los operadores alrededor de la maquina al momento que toca realizar los cambios de SKU ubicándose dos operadores de cada lado.

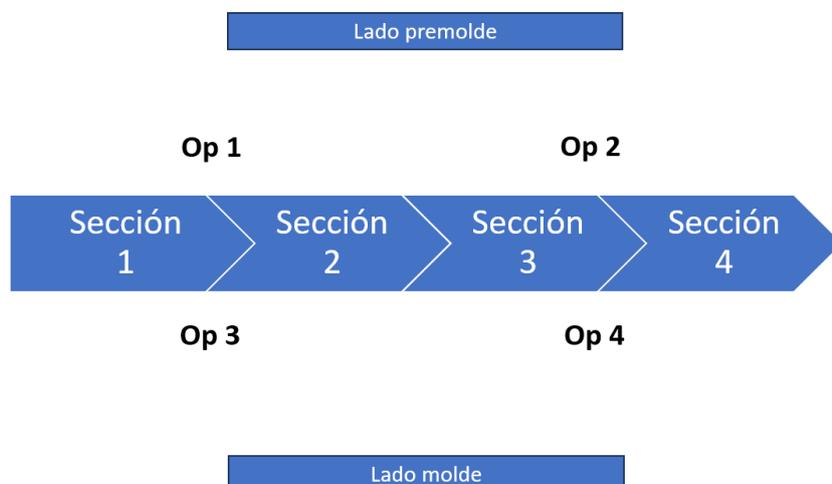


Figura 2.22 Referencia de la máquina de producción A2

Para determinar si los tiempos de realizar el trabajo son iguales se utiliza un análisis de medias en la cual se aplica la siguiente hipótesis:

H0: Tiempos iguales de realizar el trabajo

H1: Tiempos diferentes de realizar el trabajo

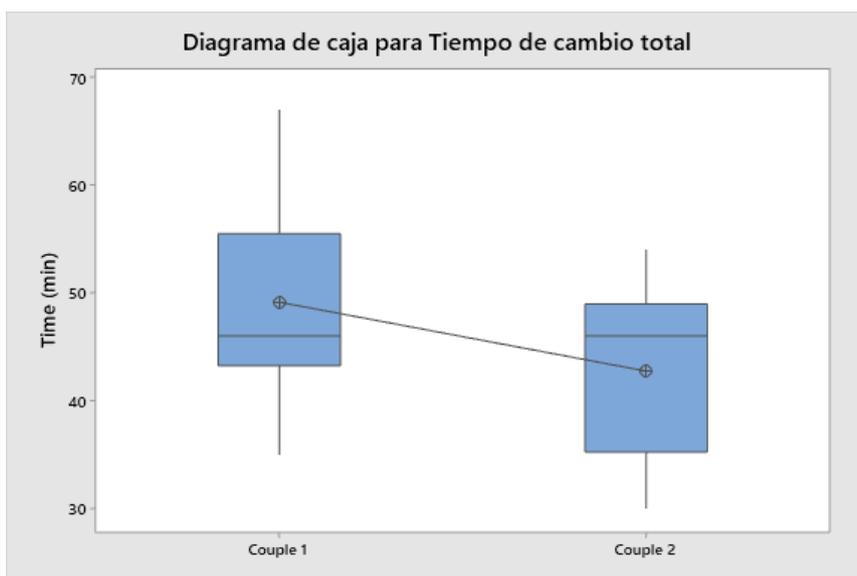


Figura 2.23 Comparación de medias entre couple 1 y couple 2

Valor T	GL	Valor p	Mediana	
2.34	26	0.027	46	
Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Couple 1	20	52.4	16.7	3.7
Couple 2	20	42.75	7.63	1.7

Figura 2.24 Descripción estadística de la comparación de tiempos de cambio entre couple 1 y couple 2

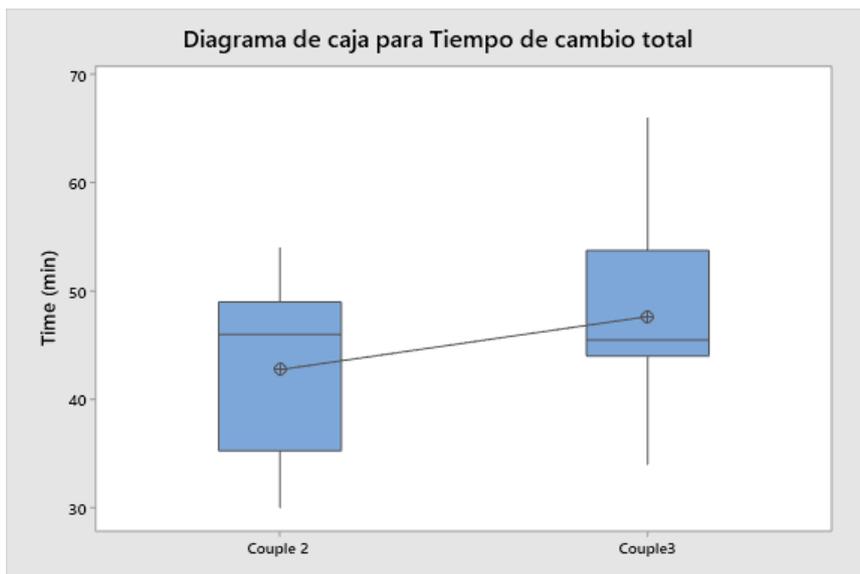


Figura 2.25 Comparación de medias entre couple 2 y couple 3

	Valor T	GL	Valor p
	-2.08	37	0.044

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Couple 2	20	42.75	7.63	1.7
Couple 3	20	47.65	7.26	1.6

Figura 2.26 Descripción estadística de la comparación de tiempos de cambio entre couple 2 y couple 3

Hay pruebas suficientes para concluir que las medias difieren al nivel de significación de 0,05 tanto en la comparación entre la pareja 1 y 2 y entre la pareja 2 y 3, rechazando la hipótesis nula, lo que implica que hay diferencias entre las medias, es decir, diferencia de tiempos lo que implicaría diferentes formas de trabajo para ejecutar los cambios durante el tiempo de cambio de SKU, de modo que los métodos de los trabajadores para realizar el trabajo son diferentes.

2.3.6.2 Verificación de causas: *Los carritos de equipo no tiene un lugar fijo en el área de cambio de referencia*

Esta variable fue verificada mediante Gemba u observación directa mediante la cual se pudieron sacar las siguientes ideas claves:

- Al llegar los carritos a última hora son colocados en cualquier lugar dentro del área de cambio de referencia lo que ocasiona que los operadores grupo cambio tenga que moverse de su área de trabajo.
- Los operadores grupo cambio tiene que buscar en donde está el carrito con los equipos variables que ellos necesitan.
- Los carritos al estar cruzados entre ellos provocan grandes tiempos perdidos al tener que primero mover los carritos que no necesitan para luego alcanzar el necesario.
- Los operadores cada uno tiene que realizar dos caminatas por cada equipo variables ya que primero tiene que dejar el equipo viejo para luego coger el nuevo para el cambio.



Figura 2.27 Carritos de equipos variable sin lugar fijo (8/11/2023)

2.3.6.3 Los equipos variables de área molde y maquina llegan con defectos a la máquina.

Esta variable fue verificada mediante Gemba u observación directa mediante la cual se pudieron sacar las siguientes ideas claves:

- Los equipos variables del área molde y área maquina llegan a justo cuando la maquina va a parar.
- No se realiza una inspección previa por parte del equipo grupo cambio sobre los equipos que entran a la máquina.
- Los equipos defectuosos provocan tiempos perdidos dentro del tiempo de calificación, por lo cual se apaga la sección retirar el equipo defectuoso y buscar uno nuevo generando tiempos muertos.
- Los equipos variables de área maquina no cuentan con una verificación de funcionamiento óptimo para entrar a la máquina.



Figura 2.28 Deflectores porosos foto del 5/11/2023

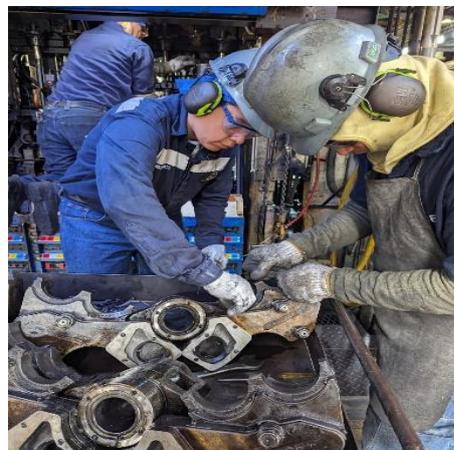


Figura 2.29 Llevadores de pre-molde con empate alto (16/11/2023)

2.3.7 Análisis 5 por qué

Para finalizar la etapa de análisis y poder hallar la causa raíz de cada uno de nuestros problemas se utilizó la herramienta de los 5 por qué, la cual nos da una ventaja única ya que nos da como respuesta los eventos que producen nuestro fallo. Teniendo esto claro en

conjunto con varias personas de la empresa involucrados se procedió a realizar el análisis el cual se muestra en la tabla 2.10.

Tabla 2.10 Análisis del 5 por qué

Causa	Ronda 1	Ronda 2	Ronda 3	Ronda 4	Ronda 5	Causas Raíz
<i>Cada operador tiene su forma distinta de trabajar</i>	¿Por qué cada operario tiene una forma diferente de trabajar? Porque cada operario ha recibido una formación práctica y diferente.	¿Por qué se instruyó a cada operario de forma práctica y diferente? Porque no existe una guía sobre el proceso que deben seguir los operarios.	¿Por qué no hay directrices sobre el proceso que deben seguir los operadores? Porque la empresa no tiene una norma sobre el proceso de cambio de referencia.			El proceso de cambio de referencia no está estandarizado.
<i>Las parejas de cambio son elegidas al azar</i>	¿Por qué se eligen las parejas de trabajo al azar? No hay planificación de la asignación de parejas.	¿Por qué no se planifica la asignación de socios? No se controlan las características del trabajo en equipo.	¿Por qué no se controlan las características del trabajo en equipo? No existe una herramienta de asignación de socios.			No existe ninguna herramienta de designación de pareja
<i>Los carritos de equipo no tienen un lugar fijo en el área de cambio</i>	¿Por qué los carritos no tienen un lugar fijo en la zona de vestuarios? No hay un espacio específico para colocarlo	¿Por qué no hay un espacio específico para ubicar el carrito? Hay muchos artículos en la zona de cambiadores que no se sabe si son necesarios.	¿Por qué hay muchos artículos en la zona de cambiadores que no se sabe si son necesarios? No se ha definido ningún criterio sobre dónde colocar el carrito.			No hay criterios para la ubicación de los carros de equipamiento variable
<i>Los equipos variables de área molde y máquina llegan con defectos a la máquina.</i>	¿Por qué el equipo variable del molde y del área de la máquina llega con defectos a la máquina? Los operarios no revisan el equipo variable	¿Por qué los operarios de ambas áreas no controlan correctamente el equipo variable? No tiene un control de características	¿Por qué no se controlan las características que deben cumplir los equipos variables? No disponen de una guía sobre los aspectos de los equipos variables que deben controlarse.			No existe una lista de control sobre los aspectos que deben tenerse en cuenta en los equipos variables

2.4 Mejora

Después de realizar un análisis exhaustivo de los problemas que afectan al proceso, se procedió a diseñar diferentes alternativas de solución. Estas alternativas se evaluaron según criterios de eficiencia, efectividad, costo y viabilidad. De esta manera, se seleccionaron las soluciones más adecuadas para mejorar el proceso y alcanzar los objetivos propuestos.

2.4.1 Propuestas de soluciones

En la tabla 2.11 se muestran las diferentes causas raíz de nuestro problema enfocado con sus respectivas soluciones.

Tabla 2.11 Propuestas de soluciones

Problema enfocado	Causa raíz	Solución
Elevado tiempo de cambio de referencia en la línea A2 categoría 5 de enero a septiembre de 2023. Teniendo un tiempo medio de 54 minutos cuando el mínimo ha sido de 36 minutos.	Cada operador tiene su propia forma de trabajar	Estandarización del proceso de cambio de referencia Capacitación del personal
	Las parejas de cambio se eligen al azar	Crear código de asignación de parejas em base a su rendimiento histórico en la sección
	Los carros de equipo variable no tienen un lugar fijo en la zona de cambio de referencia	Aplicación de la metodología 5S
	Los equipos variables del área molde y máquina llegan con defectos a la máquina	Procedimiento para verificación de los equipos variables mediante Checklists

Junto con el coordinador de cambios de referencia, se realizó una evaluación de priorización de soluciones, considerando el impacto y el esfuerzo que requieren para aplicarse. Esta evaluación facilitó clasificar las soluciones de acuerdo con su importancia, necesidad y viabilidad, y así determinar las más adecuadas para el proceso. En la figura 2.30 se muestra el impacto versus esfuerzo que requiere cada una de las soluciones propuestas.

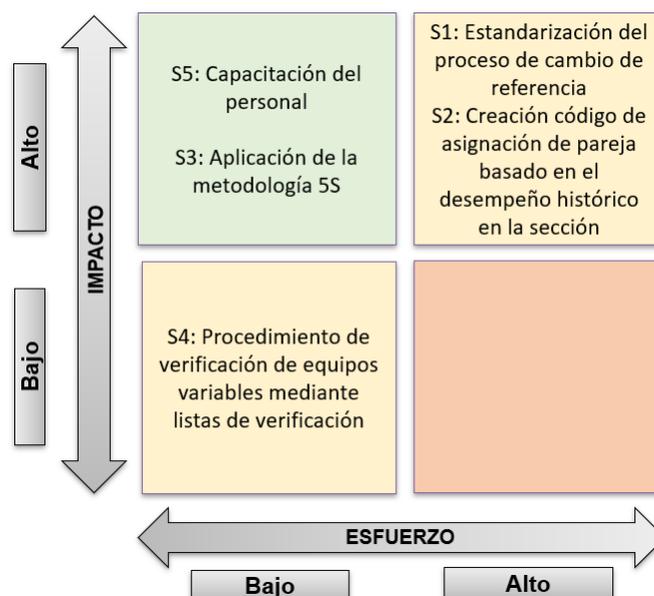


Figura 2.30 Matriz análisis impacto-esfuerzo

2.4.2 Análisis del costo

En la tabla 2.12 se observa el análisis económico que tendrá cada una de nuestras soluciones, el tiempo que va a llevar terminarlo y el costo de implantación para la empresa.

Tabla 2.12 Análisis de costos

#S	SOLUCIONES	TOTAL HORAS	COSTO DE MATERIALES (\$)		COSTO IMPLEMENTACIÓN (\$)	COSTO TOTAL (\$)
1	Estandarización del proceso de cambio de referencia	2 meses	Lucidchart (mensual)	\$4	\$0	64
			GoPro mensual (mensual)	\$16		
2	Crear código de asignación de parejas em base a su rendimiento histórico en la sección	24	N/A	\$0	\$180	180
3	Aplicación de la metodología 5S	60	Material necesario para implementación	\$200	\$450	650
4	Procedimiento para verificación de los equipos variables mediante checklists	8	N/A	\$0	\$60	60
5	Capacitación del personal	4	N/A	\$0	\$30	30

2.4.3 Plan implementación

Para llevar a cabo las soluciones seleccionadas en la etapa anterior, se elaboró un plan de implementación que permitió analizar cada una de ellas de forma más detallada y organizada. En este plan se definieron los responsables de cada actividad, los costos asociados, el tipo de esfuerzo requerido y la duración estimada de la implementación. De esta forma, se buscó garantizar el éxito de las soluciones y el cumplimiento de los plazos establecidos. En la tabla 2.13 se muestra el plan de implementación de cada una de las soluciones, donde se aprecia el costo, donde se va a aplicar, como lo va a hacer, quien lo va a hacer y su estado.

Tabla 2.13 Plan de implementación

<i>Problema enfocado</i>	<i>Causa raíz</i>	<i>Solución</i>	<i>¿Por qué?</i>	<i>¿Cómo?</i>	<i>¿Dónde?</i>	<i>¿Cuándo?</i>	<i>¿Quién?</i>	<i>Costo</i>	<i>Estado</i>
<i>Elevado tiempo de cambio de referencia en la línea A2 categoría 5 de enero a septiembre de 2023. Teniendo un tiempo medio de 54 minutos cuando el mínimo ha sido de 36 minutos.</i>	Cada operador tiene su propia forma de trabajar	Estandarización del proceso de cambio de referencia	Porque con un proceso estandarizado disminuirá la variación en los tiempos de cambio de SKU	Diseñar el proceso paso a paso de las actividades para el cambio de referencia.	Área de cambio de la línea de producción n 2	4/12/2023	Líderes del proyecto	\$ 1,208	Completo
		Capacitación del personal	Reducir diferencias de tiempo en los cambios de SKU al tener a todo el personal siguiendo los mismos pasos para el cambio de referencia.	Capacitar al equipo de cambio de SKU, enseñándoles el paso a paso del proceso de cambio de referencia.	Área de cambio de la línea de producción n 2	12/12/2023	Líderes del proyecto	\$ 180	Complete
	Las parejas de cambio se eligen al azar	Crear código de asignación de parejas en base a su rendimiento histórico en la sección	Disminuir el tiempo de trabajo por parejas durante el tiempo de cambio	Desarrollar un modelo en Python considerando parámetros durante el cambio de SKU	Área de cambio de la línea de producción n 2	15/12/23	Líderes del proyecto	\$ 650	Complete
	Los carros de equipo variable no tienen un lugar fijo en la zona de cambio de referencia	Aplicación de la metodología 5S	Reducirían los tiempos de caminatas innecesarias por buscar una herramienta o no saber dónde se encuentra	Establecer un área de cambio de moldes más limpio y organizado determinando espacios	Área de cambio de la línea de producción n 2	18/12/23	Líderes del proyecto Coordinador del grupo de cambio.	\$ 60	Completo
	Los equipos variables del área molde y máquina llegan con defectos a la máquina	Procedimiento para verificación de los equipos variables mediante checklists	El grupo de cambio podrá saber cuales puntos verificar antes del inicio del cambio de molde y de esta forma evitar detener nuevamente la línea por moldes dañados o piezas faltantes	Preparar lista de verificación para moldes, máquinas y grupo cambio antes de iniciar el cambio de SKU	Área de cambio de la línea de producción n 2	6/12/2023	Líderes del proyecto Coordinador del grupo de cambio.	\$ 30	Complete

2.5 Implementación

2.5.1 Implementación de solución 1: Estandarización del proceso de cambio de referencia

Para la siguiente solución se buscó que cada uno de los trabajadores tuvieran una misma forma de realizar el cambio de referencia de SKUs de la línea 2 categoría 5. La estandarización se llevó a cabo mediante el uso la herramienta SMED, con la cual se convertido actividades internas a externas, se combinó, redujo y simplifico actividades. Todo esto gracias a grabaciones realizadas con unas GoPro puestas en el operador que tiene el mejor tiempo de cambio de referencia en esa línea, se desglosó el paso a paso de las actividades que tienen que realizar con su respectivo tiempo, tanto para el operador de cambio, el mecánico de la maquina y el operador de calidad. Para levantar este nuevo proceso de cambio se priorizaron 3 puntos claves; seguridad, calidad y rapidez en ese orden. En la tabla 2.14 se muestra el proceso que se llevaba a cabo y las actividades que se van a simplificar del lado molde.

Tabla 2.14 Proceso del lado molde

Cambio de SKUs en la maquina A2 categoría 5									
#	Descripción de la actividad	I/E	¿Podría ser externa?	¿Cómo podría ser externa?	Eliminar	Combinar	Reducir	Simplificar	¿Como puede aplicarse ?
1	Recoger el carrito de moldes	INTERNA	Yes						Mediante la organización previa con todas las areas
2	Recoger el carrito de premoldes	INTERNA	Si	Organizando la hora del cambio con todas las areas			X		
3	Recoger el carrito de pinzas	INTERNA	Si						
4	Recoger el carrito de elevadores	EXTERNA							
5	Revisar el estados de los equipos variables entrantes	INTERNA	Si	Mediante un checklist previo	X				Revisando los puntos clave de un equipo en perfectas condiciones
6	Recoger las herramientas necesarias para el cambio	EXTERNA						X	Realizando el checklist un día antes del cambio
7	Apagar la sección y sus mecanismos	INTERNA	No						
8	Remover las pinzas	INTERNA	No						Mediante la estandarización del proceso
9	Remover los fondos de molde	INTERNA	No				X		
10	Remover las boquilleras	INTERNA	No						
11	Bajar el brazo de inversión	INTERNA	No						Con la aplicación de la metodología 5s, se reduce el tiempo de movimiento
12	Llevar al carrito las pinzas	INTERNA	No				X		
13	Llevar al carrito los fondos	INTERNA	No						
14	Llevar al carrito las boquilleras	INTERNA	No						Mediante la estandarización del proceso
15	Remover los moldes	INTERNA	No				X		
16	Remover las cabezas de sopladoras	INTERNA	No						
17	Llevar al carrito los moldes y las sopladoras	INTERNA	No				X		Con la aplicación de la metodología 5s, se reduce el tiempo de movimiento
18	Buscar el nuevo molde	INTERNA	No						
19	Colocar y ajustar el nuevo molde	INTERNA	No						
20	Colocar y ajustar las nuevas boquilleras	INTERNA	No						Mediante la estandarización del proceso
21	Colocar y ajustar las nuevas sopladoras	INTERNA	No				X		
22	Colocar y ajustar los nuevos fondos	INTERNA	No						
23	Colocar y ajustar las nuevas pinzas	INTERNA	No						
24	Ajustar la altura a la que se encuentra el fondo	INTERNA	No						
25	Ajustar la altura de la línea del conveyer	EXTERNA							
26	Estabilizar la sección	EXTERNA							

Una vez que se aplicó la herramienta SMED pudimos identificar actividades que se podían reducir, simplificar y hasta eliminar pasando de un proceso de 26 actividades a un

proceso de 18 actividades del lado molde. En la tabla 2.14 se muestra el nuevo proceso estandarizado para el lado molde, los encargados de la actividad y el tiempo que se deben demorar haciendo dicha actividad.

Tabla 2.15 Proceso estandarizado del lado molde

Cambio de SKUs en la maquina A2 categoría 5			
#	Descripción de la actividad	Tiempo en minutos	Responsable
1	Apagar la sección y sus mecanismos	0.15	Operador de cambio
2	Remover las pinzas	2	
3	Remover los fondos de molde	2	
4	Remover las boquilleras	2	
5	Bajar el brazo de inversión	0.25	
6	Llevar al carrito las pinzas, los fondos y las boquilleras	0.15	Mecánico
7	Remover los moldes	5	Operador de cambio
8	Remover las cabezas de sopladoras	2	
9	Llevar al carrito los moldes y las sopladoras	0.15	Mecánico
10	Buscar el nuevo molde	0.15	Operador de cambio
11	Colocar y ajustar el nuevo molde	4	
12	Colocar y ajustar las nuevas boquilleras	2	
13	Colocar y ajustar las nuevas sopladoras	2	
14	Colocar y ajustar los nuevos fondos	2	
15	Colocar y ajustar las nuevas pinzas	3	
16	Ajustar la altura a la que se encuentra el fondo	3	
17	Ajustar la altura de la línea del conveyer	2	
18	Estabilizar la sección	10	

El mismo proceso se realizó para el lado premolde pasando de un proceso de 23 actividades a un proceso simplificado de 18 actividades. En la figura 2.15 se muestra el proceso que se llevaba a cabo y las actividades que se van a reducir para el lado premolde.

Tabla 2.16 Proceso del lado premolde

Cambio de SKUs en la maquina A2 categoría 5									
#	Descripción de la actividad	I/E	¿Podría ser externa?	¿Cómo podría ser externa?	Eliminar	Combinar	Reducir	Simplificar	¿Como puede aplicarse ?
1	Recoger el carrito de premoldes	INTERNA	Si	Organizando la hora del cambio con todas las areas			X		Mediante la organización previa con todas las areas
2	Recoger el carrito de machos y flautas	INTERNA	Si						
3	Recoger el carrito de llevadores	INTERNA	Si						
4	Inspeccionar los equipos variables que entran a la maquina	INTERNA	Si	Mediante un checklist previo	X				Revisando los puntos clave de un equipo en perfectas condiciones
5	Buscar las herramientas necesarias para el cambio	EXTERNA	No						
6	Apagar las secciones y sus mecanismos	INTERNA	No						
7	Remover los premolde	INTERNA	No						
8	Llevar al carrito los premoldes	INTERNA	No				X		Con la aplicación de la metodología 5s
9	Remover las binchas de los machos	INTERNA	No						Mediante la estandarización del proceso
10	Remover los machos	INTERNA	No					X	
11	Remover los espaciadores	INTERNA	No						
12	Remover los porta macho	INTERNA	No						Con la aplicación de la metodología 5s
13	Llevar al carrito los machos, espaciadores, binchas y porta macho	INTERNA	No				X		
14	Remover los llevadores de premoldes	INTERNA	No					X	
15	Llevar al carrito los llevadores de premoldes	INTERNA	No				x		Con la aplicación de la metodología 5s
16	Colocar y ajustar los nuevos llevadores de premolde	INTERNA	No						Mediante la estandarización del proceso
17	Colocar y ajustar los nuevos porta machos	INTERNA	No						
18	Colocar y ajustar los nuevos espaciadores	INTERNA	No						
19	Colocar y ajustar los nuevos machos	INTERNA	No						
20	Colocar las nuevas binchas de machos	INTERNA	No						
21	Colocar y ajustar los nuevos premoldes	INTERNA	No						
22	Aceitar la sección	EXTERNA							
23	Estabilizar la sección	EXTERNA							

Gracias al uso de la herramienta SMED para el lado premolde se pudo reducir el proceso a 18 actividades. En la tabla 2.17 se muestra el nuevo proceso estandarizado del lado premolde.

Tabla 2.17 Proceso estandarizado del lado premolde

Cambio de SKUs en la maquina A2 categoría 5			
#	Descripción de la actividad	Tiempo en minutos	Responsable
1	Apagar las secciones y sus mecanismos	0.15	Operador de cambio
2	Remover los premolde	1	
3	Llevar al carrito los premoldes	0.15	Operador de calidad
4	Remover las binchas de los machos	2	Operador de cambio
5	Remover los machos	1	
6	Remover los espaciadores	0.5	
7	Remover los porta macho	0.5	
8	Llevar al carrito los machos, espaciadores, binchas y porta macho	1	Operador de calidad
9	Remover los llevadores de premoldes	5	Operador de cambio
10	Llevar al carrito los llevadores de premoldes	3	Operador de calidad
11	Colocar y ajustar los nuevos llevadores de premolde	5	Operador de cambio
12	Colocar y ajustar los nuevos porta machos	2	
13	Colocar y ajustar los nuevos espaciadores	2	
14	Colocar y ajustar los nuevos machos	2	
15	Colocar las nuevas binchas de machos	1	
16	Colocar y ajustar los nuevos premoldes	5	
17	Aceitar la sección	3	
18	Estabilizar la sección	10	

La finalidad de esta estandarización fue disminuir los errores, aumentar la eficiencia operativa, mejorar la comprensión al personal operativo y aprovechar mejor los recursos.

2.5.2 Implementación de solución 2: Crear código de asignación de parejas en base a su rendimiento histórico en la sección

Mediante el código de asignación el cual es alimentado de la data histórica que tiene la empresa de los tiempos que tienen los operadores grupo cambio en cada maquina con su respectiva, se buscó que siempre estén los operadores con menor tiempo de cambio en la sección respectiva. Actualmente se maneja un código de asignación de pareja, pero muy limitado ya que solo se basa en la línea 1 en la categoría 4,5 y 6. Lo que se realizó con este

código de asignación de pareja fue un código que pueda ser utilizado en todas las maquinas en todas las categorías.

Para poder llevar a cabo este código de asignación el usuario debe ingresar; el número de cambios que habrá ese día, las maquinas en las que se realizara el cambio, la categoría de cada uno de los cambios y finalmente los nombres de los operadores que están disponibles para realizar esos cambios. Los resultados del código para la línea 2 categoría 5 del lado molde se muestran en la figura 2.31 mientras que para el lado premolde se muestran en la figura 2.31.

```
In [27]: for i in I:
print("--%3s" % i)
print("Técnico:",tecnicos_PM[i])
print("----%3s" % i)
for j in J:
print(" Zona",zonas[j],X[i,j],x)

-----
Técnico: Harry
-----
Zona F 1.0
Zona H -0.0
Zona D -0.0
-----
Técnico: Jesús
-----
Zona F -0.0
Zona H 1.0
Zona D -0.0
-----
Técnico: Ronald
-----
Zona F -0.0
Zona H -0.0
Zona D 1.0

In [29]: for i in I:
print("--%3s" % i)
print("Técnico:",tecnicos_M[i])
print("----%3s" % i)
for j in J:
print(" Zona",zonas[j],X[i,j],x)

-----
Técnico: Luis
-----
Zona F 0.0
Zona H -0.0
Zona D 1.0
-----
Técnico: Villegas
-----
Zona F -0.0
Zona H 1.0
Zona D 0.0
-----
Técnico: William
-----
Zona F 1.0
Zona H 0.0
Zona D -0.0
```

Figura 2.31 Resultados del código de asignación

El código de asignación de pareja tiene su lógica matemática de asignación, el cual siempre busca a los operadores que tengan el mejor tiempo de cambio, el cual se explica a continuación:

Tabla 2.18 Matriz de tiempo de los operadores

Desempeño histórico del trabajador i en la zona j	Zona				
	1	2	3	M	
Operador	1	C11	C12	C13	C1M
	2	C21	C22	C23	C2M
	3	C31	C32	C33	C3M
	N	CN1	CN2	CN3	CNN

Índice

i = operador del grupo de cambio llamado para el cambio de referencia

j = zona de la máquina a trabajar por el operador

Parámetros

C_{ij} = Desempeño histórico del trabajador i en la zona j

Variable decisión

X_{ij}

= 1 si el operador del grupo de cambio i está asignado a la zona j ; 0 en caso contrario

Variable Respuesta

$$\max z = \sum_i^n \sum_j^n C_{ij} X_{ij}$$

Restricciones

$$\sum_i^n X_{ij} = 1; i = 1, 2, 3 \dots N$$

$$\sum_j^n X_{ij} = 1; j = 1, 2, 3, \dots M$$

2.5.3 Implementación de solución 3: Aplicación de la metodología 5S

La implementación de la herramienta 5s entra como parte de mejora enfocada en nuestros ejes centrales; seguridad, calidad y rapidez ya que esta se centra en un área de trabajo ordenada, señalizada y segura. Actualmente las herramientas que los operadores del grupo de cambio se guardan en casilleros de 10cm de profundidad haciendo difícil encontrar las herramientas a la hora del cambio. En la gráfica 2.32 se observa un casillero con su respectiva tarjeta roja.



Figura 2.32 Aplicación de tarjeta roja

Otro punto que se tomó en cuenta a la hora de realizar la herramienta 5s, es el elevado tiempo que tiene los operadores en movimiento para dejar el equipo variable que sale y traer el nuevo equipo variable, esto debido a que los carros que se manejaban superaban las dimensiones de los pasillos de la máquina, teniendo estos un ancho de 77cm y un largo de 123cm. En la figura 2.33. se observa un carrito lleno de equipo variable listo para entrar a la máquina.

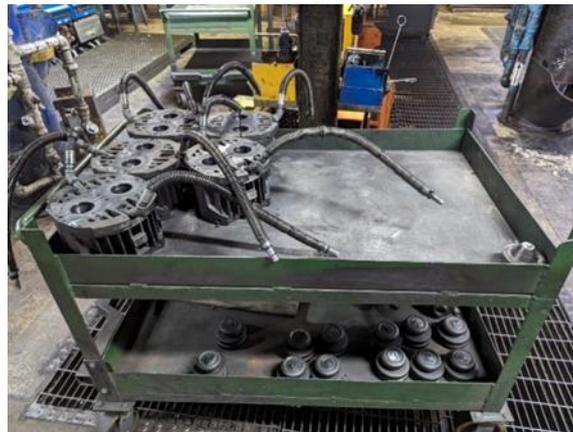


Figura 2.33 Carrito de equipo variable

Ante esta necesidad se mandó a hacer un nuevo carrito con nuevas medidas acopladas al espacio que se tiene en la zona de trabajo para la maquina 2, los cuales tiene una medida de 44cm de ancho por 60cm de largo, estos nuevos carritos tienen la función de reducir los movimientos que tiene que hacer los operadores a la hora del cambio. En la figura 2.34 se muestra el nuevo carrito de equipo variable que se va a utilizar en la hora del cambio de SKUs.



Figura 2.34 Nuevo carrito de equipo variable

Como parte final para la implementación de la herramienta 5s se realizó un Layout de la zona de cambio para la maquina 2 donde se pueden apreciar de color verde donde van a ir los nuevos carritos tanto del lado molde como del lado premolde. Dándonos un total de 5 nuevos carritos, mientras que en la actualidad solo se contaba con 3 carritos de equipos variables. En la figura 2.35 se puede observar el Layout de la zona de cambio de la máquina 2.

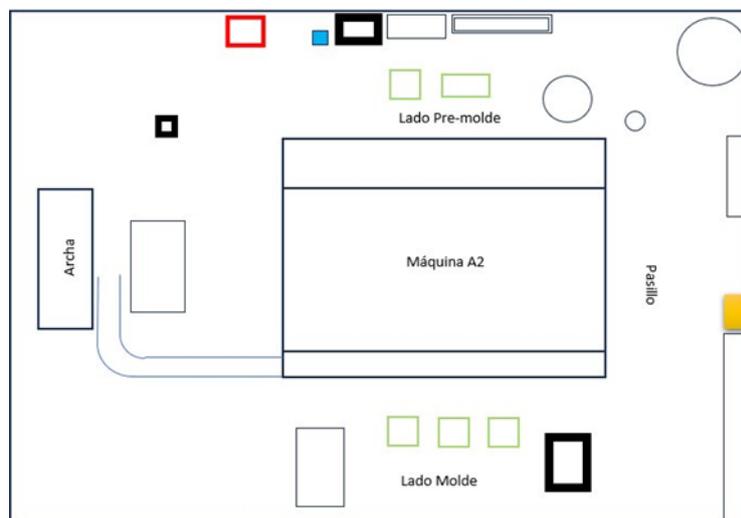


Figura 2.35 Layout de la máquina 2

Otro punto para tomar en cuenta para finalizar el 5s fueron las tarjetas rojas como se mostraron en la figura 2.32, para ello se mandó a hacer unos casilleros abiertos para cada operador donde pueda guardar sus equipos de protección personal como cascos, guantes y

gafas. Este nuevo casillero abierto se ubica en la parte amarilla de la figura 2.35. En la figura 2.36 se observa el nuevo modelo de casilleros que se implementó.



Figura 2.36 Nuevos casilleros

Ya que por medidas económicas y por retrasos en los envíos no se alcanzó a completar al 100% la herramienta 5S se planteó un detallado de actividades con sus respectivas fechas de las actividades que faltan y como tienen que realizarlas para que así se pueda completar el 5S de manera correcta. En la tabla 2.19 se observa el detallado de actividades para culminar el 5S.

Tabla 2.19 Diagrama detallado actividades restantes

Detalle de actividades para la implementación de 5S			
Actividad	Detalle actividades	Tiempo en días	Día
Ordenar	Llegada de los 3 carros restantes.	1	02-feb
	Limitar el espacio físico de los carritos nuevos	1	05-feb
Estandarización	Prueba nuevos tiempos con todos los carritos.	3	06-feb
	Coloque carteles visuales en la herramienta 5s.	1	09-feb

2.5.4 Implementación de solución 4: Procedimiento para verificación de los equipos variables mediante Checklists.

Siendo la estabilización de máquina la segunda actividad que más tiempo toma durante el cambio de SKUs se debatió con los líderes de la máquina y los operadores de cambio del por qué toma tanto tiempo esta actividad, dando como causa raíz que los equipos variables tanto del área molde como del área máquina llegan con defectos.

Con el objetivo de fortalecer el control y aseguramiento de la integridad de los equipos de molde y máquina antes de su traslado a las líneas de producción y la ejecución del cambio de referencia, se ha implementado un registro detallado que documenta todas las actividades previas necesarias para garantizar su óptimo funcionamiento. En respuesta a esta consideración, se ha introducido un exhaustivo checklist de "Actividades Precambio" diseñado específicamente para evaluar las condiciones de los equipos variables que van a entrar a la máquina.

Este checklist consta de 3 partes uno para los equipos variables para el área molde, otro para el área máquina y otro para los operadores grupo cambio donde se evalúan de forma rigurosa cada equipo variable y se decide si este tiene las condiciones óptimas para entrar o no a la máquina. En la figura 2.37 se muestra el checklist del área molde.

CHECKLIST ACTIVIDADES PRECAMBIO PARA MOLDES						
Referencia:	Máquina:	Fecha:	Proceso:	SI	NO	NO APLICA
1 REVISION DE MOLDES						
Responsable Moldes	Revisar apriete de codos					
	Revisar ángulo de codos					
	Revisar longitud de la manguera, enfriamiento, y estado abrasaderas					
	Sopletear moldes					
	Revisar desfogaderos destapados					
	Revisar numeración de caras y fondos					
	Marcar molde con numero de fondo					
	Revisar fecha correspondiente					
Observaciones						
3 REVISION DE PREMOLDES						
Observaciones:	Premoldes en el horno					
	Premoldes pintados					
	Revisar numeración de caras					
	Revisar deck (apriete y orientación)					
2 REVISION DE TERMINADOS						
Responsable Moldes	Revisar estado de anillos					
	Revisar el giro anillos					
	Revisar numeración igual de boquilleras					
	Revisar número de terminado (historia)					
	Revisar machos y tubos de enfriamiento					
	Revisar si el macho hace algún sonido					
	Revisar estado de camisas y agujas					
	Revisar exosto de sopladoras contra historia					
Revisar estado de acople rápidos						
Observaciones						
Reparador de moldes						
Grupo cambio						

Figura 2.37 Checklist del área molde

2.5.5 Implementación de solución 5: Capacitación del personal

En aras de optimizar la eficiencia operativa en la línea 2 al realizarse cambios de categoría 5, se llevó a cabo una capacitación dirigida a los operadores del grupo cambio y su coordinador donde se abarcó diversos aspectos cruciales como lo es la estandarización del proceso de cambio, de igual forma para la implementación de la herramienta 5s ya que ellos van a ser los principales afectados de estas dos soluciones. En la figura 2.38 se observa la reunión que se tuvo con los operadores grupo cambio.



Figura 2.38 Reunión con equipo cambio

Teniendo el visto bueno de los operadores grupo cambio se realizó una capacitación a todo el personal de planta, tanto operadores de máquina como operadores de calidad, así como los operadores del área máquina y área molde ya que ellos al ser nuestros proveedores internos deben conocer el nuevo proceso que se va a seguir, así como la implementación del checklist para tomar medidas cautelares para que los equipos variables cumplan con las condiciones que se van a evaluar.



Figura 2.39 Capacitación al personal de planta

Capítulo 3

3.1. Resultado de soluciones

En esta sección se presentan los resultados obtenidos mediante la implementación de un método de mejora continua en la línea de producción A2. Con el objetivo de reducir el tiempo de cambio de SKU, se puede apreciar en la figura 1.1., la comparación de los tiempos de cambio antes y después de aplicar las mejoras, tanto el tiempo de cambio físico (que incluye las actividades de desmontaje, montaje y ajuste) como el tiempo de calificación (que consiste en verificar la calidad del primer producto). Los resultados muestran una reducción significativa de ambos tiempos, lo que implica una mayor eficiencia y productividad de la línea de producción A2.

3.2.1. Mejoras del proceso: Serie de tiempo

La figura 3.1 muestra la comparación de los tiempos de cambio de referencia de una muestra de 7 datos tomados en el mes de enero, antes y después de aplicar la mayoría de las mejoras propuestas en este trabajo.

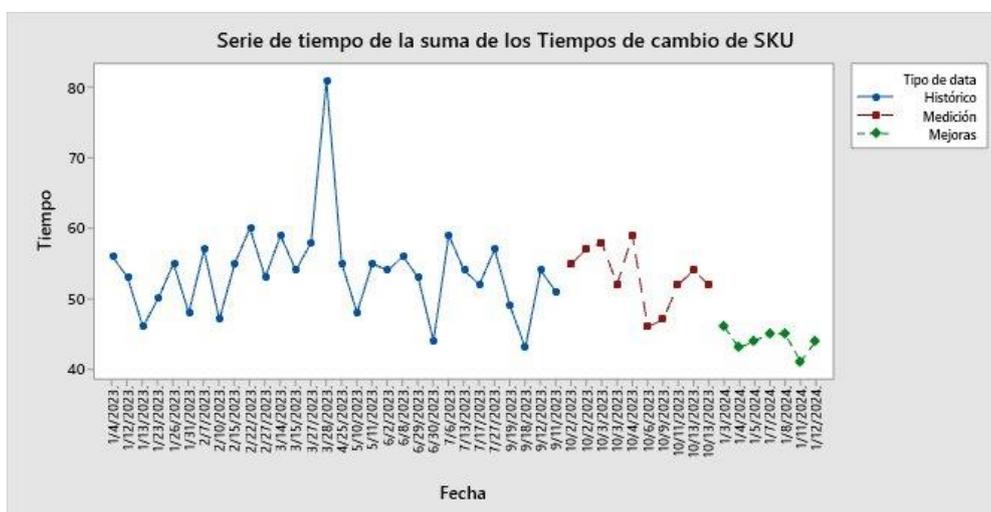


Figura 3.1. Serie de tiempo de los tiempos de cambio en base al tipo de data

El tiempo de cambio de referencia es el tiempo que transcurre entre el último producto de una referencia y el primero de la siguiente, e incluye las actividades de desmontaje, montaje, ajuste y calificación. Se puede observar que la media de los tiempos de cambio se

redujo significativamente de 53,87 minutos a 44 minutos, lo que representa una disminución del 18,3% visualizado en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Tabla con datos estadísticos de la variable tiempo de cambio

Variable	N	N*	Media	Error estándar de la media	Desv.Es t.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Histórico	30	0	53.87	1.23	6.76	43.00	49.75	54.00	56.25	81.00
Medición	10	0	53.20	1.37	4.34	46.00	50.75	53.00	57.25	59.00
Mejoras	7	0	44.000	0.617	1.633	41.000	43.000	44.000	45.000	46.000

3.2.2. Prueba de normalidad

Con los datos de la muestra de tomada el mes de enero se realizó una prueba de normalidad figura 3.2.:

H0=Los datos siguen una distribución normal

H1=Los datos no siguen una distribución normal

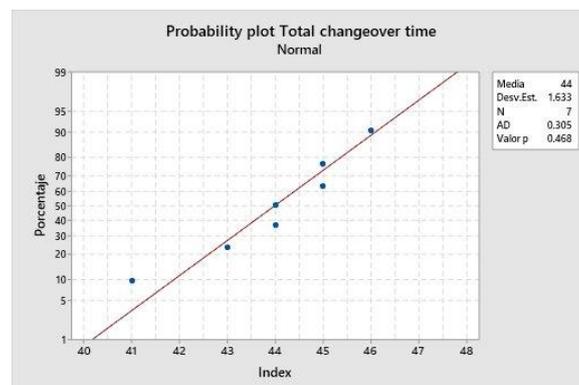


Figura 3.2 Prueba de normalidad

Para verificar la normalidad de los datos, se realizó una prueba de Shapiro-Wilk, la cual arrojó un valor p mayor al nivel de significación de 0.05. Esto implica que no se puede rechazar la hipótesis nula de que los datos provienen de una población normalmente distribuida.

A continuación, se aplicó el método de control estadístico de procesos mediante las cartas de control para la media y el rango móvil, cuyos resultados se muestran en la figura 3.3. Se observa que el proceso se encuentra bajo control estadístico, ya que todos los puntos se ubican dentro de los límites de control establecidos. No obstante, se aprecia una cierta dispersión en el rango móvil, lo que indica que existe una variabilidad residual en el proceso que debe ser controlada para lograr una mayor estabilidad y calidad.

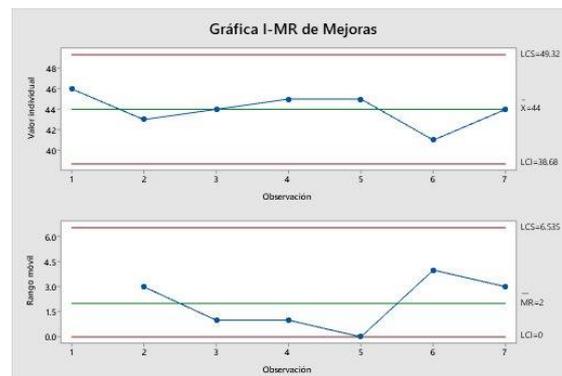


Figura 3.3 Gráfica rango móvil

3.3.3. Análisis de capacidad

Para evaluar la capacidad del proceso, se utilizó el índice Cpk, que mide el grado de ajuste entre la variabilidad del proceso y las especificaciones del cliente. Se realizó el análisis de capacidad con los datos obtenidos después de aplicar las mejoras, cuyos resultados se presentan en la figura 3.4. Se obtuvo un valor de $Cpk = 1.13$, lo que indica que el proceso es capaz de cumplir con las especificaciones, ya que el valor es mayor que 1.

Comparando este valor con el del modelo inicial, que era de $Cpk = -0.16$, se pudo apreciar que el proceso ha mejorado notablemente su capacidad y su enfoque, lo que implica una mayor satisfacción del cliente y una menor probabilidad de defectos.

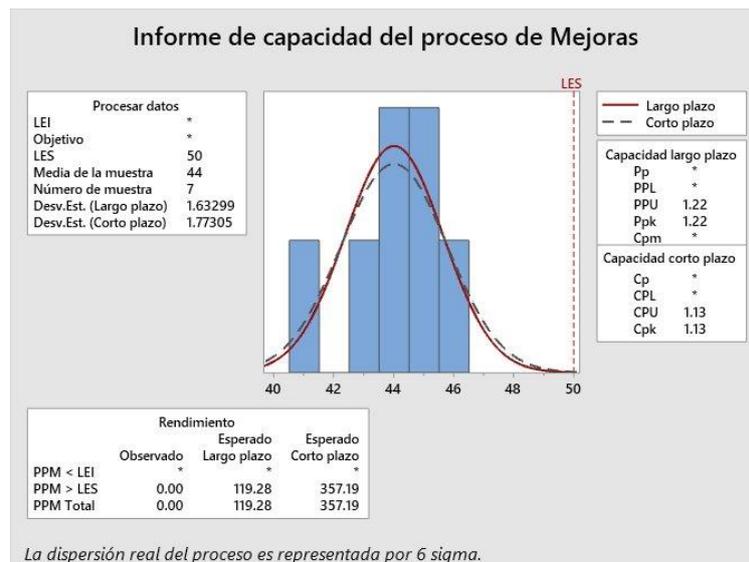


Figura 3.4 Análisis de capacidad

3.2. Triple impacto

Como parte final de este proyecto se evaluó las condiciones, económicas, sociales y ambientales de antes de aplicar este proyecto y después para ver como a afectado en estos tres ejes.

3.2.1. Justificación económica

Como justificativo económico se tiene el número de botellas producidas en 12 horas, para ello se debe tener en cuenta las siguientes características; la máquina se mueve en promedio a cien botellas por minuto, doce horas es igual a setecientos veinte minutos, en promedio cada botella se vende a noventa centavos y que gracias a las soluciones aplicadas pasamos de 25 minutos perdidos a 7 minutos en cada cambio de referencia. Teniendo las condiciones de la máquina claras, pasamos de:

$$\text{Maximas botellas producidas antes} = (\text{Minutos en operación} - \text{tiempo de cambio} - \text{tiempo perdido}) * 100$$

$$\text{Maximas botellas producidas antes} = (720 \text{ minutos} - 56 \text{ minutos} - 25) * 100$$

$$\text{Maximas botellas producidas antes} = 63900 \text{ botellas}$$

Una vez aplicadas las soluciones pasamos a:

$$\text{Maximas botellas producidas ahora} = (720 \text{ minutos} - 44 \text{ minutos} - 25 \text{ minutos}) * 100$$

$$\text{Maximas botellas producidas ahora} = 67000 \text{ botellas}$$

3.2.2. Justificación Ambiental

Como justificativo ambiental se buscó disminuir el consumo de agua que se da por reproceso de botellas o de materia prima que se desperdicia en cada cambio de referencia, ante esto se tiene que saber qué; el tiempo total es de setecientos veinte minutos, el tiempo productivo es el tiempo total menos el tiempo de cambio menos los tiempos perdidos lo que nos da como resultado:

$$\text{Tiempo improductivo antes} = \text{Tiempo total} - \text{Tiempo productivo}$$

$$\text{Tiempo improductivo antes} = 720 \text{ minutos} - 639 \text{ minutos} = 81 \text{ minutos}$$

Ahora con las soluciones implementadas pasamos a:

$$\text{Tiempo improductivo ahora} = \text{Tiempo total} - \text{Tiempo productivo}$$

$$\text{Tiempo improductivo ahora} = 720 \text{ minutos} - 669 \text{ minutos} = 51 \text{ minutos}$$

Sabiendo que la máquina consume por hora encendida en promedio unos 125 litros de agua para mantener la temperatura de la misma y de las botellas en condiciones óptimas para su funcionamiento y viendo que el tiempo improductivo disminuyó 30 minutos nos da un ahorro de 62,5 litros de agua por reproceso.

3.2.3. Justificación social

Como justificativo social tenemos la capacitación del personal de grupo cambio en la herramienta SMED y 5s donde se logró capacitar a todos los operadores de cambio dándonos un total de 13 personas capacitadas.

3.3. Plan de control.

En la tabla 3.2 se muestra el plan de control que se va a llevar a cabo con cada solución, quien lo tiene que realizar y cada cuanto lo tiene que hacer para así evitar que dichas soluciones se queden en el olvido.

Tabla 3.2. Plan de control

PLAN DE CONTROL						
¿Que?	¿Quien?	¿Por qué?	¿Como?	¿Cuándo?	¿Donde?	¿Cuanto?
Realizar la asignación de parejas en base al código de Python	Coordinador de grupo cambio	Asegurar la elección de parejas en base a su rendimiento histórico en la sección y categoría asignada.	El coordinador debe anunciar las parejas de forma gráfica en la pizarra de la zona de cambio en base a los resultados del código.	Diario	Área de cambio	\$0,00
Aplicación de la herramienta 5S	Coordinador Senior y líderes de máquina	Establecer y mantener un área de trabajo segura y en orden.	Realizar capacitaciones periódicas	Mensual	Área de cambio	\$0,00
Verificar las condiciones de los equipos mediante Checklist.	Coordinador de grupo cambio	Evitar que lleguen equipos defectuosos a la máquina.	El coordinador de grupo cambio debe realizar ciertas especificaciones d ellos equipos variables que entran en la máquina	En cada cambio de referencia	Taller de moldes y maquinas	\$0.00
Estandarizar el proceso de cambio de referencia	Coordinador Senior de grupo cambio	Para llevar un control de cada actividad que realizan los operadores dentro del cambio	Mediante la toma de tiempos y verificación visual.	Diario	Área de cambio	\$0.00
Capacitar al personal de planta	Coordinador Senior de grupo cambio y líderes de máquina	Para poder entrenar al nuevo personal y se mantenga la sinergia del trabajo	Mediante capacitaciones periódicas	Semestral	Área de cambio	\$0.00

Capítulo 4

4.1 Conclusiones

Con la herramienta SMED, se detectaron las actividades que aumentaban el tiempo de cambio y no añadían valor y, al identificarlas, se pudieron eliminar y fusionar.

El modelo de asignación no sólo redujo el tiempo de cambio de SKU, sino que también mejoró la coordinación entre los pares seleccionados, lo que se tradujo en un proceso de cambio de mayor calidad y más rápido.

Como resultado de la aplicación de las listas de comprobación, fue posible reducir la incidencia de fallos o averías en los equipos variables durante el proceso de cambio de referencia, lo que se tradujo en una reducción del tiempo perdido y una mejora de la eficacia operativa.

4.2 Recomendaciones

Se recomienda a la empresa, concluir con la metodología de las 5S.

Se recomienda monitorizar los tiempos de cambio para ver las oportunidades de mejora.

Se recomienda continuar con la metodología DMAIC en las demás áreas de la empresa, especialmente en el cuello de botella de la línea.

Bibliografía

- Andrade, A. (2018). *Implementación de la metodología (SMED) para la reducción de tiempos de alistamiento (Set Up) en máquinas encapsuladoras de una empresa farmacéutica en la ciudad de Barranquilla*. Barranquilla: Universidad Nacional.
- Burgasí Delgado, D. D., & Cobo Panchi, D. V. (2021). *El diagrama Ishikawa como herramienta de calidad en la educación: Una revisión de los últimos 7 años*. Sangolquí: Universidad de las fuerzas armadas.
- Camacho, A., López, N., & Bonilla, P. (2010). *SINGLE MINUTE EXCHANGE OF DIES (SMED)*. Instituto tecnológico de costa rica.
- Carbonell, F. E. (2013). *Técnica SMED Reducción de tiempos de preparación*. 3ciencias.
- Espinoza, D. E., & Rojas Parraga, C. (2021). *Propuesta de metodología DMAIC para la disminución de defectos en el proceso de envasado de agua*. Guayaquil: UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESANIA.
- Freire, C., Mayorga, F., & Vayas, T. (2020). *Evolución de la industria del vidrio en Ecuador*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
- García González, R., Paredes Castañeda, J. A., & Bayona Ibáñez, E. (2022). *DMAIC como herramienta para implementar un sistema de mejora para incrementar la productividad en la industria del sombrero*. Cali: Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.
- Gutiérrez, S. C. (2017). *Aplicación de a metodología DMAIC para la reducción de paros en la línea moldeos de tabletas de chocolate*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Peréz Domínguez, L. A., & Peréz Blanco, J. J. (2020). *Aplicación de metodología DMAIC en la resolución de problemas de calidad*. Juárez: Mundo Fesc.
- Téllez, J. E. (2018). *Implementación de la metodología DMAIC para la mejora de un proceso productivo en una empresa del ramo logístico*. Ciudad de México: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.