

**Escuela Superior Politécnica del Litoral**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción**

Reducción del tiempo de cambio y limpieza en la línea de panquelería y  
pastelería de una panificadora industrial

**Proyecto Integrador**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero Industrial**

Presentado por:

David Alejandro Loaiza Echeverría

Guayaquil - Ecuador

Año: 2023

## Dedicatoria

---

A Dios por la fortaleza y sabiduría  
brindada hasta ahora en cada etapa de mi  
vida y sin la cual no habría llegado hasta  
hoy.

A mi familia, por ser un apoyo  
incondicional a lo largo de mi carrera  
universitaria, por la preocupación,  
alegrías y nervios que vivieron conmigo  
en todo este proceso.

A los chicos del IISE y todos aquellos  
amigos que hicieron especial e  
inolvidable mi paso por la ESPOL, esto  
es para ustedes.

- *David Loaiza Echeverría*

## Agradecimientos

---

A los profesores que me formaron y se convirtieron en más que una voz instructora desde las aulas, sino en profesionales a quienes pedir un consejo y una fuente inagotable de sabiduría. Sobre todo, a Denise Rodriguez, por ser una guía e inspiración a lo largo de la carrera y por confiar en mis capacidades desde el primer día... muchas gracias.

Quiero agradecer, de manera especial, a Gabriela, Juanito y todo el personal operativo que hizo posible que este proyecto tuviera el éxito que estas páginas redactan.

- *David Loaiza Echeverría*

## Declaración Expresa

---

Yo David Alejandro Loaiza Echeverría acuerdo y reconozco que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor, 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. 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 mí durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al autor 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.

Guayaquil, 1 de febrero del 2024.



---

David Alejandro Loaiza  
Echeverría

## **Evaluadores**

---

**Sofía Anabel López Iglesias, M.Sc.**

Profesor de Materia

---

**María Denise Rodríguez Zurita,**

**Ph.D.**

Tutor de proyecto

## **Resumen**

Desde julio del 2023, la línea de panquelería y pastelería de una panificadora industrial presentó tiempos de cambio que superaban con 113 minutos al tiempo estándar de cambio y limpieza semanal y representaban pérdidas por \$ 1 513.52 semanales. El proyecto presentado tiene como objetivo reducir en 8% el tiempo semanal de cambio y limpieza de la línea mediante la aplicación de la metodología DMAIC.

Al analizar las actividades de los 4 productos con mayor tiempo de cambio y limpieza se encontró que la secuencia de producción no era la adecuada pues consumía mucho tiempo en la limpieza del sistema de tuberías, los operadores se ocupaban más de limpiar el suelo y equipos en lugar de buscar herramientas que los ayuden a prevenir la necesidad de limpiar y que no contaban con el equipo necesario para asegurar una limpieza eficaz. Además, se incluyó una mejora conseguida por la herramienta SMED que culminó en la habilitación de un nuevo tanque de retorno de cobertura para glases y ejecutar cambios rápidos en la línea. Con estas mejoras se consiguió reducir el tiempo de cambio y limpieza a 436 minutos semanales, una reducción del 17% respecto a la media original y un ahorro de \$ 1,165.32 semanales.

**Palabras Clave:** DMAIC, Pastelería, SMED, Tiempo de cambio.

## **Abstract**

Since July 2023, the pastry line of an industrial bakery company presented changeover times that exceeded the standard weekly changeover time by 113 minutes and represented losses of \$ 1,513.52 per week. This project aims to reduce the weekly changeover time of the line by 8% through the application of the DMAIC methodology.

Analyzing the activities of the 4 products with the longest changeover time, it was found that the production sequence was not appropriate since it consumed a lot of time to clean the piping system, the operators were more concerned with cleaning the floor and equipment instead of developing tools to help them prevent the need to clean and also, they did not have the necessary equipment to ensure effective cleaning. In addition, an improvement achieved by the SMED tool was included to enable a new coverage returning tank for glazes and executing quick changes in the line. With these improvements, the changeover time was reduced to 436 minutes weekly, a 17% reduction compared to the original average, and savings of \$ 1,165.32 per week.

**Keywords:** DMAIC, Pastry line, SMED, Changeover time

## Índice general

Capítulo 1 .....	1
1. Introducción .....	1
1.1. Descripción del Problema .....	1
1.2. Justificación del Problema .....	2
1.3. Alcance del proyecto .....	2
1.4. Objetivos .....	3
<i>1.4.1 Objetivo general</i> .....	3
<i>1.4.2 Objetivos específicos</i> .....	3
1.5 Marco teórico .....	3
<i>1.5.1 Metodología DMAIC</i> .....	3
<i>1.5.2 Customer Journey Map</i> .....	5
<i>1.5.3 Mapa de empatía</i> .....	5
<i>1.5.4 SIPOC</i> .....	6
<i>1.5.5 Ley de Pareto</i> .....	6
<i>1.5.6 Diagrama Ishikawa</i> .....	7
<i>1.5.7 SMED</i> .....	7
Capítulo 2 .....	9
2. Metodología .....	9
2.1. Definición .....	9
<i>2.1.1. Voz del cliente</i> .....	9
<i>2.1.2. Críticos para la calidad</i> .....	10
<i>2.1.3. Variable de respuesta</i> .....	11
<i>2.1.4. Declaración del problema y oportunidad</i> .....	11
2.2. Medición .....	13
<i>2.2.1. Mapeo del proceso</i> .....	13
<i>2.2.2. Plan de recolección de datos</i> .....	13

2.2.3. <i>Análisis de confiabilidad de datos recolectados</i> .....	14
2.2.4. <i>Estratificación y problema enfocado</i> .....	16
2.3. <i>Análisis</i> .....	17
2.3.1. <i>Ishikawa</i> .....	17
2.3.2. <i>Matriz Causa – Efecto</i> .....	17
2.3.3. <i>Verificación de causas</i> .....	19
2.3.4. <i>Análisis de causa raíz</i> .....	25
2.4. <i>Mejora</i> .....	26
2.4.1. <i>Soluciones propuestas</i> .....	26
2.4.2. <i>Implementación</i> .....	31
2.5. <i>Control</i> .....	36
2.5.1. <i>Plan de Control</i> .....	36
Capítulo 3 .....	39
3.    Resultados y análisis .....	39
3.1. <i>Tiempo de cambio y limpieza semanal</i> .....	40
3.2. <i>Triple Bottom Line</i> .....	43
Capítulo 4 .....	45
4. <i>Conclusiones y Recomendaciones</i> .....	45
4.1. <i>Conclusiones</i> .....	45
4.2. <i>Recomendaciones</i> .....	46
Referencias .....	47
APÉNDICES .....	48

## Abreviaturas

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
P&P	Panquelería y pastelería
CyL	Cambio y limpieza
CJM	Customer Journey Map
SIPOC	Supply – Input – Process – Output – Customer
SMED	Single Minute Exchange of Die
LIE	Límite Inferior de Especificación
LSE	Límite Superior de Especificación

## Simbología

min	Minuto(s)
m <sup>3</sup>	Metros cúbicos
Ton	Toneladas
sem	Semana

## Índice de figuras

Figura 1.1: Diagrama SIPOC del proceso de producción de la línea de P&P .....	2
Figura 2.1 Diagrama de afinidad de necesidades de los clientes identificados .....	10
Figura 2.2 CTQ tree de las necesidades de los clientes .....	11
Figura 2.3 Serie de tiempo del tiempo de cambio y limpieza semanal.....	12
Figura 2.4 Plan de recolección de datos.....	14
Figura 2.5 Análisis de confiabilidad de datos recolectados para la variable "tiempo de actividad" .....	15
Figura 2.6 Gráfica de cajas para identificar diferencias entre las estaciones o turnos de trabajo .....	16
Figura 2.7 Pareto de tiempos de cambio por producto .....	16
Figura 2.8 Diagrama causa - efecto del problema enfocado.....	17
Figura 2.9 Mangueras para limpieza disponibles en el área de inyectado.....	20
Figura 2.10 Operador en el CyL del producto BB al CK .....	21
Figura 2.11 Chispas de chocolate en el piso previo al cambio al producto BB.....	22
Figura 2.12 Tiempo de actividad durante el CyL de los productos BB y CK.....	23
Figura 2.13 Secuencia de producción antes de la intervención y propuesta según el tipo de producto y color de cake .....	24
Figura 2.14 Tiempo de CyL del producto DL en la secuencia anterior y propuesta .....	24
Figura 2.15 Tiempo de actividad del CyL del producto DL. Las franjas celestes representan actividades externas .....	25
Figura 2.16 Matriz de evaluación de soluciones Impacto – Esfuerzo .....	30
Figura 2.17: Secuencia propuesta de producción .....	32
Figura 2.18: condiciones de operación actualizadas y publicadas en la línea de producción .	33
Figura 2.19: Área de incidencia de caída de chispas de chocolate .....	33
Figura 2.20: Gaveta recolectora de chispas de chocolate ubicada debajo de la máquina dosificadora.....	34
Figura 2.21: Tanque actual de cobertura pre-seteado en el área de equipos de la línea (izquierda) y nuevo tanque a habilitar para la ejecución de cambios rápidos (derecha).....	34
Figura 2.22: Cambio en el proceso de cambio y limpieza después de la incorporación del nuevo tanque de cobertura. Las actividades resaltadas son aquellas que cambian. ....	35
Figura 2.23: El valor p de ambas pruebas indica que la simulación refleja la realidad del proceso de CyL al producto CK (izquierda) y TC (derecha) con un 95% de confianza.....	35

Figura 3.1 Línea de tiempo de la variable de respuesta.....	40
Figura 3.2: Prueba de hipótesis para la comparación de medias antes y después del proyecto (arriba) y Comparación de tiempos de CyL (abajo) .....	40
Figura 3.3: Análisis de estabilidad y capacidad del proceso antes y después del proyecto.....	42
Figura 3.4: Nivel de estrés laboral promedio del personal operativo antes y después del proyecto.....	44
Figura 3.5: Reducción del consumo de agua para limpieza mensual desde intervención (diciembre).....	44

## Índice de tablas

Tabla 1.1: Fases y herramientas de la aplicación de SMED.....	8
Tabla 2.1 Escenarios de definición de objetivos.....	12
Tabla 2.2 Análisis de valor agregado por estación de trabajo .....	13
Tabla 2.3 Plan de mejora de confiabilidad de los datos.....	14
Tabla 2.4 Priorización de causas por parte de los actores del proceso .....	18
Tabla 2.5 Plan de verificación de causas .....	19
Tabla 2.6 Análisis de los 5 porqué de las causas verificadas.....	26
Tabla 2.7 Propuestas de solución a partir de causas raíz identificadas.....	27
Tabla 2.8 Análisis de externalización para SMED .....	28
Tabla 2.9: Plan de implementación de soluciones .....	31
Tabla 3.1: Análisis de costos del proyecto.....	39

# Capítulo 1

## 1. INTRODUCCIÓN

El proyecto se desarrolló en una panificadora industrial líder a nivel mundial con 78 años de trayectoria en el mercado que se destaca por ser una empresa sustentable, altamente productiva y plenamente humana, con un especial enfoque en entregar alimentos de calidad. Sus marcas operan en 34 países alrededor de 4 continentes llevando productos de consumo local y aprovechando la tecnología para potenciar sus operaciones.

En Ecuador, la empresa cuenta con dos plantas de producción para la elaboración de panes de molde, bollería, tortillas, pastelería y apanadura. La planta donde se realizó este proyecto se encuentra ubicada en la ciudad de Guayaquil y gestiona los procesos de compra e importación, producción, ventas y distribución de sus productos a consumidores finales, mayoristas, tiendas minoristas y empresas de *Food Service*.

### 1.1. Descripción del Problema

La empresa elabora semanalmente en su línea de producción de panquelería y pastelería (P&P) una corrida de cada una de sus referencias, esta secuencia es parcialmente inalterable debido a compromisos sobre el día máximo de entrega de los productos a ciertos clientes de la compañía. El manejo de glases, chocolates y demás elementos alérgenos, contaminantes y atrectores de plagas exigen que antes de iniciar la producción de una nueva referencia.

## 1.2. Justificación del Problema

Los tiempos de cambio semanales realizados en la línea de P&P son muy elevados comparados con el estándar de 410 minutos representando costos de \$803 por cada hora en que esta línea se encuentra detenida.

## 1.3. Alcance del proyecto

El proyecto se llevará a cabo en la línea de P&P, cuyos procesos están descritos en el diagrama SIPOC de la Figura 1.1. Sin embargo, el proceso de cambio y limpieza se enfoca principalmente en las estaciones de batido, decorado y enfundado; siendo esta última una estación que no limita de manera significativa las actividades de la línea por CyL excesivamente largos. Además, las estaciones de batido y decorado manejan en gran cantidad los alérgenos que contienen los productos de la línea de P&P por lo que es allí donde se van a enfocar los esfuerzos en la reducción de tiempos de CyL.

**Figura 1.1**

*Diagrama SIPOC del proceso de producción de la línea de P&P*

Supplier	Input	Process	Output	Customer
Materia prima	Harina, azúcar, enzimas, agua, huevos	<b>Batido</b>	Batido de cake	Dosificación
Batido	Batido de cake, moldes vacíos	<b>Dosificación</b>	Moldes llenos	Horneo
Dosificación	Moldes llenos	<b>Horneo</b>	Moldes con cake horneado	Inyección
Horneo	Crema, moldes con cake horneado	<b>Inyección</b>	Moldes con cake relleno	Desmoldeo
Inyección	Moldes con cake relleno	<b>Desmoldeo</b>	Cakes, moldes vacíos	Decorado
Desmoldeo	Cakes	<b>Decorado</b>	Cakes decorados	Enfriamiento
Decorado	Cakes decorados	<b>Enfriamiento</b>	Cakes acondicionados	Enfundado
Enfriamiento	Cakes acondicionados, envolturas	<b>Enfundado</b>	Cakes envueltos	Bodega

## **1.4. Objetivos**

### ***1.4.1 Objetivo general***

Reducir el tiempo semanal de cambio y limpieza (CyL) en la línea de P&P en 8% pasando de un promedio de 523 minutos a 482 minutos en un lapso de 3 meses mediante la aplicación de la metodología DMAIC.

### ***1.4.2 Objetivos específicos***

1. Incrementar la disponibilidad de la línea de P&P.
2. Reducir los costos operacionales por concepto de tiempos ociosos de la línea.
3. Estandarizar los procedimientos de CyL de la línea.
4. Reducir el estrés laboral por esfuerzo físico en los operadores de la línea y el consumo de agua por concepto de cambio y limpieza.
5. Identificar puntos críticos de limpieza de la línea para elaborar un plan de mejora continua.

## **1.5 Marco teórico**

### ***1.5.1 Metodología DMAIC***

DMAIC es una metodología utilizada comúnmente para la resolución de problemas con un enfoque a la mejora de la calidad de procesos y productos conocida así por sus siglas en inglés Definir, Medir, Analizar, Mejorar (Improve), Controlar (Montgomery, 2013). Esta metodología se enfoca en satisfacer los requerimientos del cliente, que puede ser interno o externo, mediante la filosofía 6 sigma. De acuerdo con Jadhav, Jadhav, & Bhagat (2015) la aplicación de esta metodología en procesos claves para los clientes es capaz de reducir el número de defectos o eventos fuera de especificación a 4 por cada millón por lo que la

implementación de proyectos de este estilo ha atraído la atención de varios investigadores desde su desarrollo en los años 60.

En concordancia con lo expuesto por Montgomery (2013), todo comienza en la fase de **Definición**. En este paso se busca identificar las oportunidades de mejora de la empresa, definir los requerimientos críticos para el cliente y establecer el alcance y el equipo requerido para realizar el proyecto. Continúa en la fase de **Medición**, en la que se determina qué variables medir para todo el desarrollo del proyecto y se establece un plan para la recolección fiable de estas variables. En la etapa de **Análisis** se analizan los datos obtenidos, se determina la capacidad y estabilidad del proceso e investigan las posibles causas de variación y, el paso más importante, se investigan y verifican las causas raíz del problema para entender cómo estas situaciones o procedimientos afectan a la variable de respuesta. En la fase de **Mejora** se generan las posibles soluciones, se evalúa y valida su impacto potencial para eliminar las causas raíz del problema para, finalmente, en la fase de **Control** se desarrollan los procesos a prueba de errores para evitar que estas causas raíz vuelvan a surgir, se monitorea la variable de respuesta y se establecen los planes de acción y reacción en el proceso.

Una de las características principales de DMAIC es su fuerte componente estadístico, que permite sustentar hipótesis sobre el problema utilizando los datos recolectados del proceso, lo que proporciona argumentos robustos sobre las posibles causas del problema. Sin embargo, es importante reconocer que este método tiene algunas limitaciones como la existencia de problemas puntuales en los que desarrollar un proyecto de tal alcance demanda demasiado esfuerzo en comparación con el beneficio esperado en los hacer uso de herramientas específicas que pueden ser más provechosas (de Mast & Lokkerbol, 2012).

### ***1.5.2 Customer Journey Map***

El Customer journey map (CJM) es una herramienta que “ilustra visualmente los procesos, necesidades y percepciones del cliente a través de sus relaciones con la compañía o el trabajo que realiza” (Temkin, 2015). Es una herramienta muy útil para comprender los puntos de dolor por los que atraviesa el cliente conforme necesita realizar una tarea y, de esta forma, diseñar procesos o tomar acciones que eliminen dichos puntos de dolor y otorguen gratificaciones que el cliente valore. Esta herramienta se compone de un eje horizontal donde se ubican los pasos que sigue un cliente para realizar una tarea, un eje vertical donde se ubican los niveles de satisfacción que percibe el cliente, y en el plano que se forma, se traza una línea que permite visualizar cómo evoluciona la experiencia del cliente a través de la tarea que debe realizar.

El CJM puede ser una herramienta de estrategia innovadora. Según (Rosenbaum, Losada, & Contreras (2017), al visualizar la información directamente proporcionada por el cliente, se puede diseñar un proceso simplificado que incluya aquellos aspectos que realmente aporten valor al cliente, integrando todas las áreas que intervengan en esa tarea para aprovechar oportunidades de *branding* y considerando las emociones del cliente.

### ***1.5.3 Mapa de empatía***

El mapa de empatía es una herramienta propia del *Design Thinking* que permite desarrollar un mejor entendimiento del ambiente, comportamiento y expectativas del cliente de un proceso, servicio o producto (Ferreira, Silva, Oliveira, & Conte, 2015). Se compone de 6 bloques, en los 4 primeros buscan recolectar información para comprender al cliente: se define lo que ve, lo que escucha (cómo las personas que lo rodean influyen al cliente), lo que piensa y siente, y lo que dice y hace (cómo se comporta en público); los otros 2 bloques

recolectan las expectativas que el cliente tiene sobre el proceso, servicio o producto: se indagan en sus dolores (frustraciones, miedos y riesgos que debe tomar) y ganancias (expectativas y objetivos)

#### ***1.5.4 SIPOC***

El SIPOC es una “herramienta de mapeo de alto nivel utilizada para entender un proceso considerado para su mejora” (Rasmusson, 2006) en el que se diagraman a los proveedores (**Suppliers**) que generan las entradas (**Inputs**) para las actividades del proceso (**Process**) que generan las salidas o resultados (**Outputs**) que les llegan a los clientes (**Customers**). Es una herramienta muy útil para entender quiénes son los involucrados en el proceso, definir el alcance de un proyecto de mejora y comprender cómo se relacionan las actividades y clientes entre sí.

#### ***1.5.5 Ley de Pareto***

El principio o Ley de Pareto fue un término acuñado por Juran en los años 50 que describe el fenómeno de que la mayor parte de los efectos son ocasionados por una pequeña parte de las causas, lo que le ganó el nombre de “ley del 80/20”. Si bien es cierto este fenómeno fue descrito primero para explicar la desigual distribución de la riqueza, Juran desde su perspectiva de la mejora de calidad encontró que este concepto podría utilizarse para focalizar un problema en aquellos poco vitales que generan la mayor parte del problema (Sanders, 1987).

### ***1.5.6 Diagrama Ishikawa***

El diagrama Ishikawa es una herramienta que permite organizar causas potenciales de un problema y fue popularizada por el profesor Kaoru Ishikawa (de ahí su nombre) en los años 60 (Wong, Woo, & Woo, 2016). Es un método de análisis muy popular que busca identificar todas las causas posibles a un problema (que debe ir en la punta del diagrama) según diferentes categorías, tradicionalmente conocidas como las 6M por máquina, materiales, métodos, hombre (man), madre naturaleza y medición; aunque no deben ser necesariamente todas ellas e incluso puede considerarse alguna para acoplarlas a la realidad del problema que se aborda lo que ha dado pie a que recientemente se postulen nuevas formas de clasificar las causas potenciales (Luca, 2016).

### ***1.5.7 SMED***

El SMED es una herramienta Lean desarrollada en 1985 por Shigeo Shingo que busca simplificar y mejorar las actividades de preparación operacional en menos de 10 minutos (Moxham & Greatbanks , 2001). Ejecutar esta herramienta en los procesos operativos trae consigo algunas ventajas que permiten mejorar la competitividad de las empresas como la flexibilidad para responder rápidamente a los cambios en la demanda de una variedad de productos, aumentar la capacidad disponible de producción y reducir costos por inoperatividad de los equipos (Joshi & Naik, 2012)

SMED se compone de 4 fases principales para su ejecución:

**Tabla 1.1***Fases y herramientas de la aplicación de SMED*

<b>Fases de SMED</b>	<b>Herramientas de mejora</b>
Fase A: Comienzo del proyecto SMED	1) Analizar las actividades de la planta para diferenciar actividades internas y externas.
Fase B: Separar actividades internas de externas	2) Usar checklist. 3) Definir funciones para cada operador. 4) Mejora de herramientas de transporte.
Fase C: Convertir actividades internas en externas	5) Preparación previa de las actividades. 6) Automatización de las operaciones. 7) Utilización de diferentes herramientas.
Fase D: Mejorar todos los aspectos de la operación de preparación	8) Mejora de las herramientas de transporte y almacenamiento. 9) Eliminación de calibraciones y ajustes durante la preparación. 10) Automatización de las operaciones

Fuente: Joshi &amp; Naik, 2012

# Capítulo 2

## 2. METODOLOGÍA.

### 2.1. Definición

#### 2.1.1. *Voz del cliente*

El primer paso para la ejecución de este proyecto fue identificar las necesidades y expectativas del cliente. Para ello se escogió la línea de P&P por ser la línea con los costos operativos más elevados de toda la planta, por lo que cualquier mejora de eficiencia, rendimientos o reducción de tiempos muertos representan ahorros significativos para la compañía.

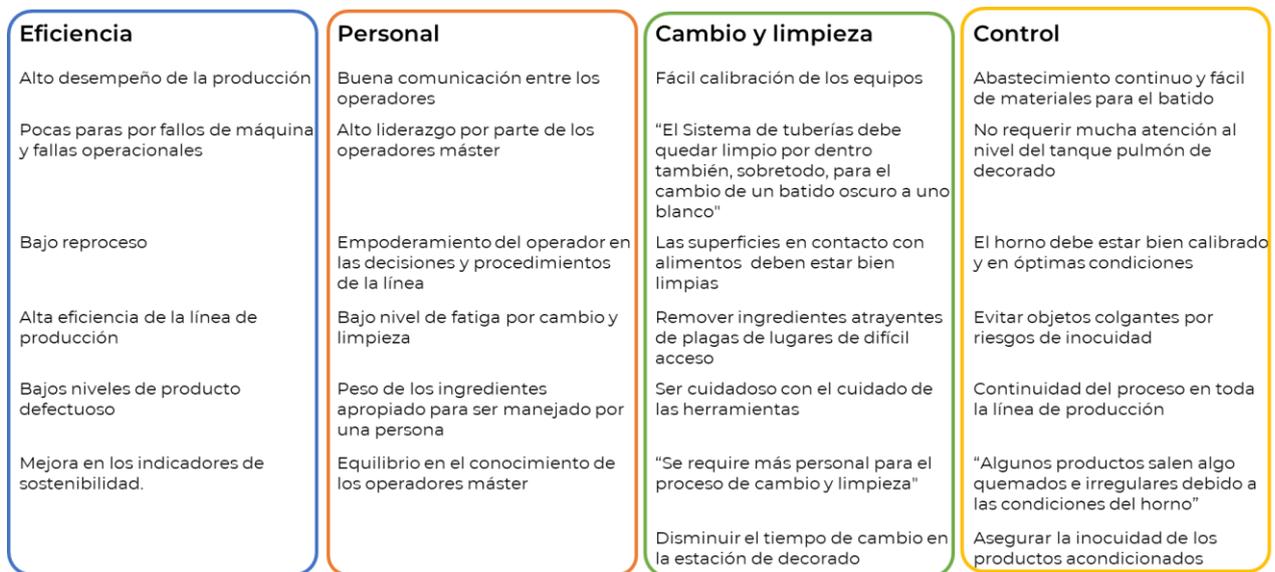
Se identificaron para esto, los principales involucrados en el proceso productivo de la línea, mismos que incluyen:

- Supervisor de la línea, debido a que es el principal responsable del desempeño de las operaciones y será el mayor beneficiado de las mejoras implementadas, es por esto mismo que es el cliente principal del proyecto.
- Operadores Máster, son los operadores líderes en cada una de las estaciones del proceso y son los encargados de articular a sus equipos de trabajo para la ejecución de tareas de la línea. Serán los actores principales al definir las problemáticas y los responsables de mantener las soluciones que se implementen.
- Jefe de planta y gerente de operaciones, se los incluye puesto que son la cabeza directiva de la empresa a nivel operativo y se requerirá su aprobación para la ejecución de las mejoras propuestas.
- Inspector de calidad e inocuidad, al trabajar con alimentos, es importante que las mejoras que se implementen no afecten la inocuidad de los productos que se realizan en la línea.

- Planificador de producción, cualquier mejora en la eficiencia de la línea se verá reflejada en la planificación por lo que es importante contar con la opinión del responsable de planificar la secuencia y controlar el desempeño de la planificación semanal de producción. Posteriormente, se levantaron mediante técnicas como mapa de empatía, *customer journey*, y entrevistas, las expectativas de los clientes involucrados, mismas que se pueden encontrar en el apéndice A. El diagrama de afinidad con las expectativas de los clientes se presenta a continuación:

**Figura 2.1**

*Diagrama de afinidad de necesidades de los clientes identificados*



### 2.1.2. Críticos para la calidad

Una vez definidas las necesidades de los clientes, se procedió a traducir esas necesidades en criterios técnicos e indicadores que nos permitan controlar aquellos aspectos críticos para la calidad. Para esto, se realizó el CTQ tree (Figura 2.2) en el que se resumen las necesidades y los CTQs que permiten satisfacerlas. Se escogió finalmente como el principal CTQ al tiempo de cambio y limpieza de la línea, puesto que satisface dos de las necesidades definidas anteriormente.

**Figura 2.2**  
*CTQ tree de las necesidades de los clientes*



### 2.1.3. Variable de respuesta

Se definió como variable de respuesta al tiempo de cambio y limpieza semanal de la línea, un indicador que es medido actualmente y ha sido tratado en algunas juntas debido a lo elevado que ha podido ser. Se define como la sumatoria de los tiempos de CyL de todas las referencias producidas en una semana. El CyL de un producto se mide desde el momento del fin de producción del producto A hasta el inicio de la producción del producto B, esto para todas las referencias de la semana como se muestra en la ecuación 2.1.

$$\sum \text{Hora inicio}_B - \text{Hora fin}_A, \text{ Para toda secuencia } A \rightarrow B \quad (2.1)$$

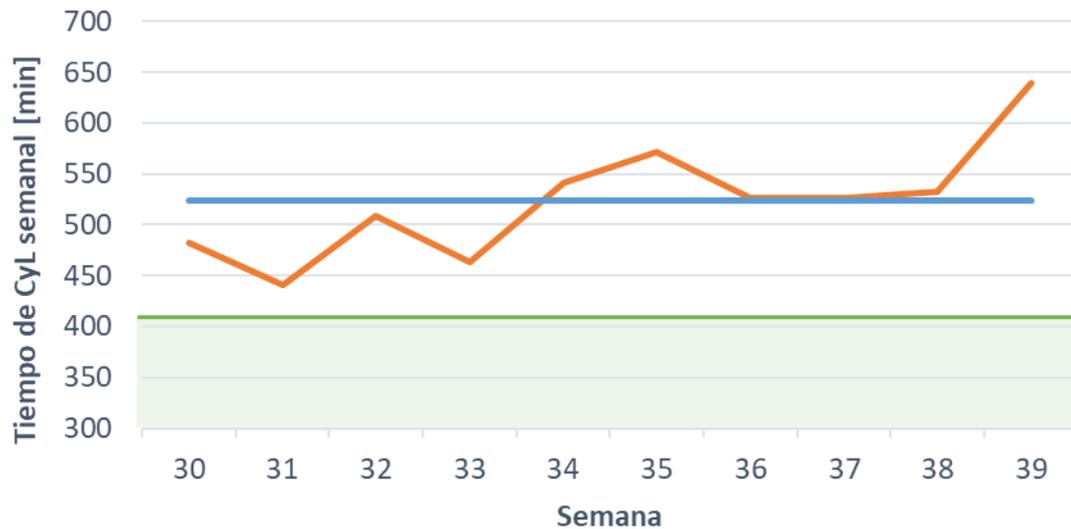
### 2.1.4. Declaración del problema y oportunidad

El histórico de la variable de respuesta se presenta en la Figura 2.3. Se puede apreciar que el tiempo semanal de CyL no solo se extiende respecto al estándar de la empresa, sino que presenta una tendencia creciente por lo que se identifica el problema: **Existe un elevado tiempo de cambio**

y limpieza en la línea de panquelería y pastelería desde julio del 2023, cuyo promedio es de 523 minutos en comparación con su estándar de 410 minutos semanales.

**Figura 2.3**

*Serie de tiempo del tiempo de cambio y limpieza semanal*



Junto con el problema se identifica una oportunidad para mejorar la situación actual de la línea. Para esto se identificó al *benchmark* como el mínimo tiempo de CyL histórico alcanzado naturalmente por el proceso y los escenarios para reducir la brecha que existe entre el *benchmark* y la media actual se detallan a continuación:

**Tabla 2.1**

*Escenarios de definición de objetivos*

Escenario	Reducción del GAP	Objetivo
Pesimista	25%	503 min
Realista	50%	482 min
Optimista	75%	462 min

Se opta por un escenario realista en el que se plantea reducir el tiempo semanal de cambio y limpieza en un 8% pasando de 523 minutos a 482 minutos en el lapso de 3 meses.

## 2.2. Medición

### 2.2.1. Mapeo del proceso

El proceso detallado de CyL se detalla en el apéndice B, de manera breve, el proceso tiene un índice de valor agregado del 35%, lo que significa una buena cantidad de oportunidad de reducción de desperdicios dentro del proceso.

**Tabla 2.2**  
*Análisis de valor agregado por estación de trabajo*

	<b>Agrega valor</b>	<b>Necesaria</b>	<b>No agrega valor</b>
Batido	9	6	7
Cobertura	3	5	2
Decorado	1	1	1
Inyección	2	4	2
<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>18</b>	<b>10</b>

### 2.2.2. Plan de recolección de datos

Con el fin de realizar los análisis de estratificación y la verificación de causas potenciales, se planificó la recolección de datos necesarios para el desarrollo de las futuras etapas. El plan de recolección de datos se detalla en la Figura 2.4.

**Figura 2.4**  
*Plan de recolección de datos*

Qué				Cómo	Plan de recolección			
Nombre	Descripción	Unidad	Tipo de variable	Método de recolección	Factores de estratificación	Dónde	Tamaño muestral	Por qué
Tiempo de cambio y limpieza semanal	Tiempo total utilizado para los CyL en una semana	Minutos	Continuo	Datos históricos	Secuencia de trabajos	Sistema de reporte	Toda la data	Controlar la variable de respuesta
Tiempo de cambio y limpieza	Tiempo utilizado para cambiar del producto A al B	Minutos	Continuo	Datos históricos	Producto Estación Turno	Sistema de reporte	Toda la data	Enfocarse en los productos más relevantes e identificar diferencias entre turnos o estación
Tiempo de actividad	Tiempo utilizado para realizar una tarea	Minutos	Continuo	Muestreo	Turno Personal asignado	Línea de producción	8	Analizar las actividades más relevantes y actividades no necesarias.
Consumo de agua	Cantidad de agua utilizada por la línea para el CyL por Ton producida	m <sup>3</sup> /Ton	Continuo	Datos históricos	Estación Número de objetos a limpiar	Base de datos	Toda la data	Controlar la variable de respuesta para el eje ambiental
Estrés laboral	Nivel de estrés percibido por los operadores durante sus actividades	Puntos	Discreto	Encuesta	Estación Tipo de operador	Línea de producción	16	Controlar la variable de respuesta para el eje social

### 2.2.3. Análisis de confiabilidad de datos recolectados

**Tiempo semanal de cambio y limpieza y tiempo de CyL.** Los tiempos obtenidos se recopilaron directamente del sistema que utilizan los operadores para registrar los productos que se enfundan tiempos de producción, para programadas y no programadas. Al analizar los datos se identificó que existían ciertas inconsistencias:

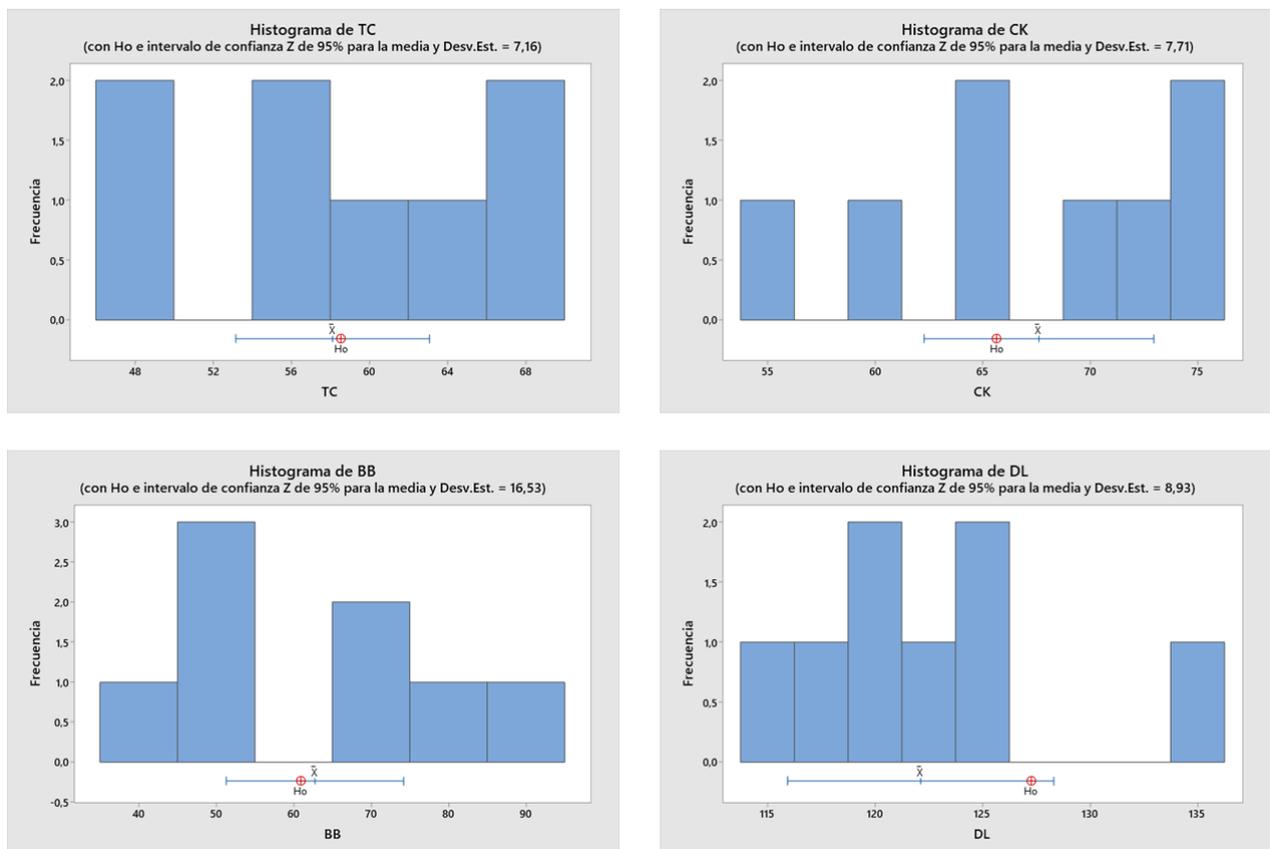
**Tabla 2.3**  
*Plan de mejora de confiabilidad de los datos*

Inconsistencia	Acción de mejora
Hay ocasiones en que los operadores marcan “Fin de Producción” y el tiempo de cambio no se recoge.	Ajustar los tiempos desde la hora de fin de producción de cada producto.
Hay algunos datos aberrantes con valores muy altos o bajos de tiempos de cambio.	Identificar datos aberrantes junto con sus causas asignables y reemplazarlas con el promedio de los tiempos de CyL válidos.
Hay uno o dos productos faltantes en algunas semanas, usualmente, productos de baja rotación.	Identificar productos faltantes y añadir esos tiempos al tiempo de cambio y limpieza semanal.

**Tiempo de actividad.** Los tiempos obtenidos se recopilaron mediante muestreo. Para analizar su confiabilidad se sumó el tiempo total de las actividades realizadas y se comparó el tiempo total de CyL con el histórico reportado en el sistema. Se condujeron pruebas de hipótesis a los datos obtenidos (Figura 2.5) y, al tener valores p mayores al nivel de significancia de 0.05, se concluye que los datos siguen la misma media hipotética y por lo tanto son confiables para su análisis pues representan la realidad del proceso.

**Figura 2.5**

*Análisis de confiabilidad de datos recolectados para la variable "tiempo de actividad"*

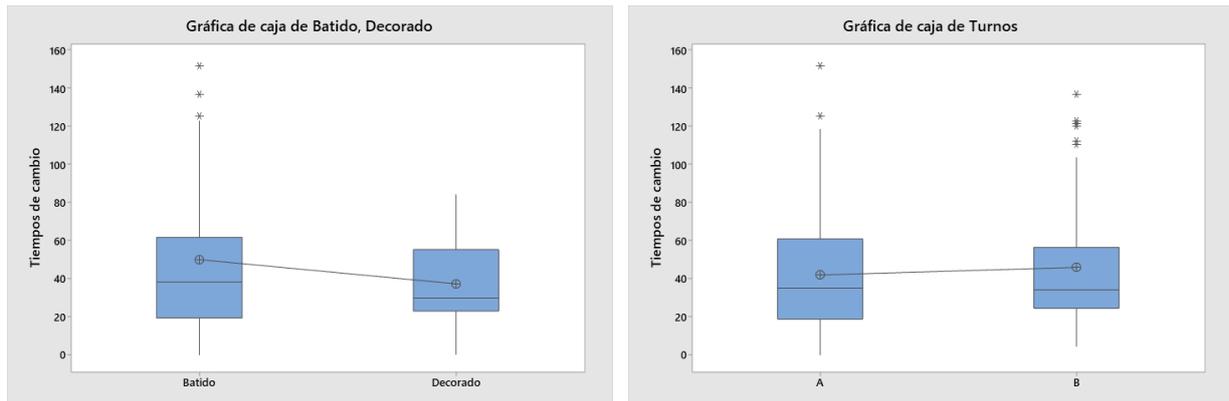


### 2.2.4. Estratificación y problema enfocado

Se analizaron los factores de estratificación de los datos recolectados. Las pruebas de hipótesis no paramétricas de igualdad de medianas (Figura 2.6) revelaron que no existen diferencias significativas en los tiempos de CyL semanales respecto a turno y estación.

**Figura 2.6**

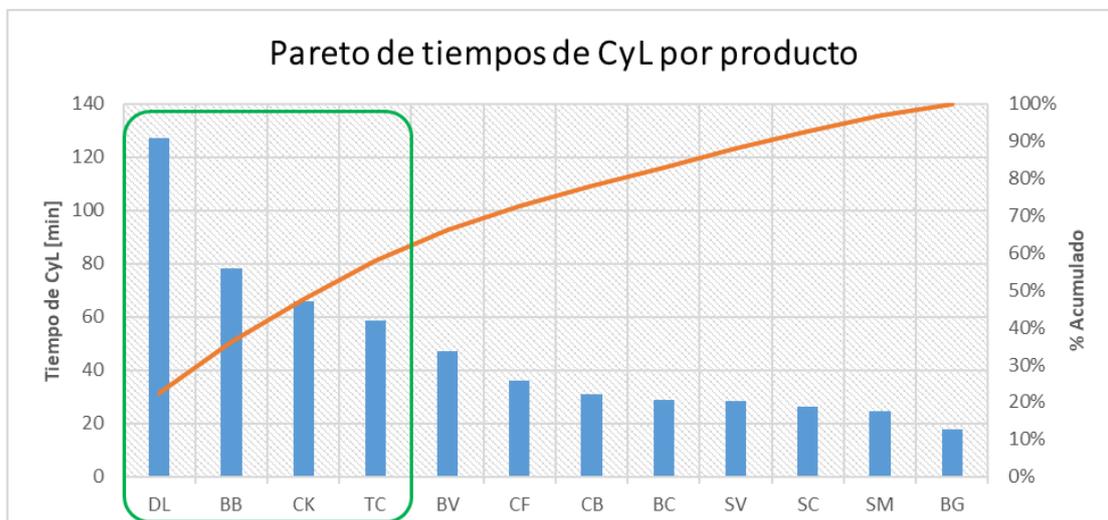
*Gráfica de cajas para identificar diferencias entre las estaciones o turnos de trabajo*



Sin embargo, al realizar un análisis de Pareto (Figura 2.7), se encontró que el 58% del tiempo total de CyL estaba concentrado en 4 de los 12 productos de la línea por lo que se terminó enfocando en esos productos. Al volver a analizar los factores de estratificación para los nuevos 4 productos vitales se evidenció que estos, a su vez representan cerca del 60% del tiempo de CyL en sus respectivas áreas de trabajo.

**Figura 2.7**

*Pareto de tiempos de cambio por producto*



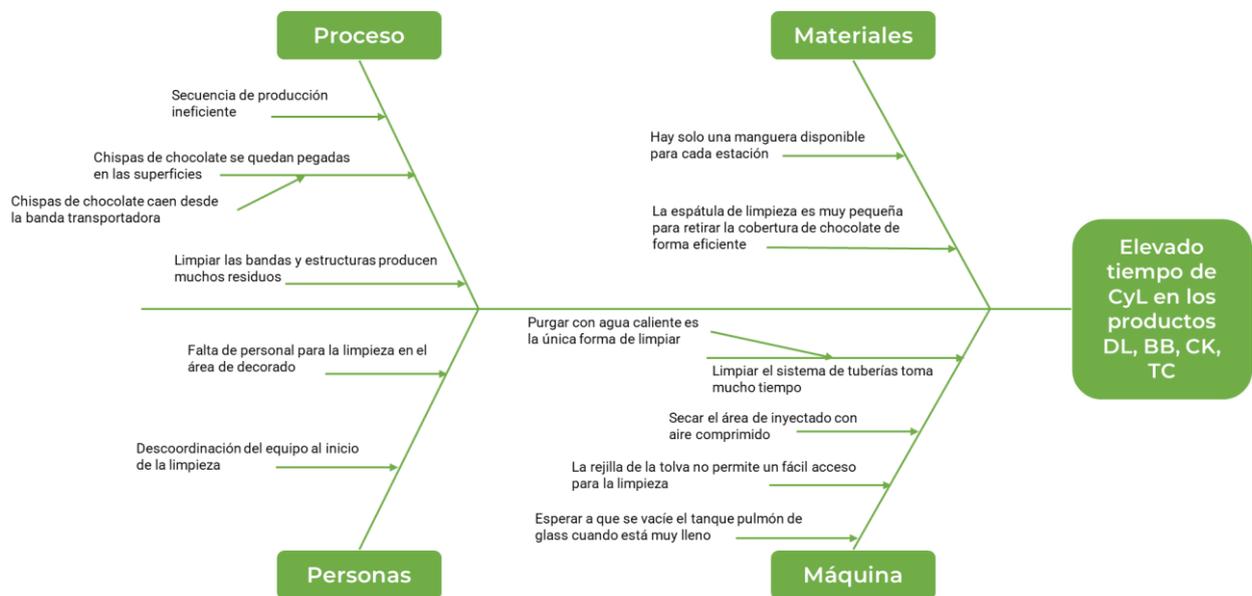
Por lo tanto, se enfocó el problema a: **Existe un alto tiempo de cambio y limpieza en las estaciones de batido y decorado de la línea de panquelería y pastelería durante el cambio de los productos DL, BB, CK y TC debido a que suman en total 303 minutos, lo que representa el 60% del cambio y limpieza general y en sus respectivas áreas.**

### 2.3. Análisis

#### 2.3.1. Ishikawa

Se efectuó una reunión con los operadores de ambos turnos para contemplar causas potenciales de los elevados tiempos de CyL, ideas que se resumen en el siguiente diagrama Ishikawa:

**Figura 2.8**  
*Diagrama causa - efecto del problema enfocado*



#### 2.3.2. Matriz Causa – Efecto

Con el fin de priorizar las causas potenciales, se realizó una evaluación de la magnitud del efecto que perciben los involucrados en la línea con cada una de las causas presentadas. En la tabla 2.x se aprecia que las principales causas fueron una secuencia de producción ineficiente, residuos

que caen al suelo desde las bandas (agrupando las causas 3 y 4), que existe una sola manguera para limpiar cada área y que limpiar y purgar todo el sistema de tuberías toma demasiado tiempo.

**Tabla 2.4**  
*Priorización de causas por parte de los actores del proceso*

<b>Causas potenciales</b>	<b>Supervisor</b>	<b>Maestro batido</b>	<b>Asistente batido</b>	<b>Maestro decorado</b>	<b>Asistente decorado</b>	<b>Moda</b>
<i>Secuencia de producción ineficiente</i>	8	1	4	8	8	<b>8</b>
<i>Chispas de chocolate que se quedan pegadas a las superficies</i>	4	8	4	8	4	<b>4</b>
<i>Chispas de chocolate que caen al suelo desde la banda</i>	4	8	8	8	8	<b>8</b>
<i>La cantidad de residuos que se retira de las estructuras y bandas que luego debe ser baldeado</i>	8	4	4	8	8	<b>8</b>
<i>Falta de personal para apoyo en limpieza de la tolva de inyectado</i>	8	4	1	1	4	<b>4</b>
<i>Existe una sola manguera para la limpieza en cada lado de la línea</i>	8	8	8	4	8	<b>8</b>
<i>La paleta usada para limpiar el tanque de cobertura es muy pequeña para limpiar eficientemente</i>	4	8	2	4	4	<b>4</b>
<i>Limpiar y purgar todo el sistema de tuberías de batido</i>	8	8	8	8	8	<b>8</b>
<i>Secar el área de inyectado con aire comprimido</i>	8	8	2	2	2	<b>2</b>
<i>La rejilla de la tolva de inyectado de crema no permite una fácil limpieza</i>	4	4	4	4	4	<b>4</b>
<i>Espera a vaciar el tanque pulmón de glas de decorado cuando este se encuentra muy lleno</i>	4	8	4	4	8	<b>4</b>
<i>Descoordinación en el equipo al iniciar el cambio de producto</i>	8	4	4	4	8	<b>4</b>

### 2.3.3. Verificación de causas

Una vez priorizadas estas causas, fue necesario comprobar el impacto real que tienen en el tiempo de CyL para los productos antes mencionados se elaboró el plan de verificación de causas que se muestra a continuación:

**Tabla 2.5**  
*Plan de verificación de causas*

<b>Causa potencial</b>	<b>Teoría del impacto</b>	<b>¿Cómo verificarlo?</b>	<b>Estado</b>
Hay solo una manguera en cada estación para realizar la limpieza.	La falta de una manguera adicional no permite que se puedan realizar tareas simultáneas como la limpieza de la tolva y el tanque de batido	<b>GEMBA:</b> Pedir prestada una manguera de otra área y comprobar si alguna de las dos estaciones la utiliza o si reduce el tiempo de CyL	Listo
Al limpiar las bandas, superficies y estructuras hay muchos remanentes como chispas de chocolate y residuos de cobertura	Los residuos producidos por la limpieza de las bandas luego deben ser recogidos y limpiados del suelo y las estructuras, lo que toma mucho tiempo en una actividad que no agrega valor.	<b>GEMBA:</b> Verificar en la estación de batido que el problema existe y utilizar los datos de “tiempo de actividad” para comprobar cuánto tiempo representa	Listo
Secuencia de producción ineficiente	La planificación actual sigue una secuencia lógica en base al tipo de producto, pero no al tipo de cake, que es blanco – negro – blanco y realizar este último cambio requiere mucho tiempo.	<b>GEMBA:</b> Verificar la planificación actual de producción y realizar una prueba siguiendo una secuencia por tipo de cake (de blanco a negro) para comprobar si existe una diferencia.	Listo
Limpiar y purgar el sistema de tuberías toma mucho tiempo	La purga con agua caliente del sistema de tuberías es una actividad con tiempo variable que no puede evitarse y es necesario terminarla antes de empezar con la producción	<b>Análisis estadístico:</b> Revisar los datos disponibles de “tiempo de actividad” para establecer por orden de ocupación, si esta actividad representa un porcentaje alto del tiempo de CyL	Listo

**Existencia de una sola manguera en cada estación para realizar la limpieza.** Se comprobó en línea que existen dos mangueras disponibles para el área de inyectado (Figura 2.9) para el cambio del producto CK al TC y se observó el uso de las dos mangueras para la limpieza del tanque de retorno de cobertura y la tolva de inyección de cremas, pero en ningún momento de las observaciones existió algún retraso por que alguna de las mangueras no se encuentre disponible para su uso.

**Figura 2.9**

*Mangueras para limpieza disponibles en el área de inyectado*



Por otro lado, para el cambio al producto CK el proceso no involucra la ejecución de una actividad en paralelo que requiera el uso de otra manguera tal como se puede observar en la Figura 2.10.

**Figura 2.10**  
*Operador en el CyL del producto BB al CK*



Finalmente, los otros cambios y limpiezas no requieren el uso de una manguera para la ejecución de sus tareas. Debido a que el desempeño del CyL no se ve afectado en ninguno de los productos por la disponibilidad de mangueras para su ejecución, esta causa se concluye como invalidada.

**Residuos en las superficies que deben ser limpiados.** Al revisar la línea de producción se pudo evidenciar que el problema existe y les afecta durante la limpieza para cambiar a los productos BB y CK.

**Figura 2.11**

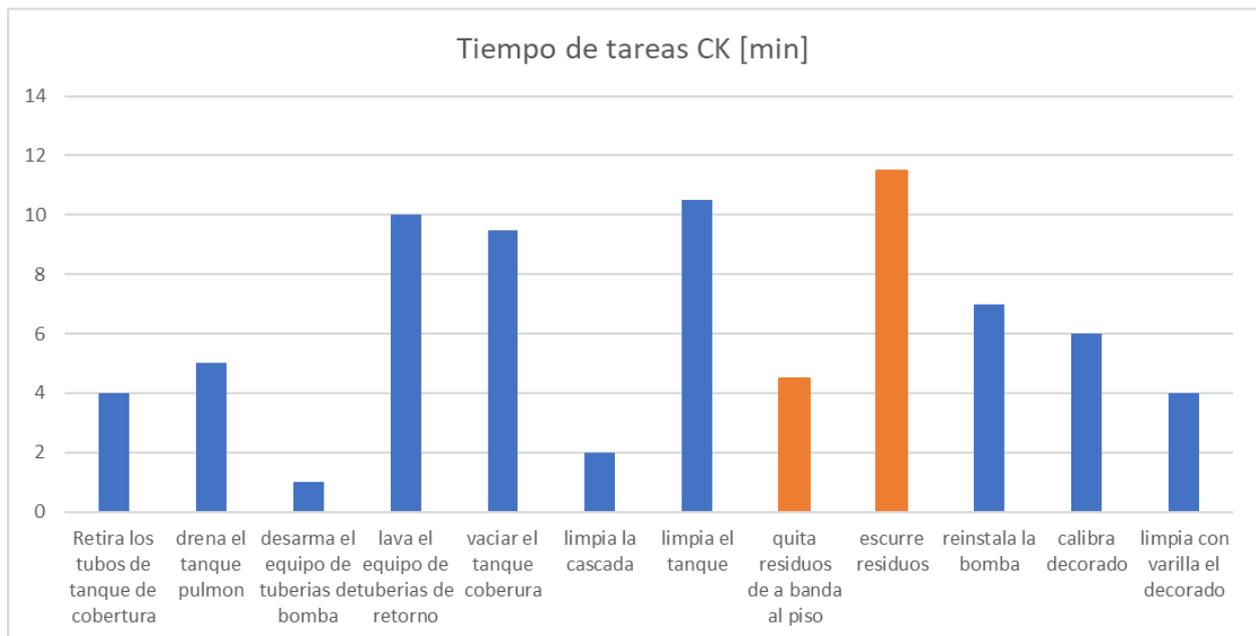
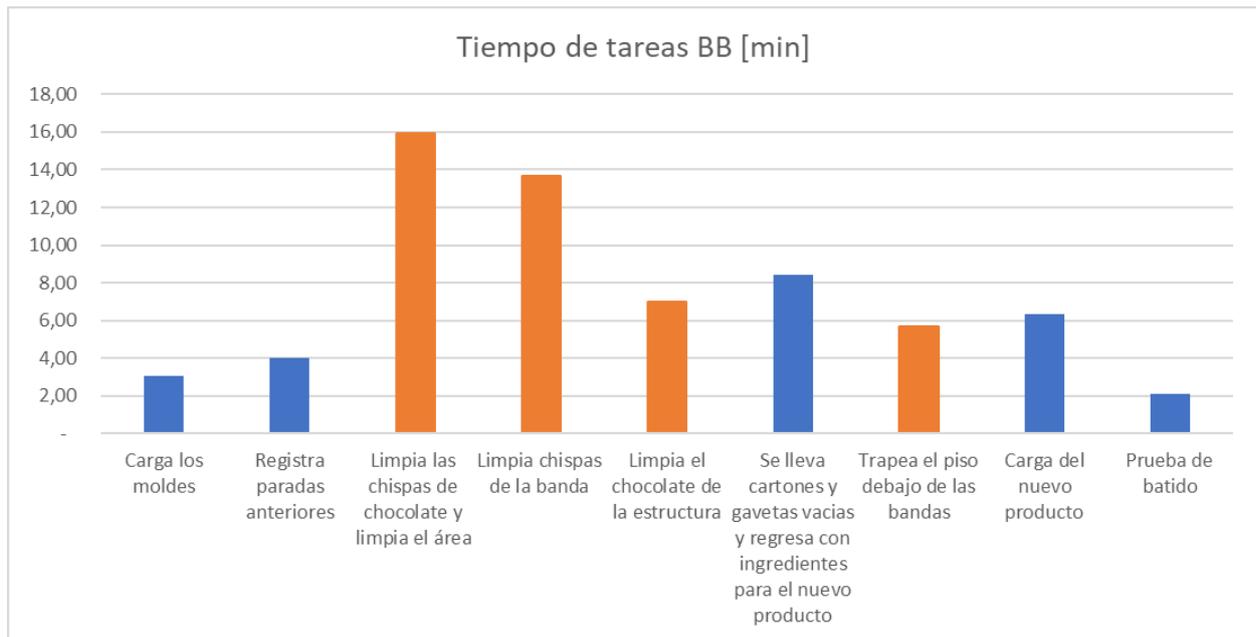
*Chispas de chocolate en el piso previo al cambio al producto BB*



Además, la Figura 2.12 evidencia que el 41% (58 min) del tiempo de CyL de estos dos productos está ocupado por actividades relacionadas con la limpieza de residuos que caen desde las bandas por lo que esta causa se concluye como validada.

**Figura 2.12**

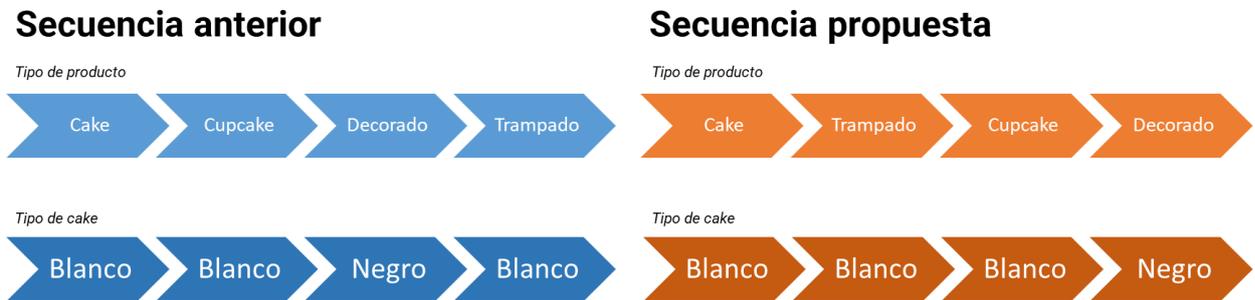
*Tiempo de actividad durante el CyL de los productos BB y CK*



**Secuencia de producción ineficiente.** Al realizar el cambio en la secuencia de producción se midió el nuevo tiempo de cambio y limpieza en el producto DL, el más afectado por la secuencia de producción actual debido a que el cambio de cake negro a blanco tal como se explica en la Figura 2.13:

**Figura 2.13**

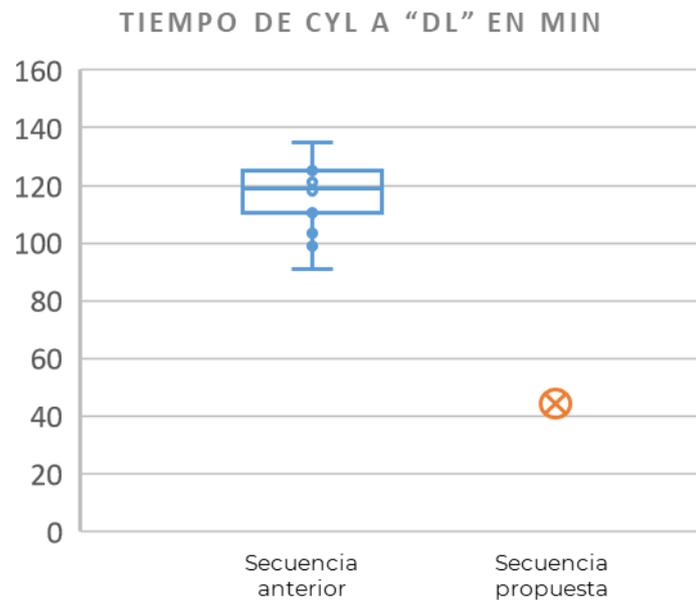
*Secuencia de producción antes de la intervención y propuesta según el tipo de producto y color de cake*



La secuencia anterior normalmente representaba un tiempo de limpieza de 125 min en promedio en el producto DL. Al realizar el cambio de secuencia se observó una reducción del tiempo de CyL a 46 min (Figura 2.14). Por tanto, se concluyó a esta causa como validada.

**Figura 2.14**

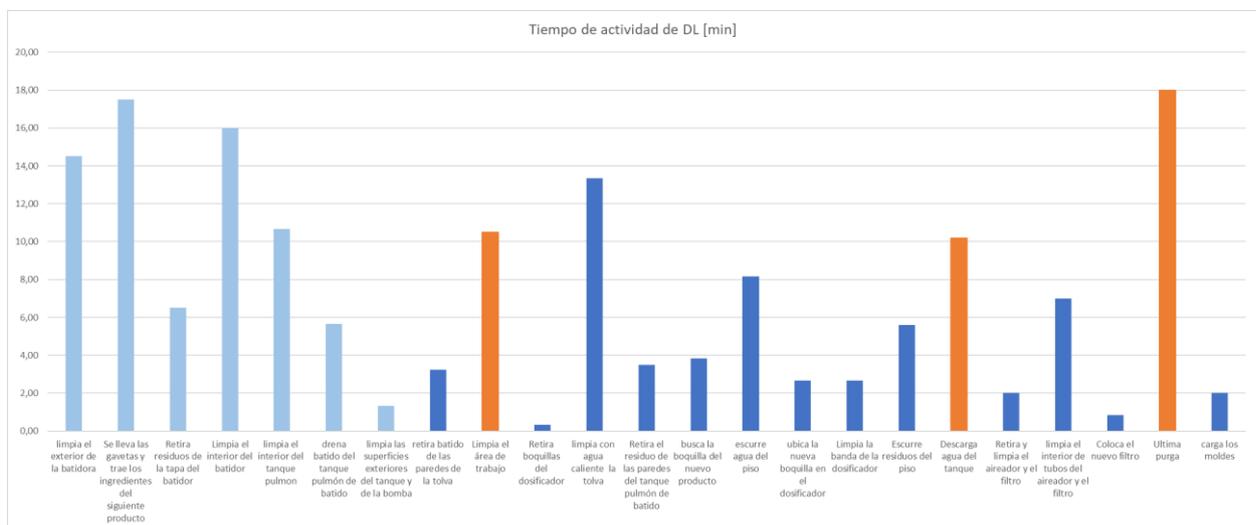
*Tiempo de CyL del producto DL en la secuencia anterior y propuesta*



**Limpiar y purgar el sistema de tuberías toma mucho tiempo.** Se revisaron las actividades del proceso de CyL en el producto DL, al que se realiza una purga completa al sistema de tuberías debido al cambio de batido de cake negro al blanco propio del producto DL y se encontró que se realizan 3 descargas en todo el proceso (una en simultáneo con la limpieza del área) y que, en total, esta actividad representa el 52% (38 min) de las actividades internas del CyL tal como se muestra en la Figura 2.15. Por tanto, esta causa se considera validada

**Figura 2.15**

*Tiempo de actividad del CyL del producto DL. Las franjas celestes representan actividades externas*



#### 2.3.4. Análisis de causa raíz

Las causas validadas se pasaron al filtro de la herramienta de los 5 porque's (Tabla 2.6) para encontrar la causa raíz (condiciones, pensamientos o procedimientos) que originaron el problema en primer lugar y de esta manera atacar directamente a la fuente.

**Tabla 2.6**  
*Análisis de los 5 porqué de las causas verificadas*

Causa verificada	W1	W2	W3	W4	W5
Hay muchos residuos en el suelo que luego deben ser limpiados	Porque las chispas de chocolate caen libremente y se esparcen por todo el suelo y las superficies	Porque al terminar de pasar el molde, caen chispas residuales sobre la banda y que luego caen al suelo	Porque el diseño de la dosificadora de chispas no retiene las chispas residuales	Porque la banda tiene un borde muy circular y las chispas que quedan allí terminan cayendo	
		Porque no hay una forma sencilla de recolectar los residuos que caen	Porque el personal se enfoca más en limpiar a que en evitar que se ensucie		
Secuencia de Producción ineficiente	Porque la planificación actual alternaba batido blanco – negro – blanco	Para hacer todos los productos con cobertura de chocolate al final	Porque el personal pensaba que, si empacaban los productos con cobertura en medio de la producción, el CyL se alargaría por limpiar las bandas.	Porque tuvieron una mala experiencia con los productos con cobertura aguada en el pasado	Porque la cobertura no había llegado bien acondicionada hacia las bandas de enfundado
Limpiar el sistema de tuberías toma mucho tiempo	Porque se debe repetir muchas veces mientras no se está produciendo	Porque se debe eliminar bien el batido de chocolate para que no contamine el batido blanco	Porque el orden de producción actual alterna batido blanco, negro y luego blanco de nuevo.		

## 2.4. Mejora

### 2.4.1. Soluciones propuestas

La tarea siguiente fue proponer alternativas de solución (Tabla 2.7) que ataquen directamente a las causas raíz del problema, al igual de proponer mejoras con el fin de agilizar el proceso de CyL en la línea.

**Tabla 2.7**  
*Propuestas de solución a partir de causas raíz identificadas*

<b>Causa verificada</b>	<b>Causa raíz</b>	<b>Propuesta de solución</b>
Hay muchos residuos en el suelo que luego deben ser limpiados	Porque la banda tiene un borde muy circular y las chispas que quedan allí terminan cayendo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalar una compuerta en el dosificador que evite que queden chispas residuales en el borde del dosificador.</li> <li>• Instalar una varilla en el borde que retenga las chispas que estén por caer.</li> <li>• Diseñar un borde en forma de resbaladera en la guía del dosificador que retenga las chispas residuales que caigan del borde</li> </ul>
	Porque el personal se enfoca más en limpiar a que en evitar que se ensucie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desplegar una bandeja que recolecte las chispas que caigan al suelo y evite que se dispersen.</li> </ul>
Secuencia de Producción ineficiente	Porque la cobertura no había llegado bien acondicionada hacia las bandas de enfundado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Encender el túnel de enfriamiento 20 min antes para que se climatice de acuerdo con la temperatura de salida deseada</li> </ul>
Limpiar el sistema de tuberías toma mucho tiempo	Porque el orden de producción actual alterna batido blanco, negro y luego blanco de nuevo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reordenar la secuencia de producción para seguir un orden en el que se produzcan todos los cakes blancos primero y luego los negros.</li> </ul>

Se puede observar que la solución a la causa de que la cobertura no haya llegado correctamente acondicionada a la siguiente estación es una condición del proceso a aplicar dentro de la solución siguiente (reordenar la secuencia de producción) por lo que queda englobada dentro de esa misma solución en su manual operativo. Además, en orientación con la metodología Lean, se propusieron 2 nuevas soluciones con el fin de externalizar actividades y agilizar los cambios y limpieza. Estas actividades se muestran en la Tabla 2.8 a continuación:

**Tabla 2.8**  
*Análisis de externalización para SMED*

<b>Actividad</b>	<b>Tiempo [min]</b>	<b>Intervención</b>	<b>Acción</b>
<i>Cambio de producto BB a CK</i>			
Retira los tubos de tanque de cobertura	4		
drena el tanque pulmón	5	Externalizar	Adaptar un segundo tanque
desarma el equipo de tuberías de bomba	1	Externalizar	Adaptar un segundo tanque
lava el equipo de tuberías de retorno	10	Externalizar	Adaptar un segundo tanque
vaciar el tanque cobertura	9	Externalizar Agilizar	Adaptar un segundo tanque Espátula más ancha
limpia la cascada	2		
limpia el tanque	11	Externalizar Agilizar	Adaptar un segundo tanque Espátula más ancha
quita residuos de a banda al piso	4		
escurre residuos	12		
reinstala la bomba	7		
calibra decorado	6		
limpia con varilla el decorado	4		
<i>Cambio de producto CK a TC</i>			
Retira los tubos de tanque de cobertura	2		
drena el tanque pulmón	11	Externalizar Agilizar	Adaptar un segundo tanque Espátula más ancha
Retira el seguro de inyectado	1		

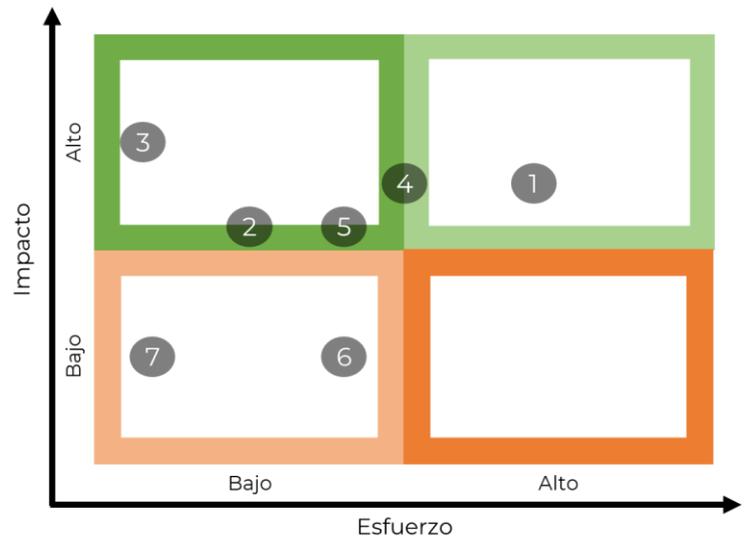
Vacía la tolva de inyectado	2		
Limpia la tolva de inyectado y cambia la boquilla	20	Agilizar	Espátula más ancha
desarma el equipo de tuberías de bomba	4	Externalizar	Adaptar un segundo tanque
limpia el tanque	10	Externalizar Agilizar	Adaptar un segundo tanque Espátula más ancha
reinstala los tubos de retorno de cobertura	3	Externalizar	Adaptar un segundo tanque
Limpia el área de inyectado	6		
Calibra cascada	5		
calibra inyectado	10		
Limpia la tubería de la cascada por dentro	1		

El siguiente paso fue valorar la efectividad de las soluciones de acuerdo con la factibilidad técnica y las directrices operacionales de la empresa junto con el potencial que estas soluciones tienen para eliminar las causas raíz. El resultado de las valoraciones con los supervisores se refleja en la matriz de priorización de soluciones (Figura 2.16).

**Figura 2.16**

*Matriz de evaluación de soluciones Impacto – Esfuerzo*

- 1 Compuerta para dosificadora de chispas de chocolate
- 2 Gabeta recolectora de chispas de chocolate
- 3 Reordenar la secuencia de producción
- 4 Adaptar un nuevo tanque para cambios rápidos
- 5 Espátula más ancha para limpiar más eficientemente.
- 6 Borde en forma de gancho para atrapar residuos de chispas
- 7 Varilla en la dosificadora de chispas



Es así como las soluciones escogidas serán la gaveta recolectora de chispas de chocolate, reordenar la secuencia de producción, adaptar un nuevo tanque de cobertura y una espátula más ancha para limpieza más efectiva.

### 2.4.2. Implementación

Se detalla a continuación el plan general de implementación de las soluciones:

**Tabla 2.9:**  
*Plan de implementación de soluciones*

Solución	¿Por qué?	¿Cómo?	¿Dónde?	¿Cuándo?	Responsable(s)
Reordenar la secuencia de producción	Ahorraría la limpieza exhaustiva que se realiza después de procesar un cake negro para pasar a uno blanco	Programando todos los productos de acuerdo con su color de cake en batido.	Estación de batido	14 Nov	Planificador de la producción
Gaveta recolectora de chispas de chocolate	Es una forma fácil de evitar que las chispas de chocolate que caen de las bandas ensucien el suelo y sea fácil retirarlas de la línea.	Ubicar una gaveta de 1 x 1,2 m y 20 cm de altura debajo de la dosificadora de chispas de chocolate y la banda para recolectar las chispas que caigan al suelo y evitar que ensucien el suelo	Dosificadora de chispas (batido)	9 Ene	Operador de batido y supervisor de línea
Nuevo tanque de cobertura de glas	Exterioriza las actividades de limpieza del tanque permitiendo ser más ágiles en el cambio	Adaptar un nuevo tanque para cambiar de manera rápida el tanque sucio con el limpio durante el cambio. La limpieza se haría ya corriendo el producto	Cascada de chocolate (decorado)	6 Feb	Equipo de mantenimiento de la línea y Supervisor de mantenimiento
Espátula de limpieza más ancha	Agiliza las actividades de limpieza del tanque al proporcionarles la herramienta adecuada para sus labores	Darle al área de decorado una nueva espátula con 22 cm de ancho para hacer la limpieza del tanque más rápida y eficiente	Decorado	9 Ene	Operador de batido y supervisor de línea que se encargará de la compra

**Reordenar la secuencia de producción.** Tras la prueba exitosa que se realizó durante la etapa de análisis, se acordó con el planificador de producción y los supervisores mantener ese esquema de producción tal cual, produciendo primero todos los productos con cake blanco y dejar aquellos con cake oscuro al final, tal como se muestra en la Figura 2.17.

**Figura 2.17**  
*Secuencia propuesta de producción*

	Producto	Color de cake	
O r d e n  d e  p r o d u c c i ó n	Cake vainilla	Blanco	C a m b i o  d e  c o l o r
	Cake chocolate	Blanco	
	Cake manjar	Blanco	
	Trampado vainilla	Blanco	
	Trampado fresa	Blanco	
	Trampado banano	Blanco	
	Cupcake simple	Blanco	
	Cupcake chispas	Blanco	
	Cupcake chocochispas	Negro	
	Cake decorado clásico	Negro	
	Cake decorado blanco	Negro	
	Cake decorado chocolate	Negro	

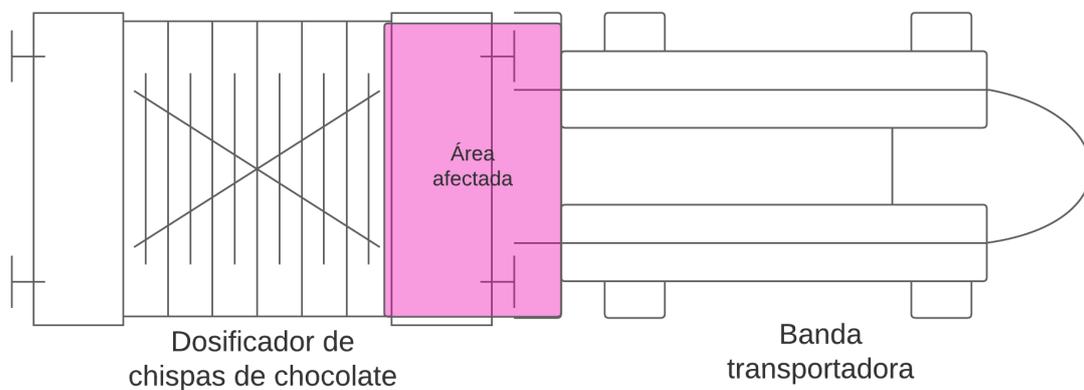
El encargado de mantener dicha secuencia será el planificador de producción. Los operadores deberán encender el túnel de enfriamiento 15 min antes de la producción de trampados para climatizar el túnel de enfriamiento y asegurar que salga a la temperatura adecuada (menos de 5 °C sobre la temperatura ambiente). Dicha indicación quedará añadida a la vista del operador en la ficha de condiciones de operación en su centro de control de la línea.

**Figura 2.18**  
Condiciones de operación actualizadas y publicadas en la línea de producción



**Gaveta recolectora de chispas de chocolate.** Se utilizaron dos gavetas ubicadas en las áreas de mayor incidencia de caída de chispas de chocolate (Figura 2.19) para recolectar las chispas que caigan desde la banda.

**Figura 2.19**  
Área de incidencia de caída de chispas de chocolate



La gaveta ideal tiene las dimensiones que se muestran en la Figura 2.20 para cubrir toda el área en la que caen las chispas de chocolate, sin embargo, el mercado nacional no cuenta con productos de tales medidas en stock directo, por lo que se optó por utilizar dos gavetas que cubran la totalidad del área marcada. Esta herramienta facilitará la recolección de chispas de chocolate

que caigan desde el dosificador, además de evitar que se dispersen por el piso y, de esta forma, evitando la limpieza posterior que esto genera.

**Figura 2.20**

*Gaveta recolectora de chispas de chocolate ubicada debajo de la máquina dosificadora*



**Nuevo tanque de cobertura de glas.** Se ubicó un nuevo tanque de retorno de cobertura en el área de almacenamiento de equipos de la línea (Figura 2.21) que estará pre seteadado para el cambio del producto BB a CK y de CK a TC.

**Figura 2.21**

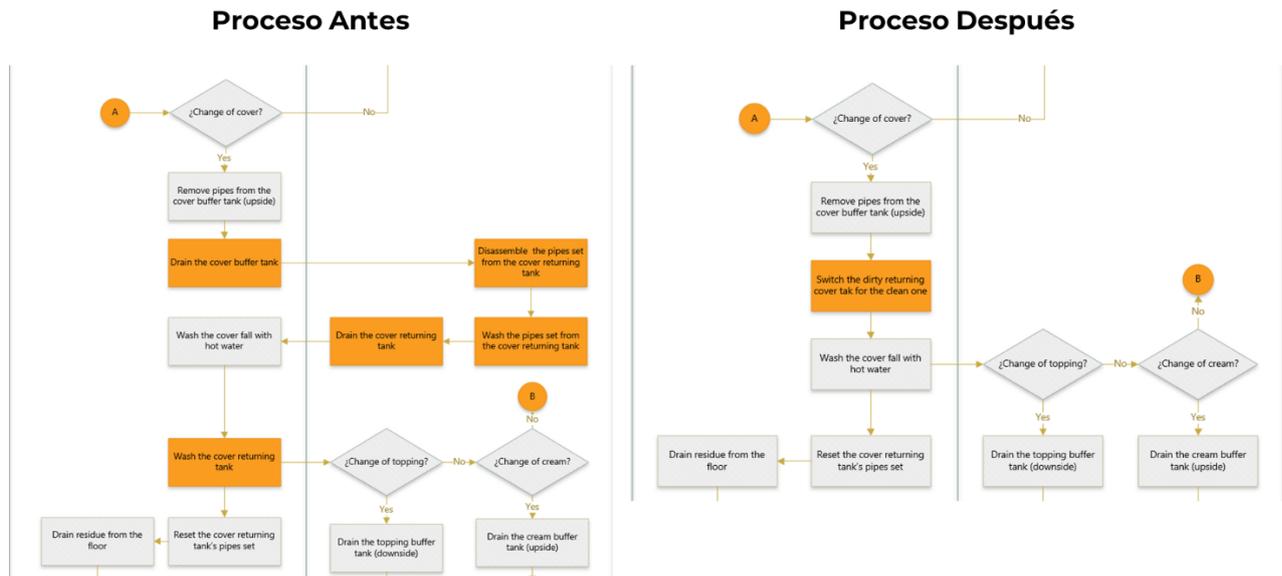
*Tanque actual de cobertura pre-seteado en el área de equipos de la línea (izquierda) y nuevo tanque a habilitar para la ejecución de cambios rápidos (derecha)*



El nuevo proceso de cambio se representa con el diagrama de la Figura 2.22 lo que permite agilizar los procesos de cambio y limpieza antes mencionados al externalizar las actividades de limpieza y preparación del tanque y realizarlas en una zona apartada de la línea mientras se produce.

**Figura 2.22**

*Cambio en el proceso de cambio y limpieza después de la incorporación del nuevo tanque de cobertura. Las actividades resaltadas son aquellas que cambian.*



Debido a la complejidad de esta solución, se optó por simular los resultados que se obtendrían con ella, mismos que se validaron a través de una prueba de comparación de medias entre los datos históricos y cuyos resultados fueron los siguientes:

**Figura 2.23**

*El valor p de ambas pruebas indica que la simulación refleja la realidad del proceso de CyL al producto CK (izquierda) y TC (derecha) con un 95% de confianza*

**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

2,87 33 0,007

**Prueba**

Hipótesis nula  $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

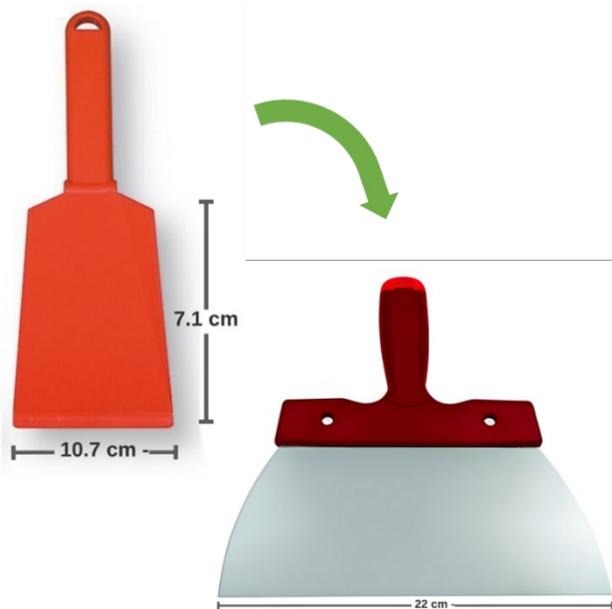
Hipótesis alterna  $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T GL Valor p

5,23 30 0,000

**Espátula de limpieza más ancha.** Se cambió la espátula para limpieza que utilizaban los operadores de una con 10.7 cm de ancho a una de 22 cm (Figura 2.24) que estará ubicada en el tablero de limpieza de la estación de decorado.

**Figura 2.24:**  
*Cambio de espátula para limpieza*



## 2.5. Control

### 2.5.1. Plan de Control

Una vez implementadas las soluciones, es de vital importancia definir estrategias, registros o recursos para asegurarse de que dichas soluciones se mantengan en el tiempo sin afectar la estabilidad de otros procesos de la misma línea. Por ello, se definió un plan de control en el que se analizaron los registros ya existentes para actualizarlos de acuerdo con las nuevas condiciones que eran necesarias medir para controlar el proceso. El plan detallado de acción reacción se muestra a continuación:

**Figura 2.25**  
*Plan de control de soluciones*

<b><i>Reordenar la secuencia de producción</i></b>	
<b>¿Qué?</b>	Calidad de la cobertura del cake.
<b>¿Por qué?</b>	Para prevenir que la cobertura de chocolate se derrita en las bandas de enfundado ensuciándolas y alargando el cambio y limpieza.
<b>¿Cómo?</b>	Controlar la temperatura de la cobertura (menor a 52 °C medido en la trampadora) y condiciones de operación de la torre de enfriamiento (menor a 20 °C en ambas torres). Medir la temperatura interna del cake a la salida inmediata del túnel de enfriamiento con un termómetro y no con la termocupla habitual (menor a 30 °C).
<b>¿Cuándo?</b>	Semanalmente, en cada corrida de productos trampados.
<b>¿Quién?</b>	Operadores maestros de decorado y enfundado.
<b>¿Dónde?</b>	Se registrará en el GB report (sistema de control de operaciones de la empresa)
<b><i>Gaveta recolectora de chispas de chocolate</i></b>	
<b>¿Qué?</b>	Uso de la gaveta en la línea.
<b>¿Por qué?</b>	Asegurar el desarrollo adecuado de las actividades y el correcto uso de las herramientas que previenen la suciedad.
<b>¿Cómo?</b>	El supervisor de línea realizará en su revisión sistemática (GB report) si se está utilizando la gaveta en la ubicación y manera adecuada, evitando que su recolección interrumpa el tiempo de CyL mientras la línea se encuentra detenida. En caso de no contar con las gavetas a disposición, se hará seguimiento de la causa raíz pero será responsabilidad del operador tener listas y disponibles las gavetas para la producción de cupcakes.
<b>¿Cuándo?</b>	Semanalmente
<b>¿Quién?</b>	Supervisor de línea.
<b>¿Dónde?</b>	Se registrará en el GB report (ventana sistemática de supervisores).
<b><i>Nuevo tanque de cobertura de glas</i></b>	
<b>¿Qué?</b>	Disponibilidad de los tanques.
<b>¿Por qué?</b>	El adecuado estado de los tanques es importante para asegurar los cambios rápidos en la estación de decorado.
<b>¿Cómo?</b>	El equipo de mantenimiento realizará la rutina de verificación de equipos en la aplicación Parsable. La rutina se encuentra incluida en el Checklist de la línea y se

---

verificará el estado de la bomba, amperaje, frecuencia, disponibilidad del set de tuberías y condiciones generales del estado del tanque.

---

**¿Cuándo?** Mensualmente

---

**¿Quién?** Equipo de mantenimiento.

---

**¿Dónde?** La revisión se realizará en la línea de producción  
Se registrará la información en Parsable (aplicación para el registro de la revisión de equipos).

---

***Espátula de limpieza más ancha***

---

**¿Qué?** Cumplimiento del proceso de limpieza.

---

**¿Por qué?** Asegurar el desarrollo adecuado de las actividades y el correcto uso de las herramientas de limpieza.

---

**¿Cómo?** El supervisor de línea realizará en su revisión sistemática (GB report) si se está realizando la limpieza de manera adecuada para el cambio de productos decorados utilizando la espátula adecuada para el procedimiento.  
Quedará prohibida además la posibilidad de prestar la espátula u otra herramienta de limpieza del área de decorado con otra línea u estación.

---

**¿Cuándo?** Mensualmente.

---

**¿Quién?** Supervisor de línea.

---

**¿Dónde?** Se registrará en el GB report.

---

## Capítulo 3

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Las soluciones propuestas tienen un costo asociado que la empresa estuvo dispuesta a asumir a través de su gestión de proyectos de mejora continua dentro de la línea. Sin embargo, al ser un proyecto que promete mejorar la eficiencia de sus operaciones la inversión realizada se tuvo que comparar con la mejora prometida para analizar su viabilidad y urgencia.

**Tabla 3.1:**  
*Análisis de costos del proyecto*

Solución	Recursos humanos [horas]	Costo laboral	Costo de materia prima	Costos de equipos y maquinaria	Costos totales	Mejora en tiempo [min/sem]	Ahorro estimado semanal
<i>Reordenar la secuencia de producción</i>	-	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	60	\$ 803.67
<i>Gaveta recolectora de chispas de chocolate</i>	1 gestor de compras – 3 horas	\$ 15	\$ -	\$ 10.80	\$ 25.80	20	\$ 267.89
<i>Nuevo tanque de cobertura de glas</i>	2 técnicos de mantenimiento – 48 horas	\$ 107	\$ 50	\$ 2 340	\$ 2 497.00	34	\$ 455.41
<i>Espátula de limpieza más ancha</i>	1 gestor de compras – 3 horas	\$ 15	\$ -	\$ 8.70	\$ 23.70	5	\$ 66.97

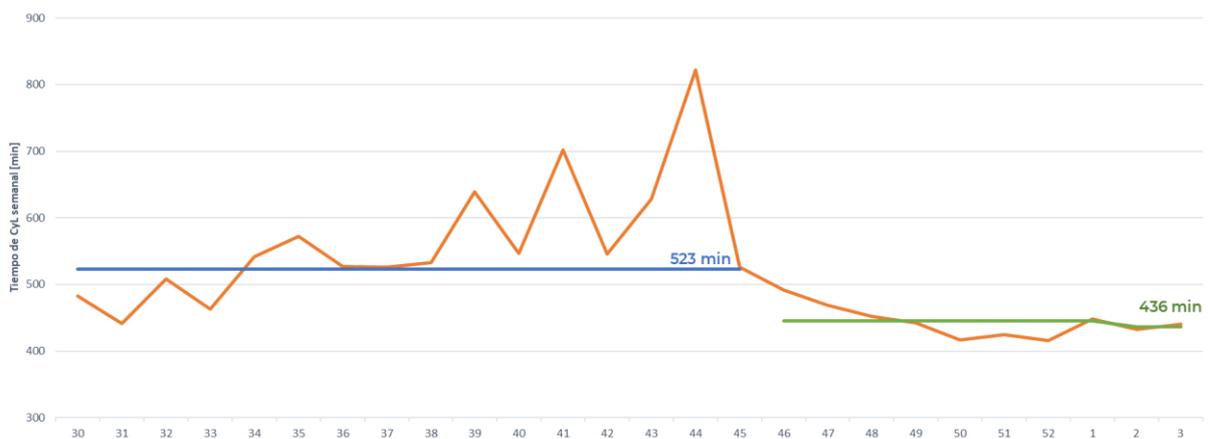
El análisis de costos junto el sponsor del proyecto determinó la viabilidad del proyecto y la factibilidad de solución 3 (nuevo tanque de cobertura de glas). Se realizó un monitoreo constante de la variable de respuesta, así como de los beneficios obtenidos de la implementación del proyecto.

### 3.1. Tiempo de cambio y limpieza semanal

La Figura 3.1 muestra la línea de tiempo de los tiempos de cambio y limpieza obtenidos desde la semana 30 (julio) del 2023 hasta la tercera semana de enero del 2024. Se puede apreciar que a mediados de la fase de medición y análisis la variable de respuesta presentó una tendencia creciente, dicha tendencia se explicó por fallas externas al proceso de cambio y limpieza como fallas en las máquinas de preparación de glases o desmoldeadora. Dichos eventos fueron normalizados la semana 45 y a partir de la semana 46 empezó la intervención en el proceso.

**Figura 3.1**

*Línea de tiempo de la variable de respuesta*



Una prueba de hipótesis para dos muestras fue ejecutada sobre los tiempos de CyL al inicio del proyecto comparándolos con los medidos al finalizar el proyecto y demostró que, con una confianza del 95%, existe una reducción estadísticamente significativa en los tiempos de cambio antes y después de la intervención.

**Figura 3.2**

*Prueba de hipótesis para la comparación de medias antes y después del proyecto (arriba) y Comparación de tiempos de CyL (abajo)*

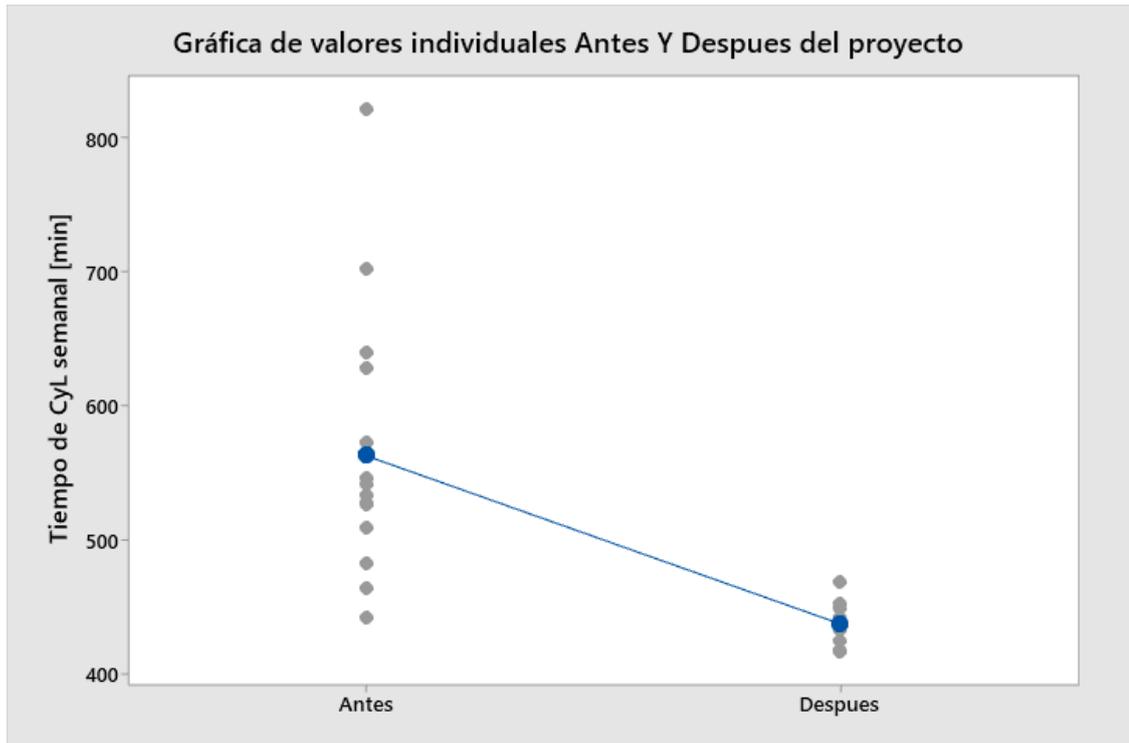
#### Prueba

Hipótesis nula  $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna  $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T GL Valor p

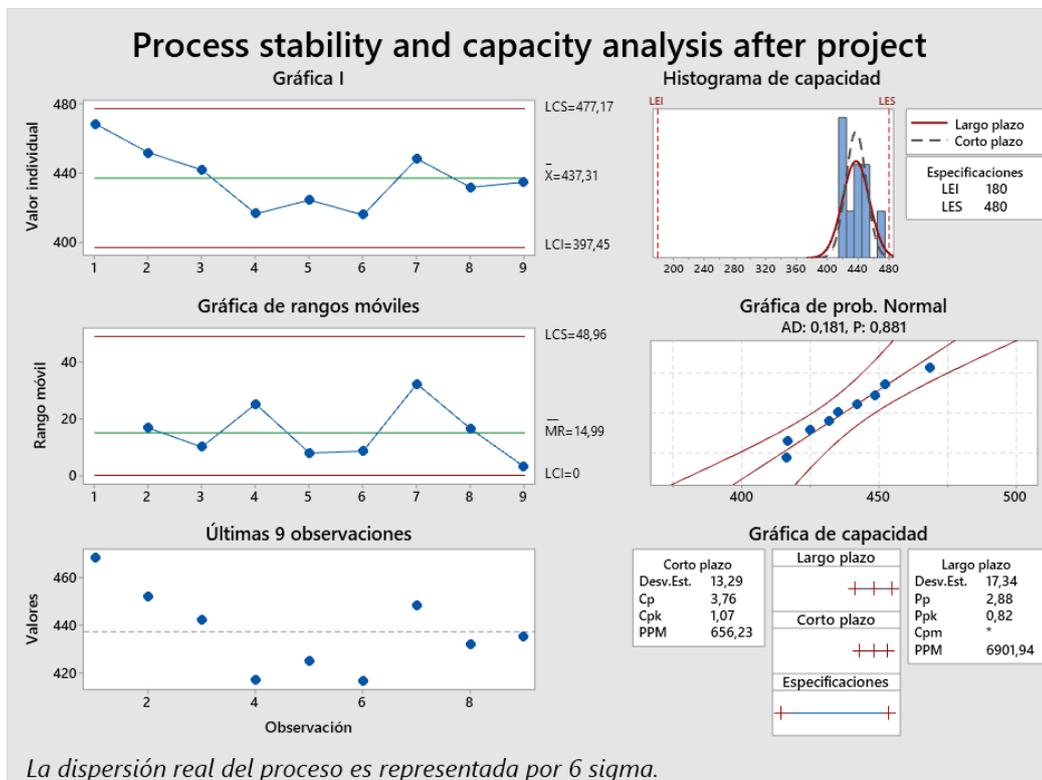
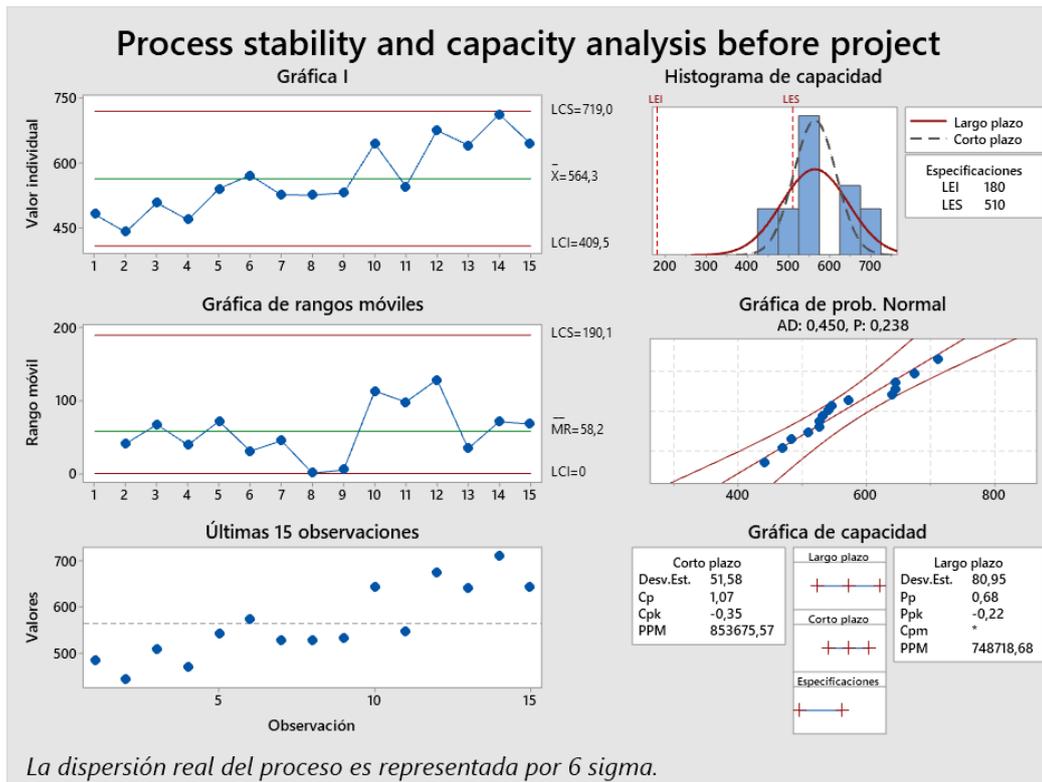
5,11 16 0,000



Finalmente, al modificar la secuencia de producción, el límite superior de especificación para el tiempo de CyL se redujo de 510 min a 480 min y el análisis de capacidad reveló una mejora en el  $CP_k$  del proceso de -0.35 a 1.07 incluso habiendo acortado el LSE.

**Figura 3.3**

*Análisis de estabilidad y capacidad del proceso antes y después del proyecto*

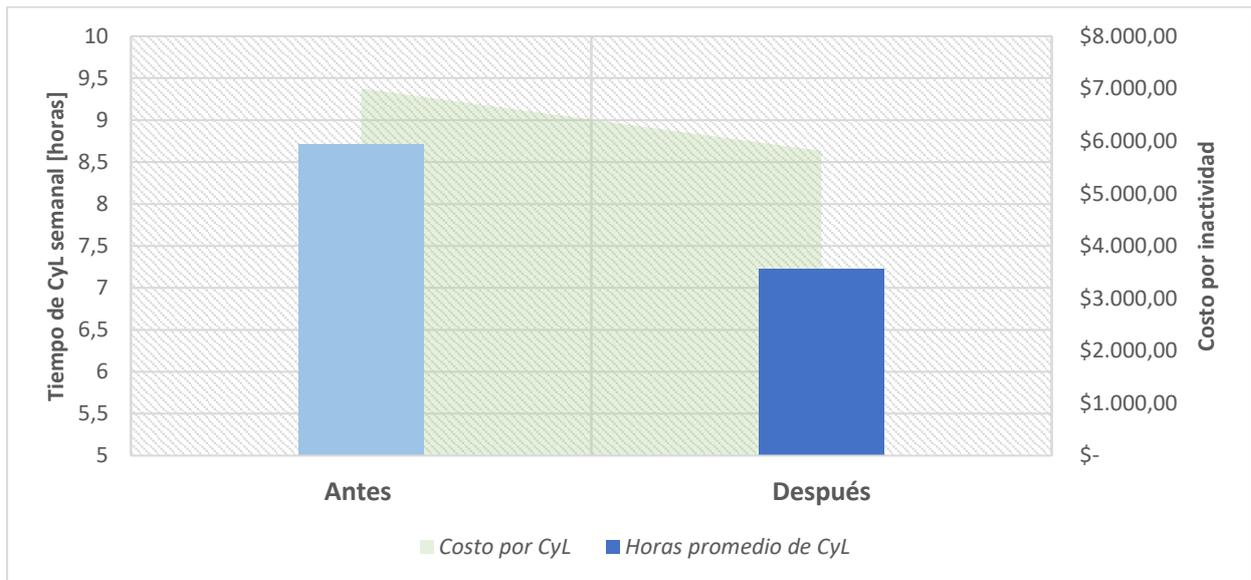


### 3.2. Triple Bottom Line

Considerando el costo por hora de funcionamiento de la línea de \$ 803.67 y la reducción obtenida con las mejoras implementadas y simuladas a la finalización del proyecto, en el aspecto económico se consiguió una reducción de \$ 1,165.32 semanales en costos operativos.

**Figura 3.4**

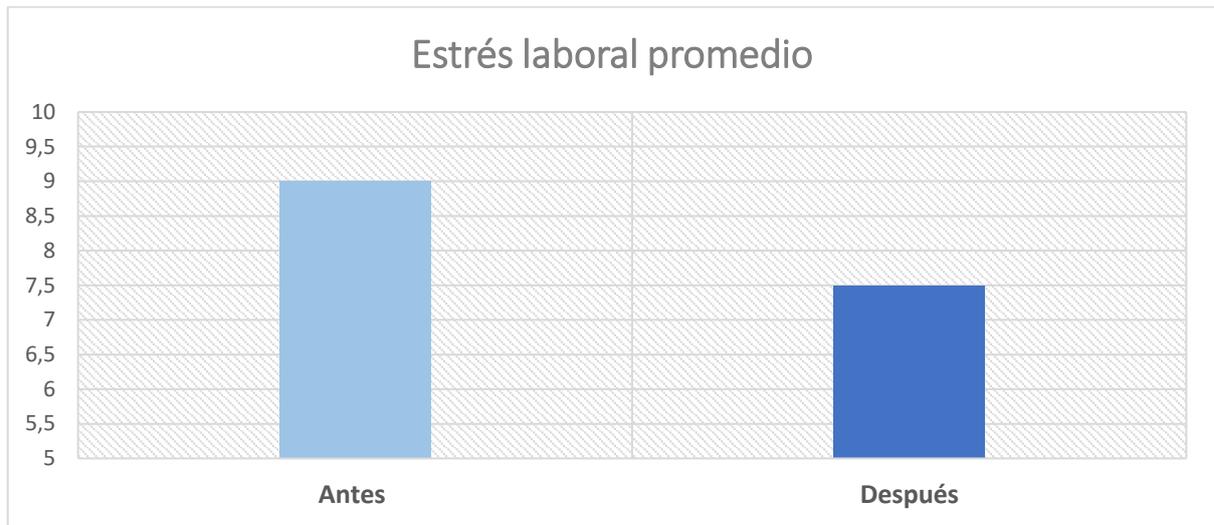
*Reducción del tiempo de CyL y su costo operativo asociado*



En el aspecto social se redujo 1,5 puntos en la calificación de estrés laboral promedio por esfuerzo físico según el formulario SOFI-SM, tal como se muestra en la Figura 3.5. Además, se consiguió una aceptación total del proyecto por parte de los operadores de la línea y el equipo supervisorio.

**Figura 3.5**

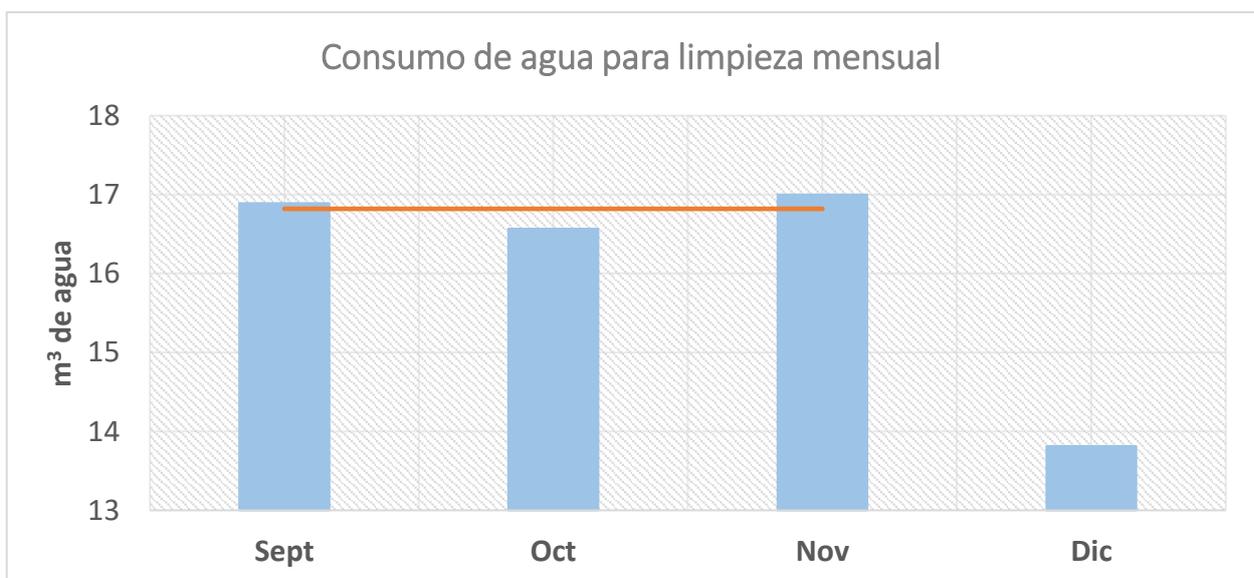
*Nivel de estrés laboral promedio del personal operativo antes y después del proyecto*



Finalmente, en el aspecto ambiental, el principal ahorro se vio reflejado en la eliminación de la limpieza del sistema de tuberías del área de batido. Con las mejoras implementadas se reportó un ahorro en el consumo de agua aproximado a la capacidad total del tanque utilizado para batido (diámetro de 105 cm y altura de 92 cm) de producto por semana, equivalente a 3.01 m<sup>3</sup> por mes tal como se muestra en la Figura 3.6.

**Figura 3.6**

*Reducción del consumo de agua para limpieza mensual desde intervención (diciembre)*



# Capítulo 4

## 4. Conclusiones y Recomendaciones

En la literatura existen muchos casos de proyectos DMAIC en la industria alimentaria pero muy pocos ejemplos de casos en la industria pastelera y en proyectos de reducción de tiempos de cambio y, sin embargo, las herramientas de lean six sigma tienen un gran potencial de aplicabilidad en este tipo de industria más complicada de estandarizar por los mismos parámetros que rigen sus procesos y materias primas. Este proyecto consiguió arrojar luces sobre la factibilidad en la ejecución de estos proyectos por sus resultados son de gran impacto en el ámbito académico.

### 4.1. Conclusiones

- Se redujo el tiempo de cambio y limpieza a 436 min superando en 8% el objetivo inicial del proyecto. Alcanzando un ahorro de \$ 1,165.32 semanales por concepto de costos operacionales.
- Se redujo el consumo de agua en 3.01 m<sup>3</sup> mensuales y el estrés laboral por esfuerzo físico de los operadores en un 16%, contribuyendo al bienestar del personal de la línea y a los indicadores de sostenibilidad.
- Se estandarizó el proceso de limpieza para el cambio del producto BB a CK y los controles en línea de condiciones de cobertura de chocolate.
- Se consiguió una aceptación total del proyecto por parte del personal operativo y supervisorio con nula resistencia al cambio.

## 4.2. Recomendaciones

- Analizar las condiciones operativas y propiedades físicas de los glases en operación para eliminar los tiempos de calibración de cascada y decorado.
- Extender el análisis de actividades y tiempos de cambio a los demás productos vigentes en la línea aplicando la herramienta SMED para conseguir mantener todos los productos debajo del umbral de los 30 min para su preparación.
- Implementar un tablero de información para la comunicación y control de los tiempos de cambio y limpieza objetivos por producto a los operadores.

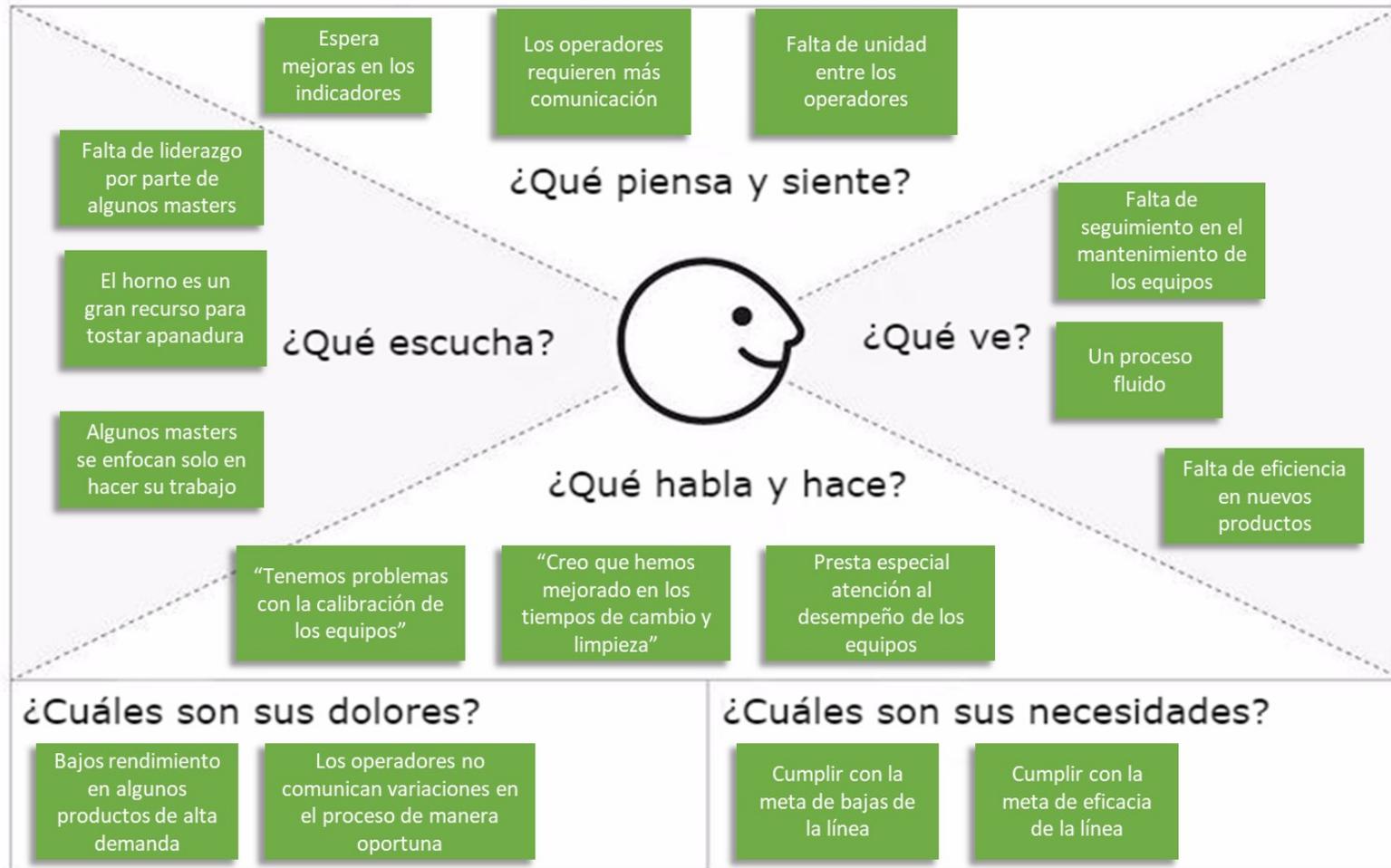
## REFERENCIAS

- de Mast, J., & Lokkerbol, J. (29 de mayo de 2012). An analysis of the Six Sigma DMAIC method from the perspective of problem solving. *International Journal of Production Economics*, 139(2), 604-614. doi:10.1016/j.ijpe.2012.05.035
- Ferreira, B., Silva, W., Oliveira, E., & Conte, T. (julio de 2015). Designing Personas with Empathy Map. *SEKE*, 152.
- Jadhav, G., Jadhav, S., & Bhagat, A. (2015). Six Sigma DMAIC Literature Review. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 6(12), 117-122. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Ganesh-Jadhav-19/publication/358173724\\_Ganesh\\_J-\\_Six\\_Sigma\\_Literature\\_Review/links/61f3e41b007fb504471ed09b/Ganesh-J-Six-Sigma-Literature-Review.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Ganesh-Jadhav-19/publication/358173724_Ganesh_J-_Six_Sigma_Literature_Review/links/61f3e41b007fb504471ed09b/Ganesh-J-Six-Sigma-Literature-Review.pdf)
- Joshi, R., & Naik, G. (Febrero de 2012). Reduction in Setup Time by SMED A Literature Review. *International Journal of Modern Engineering Research*, 2(1), 442-444. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Girish-Naik/publication/290337295\\_Reduction\\_in\\_Setup\\_Time\\_By\\_SMED\\_A\\_Literature\\_Review/links/56962c5008aeab58a9a5bf99/Reduction-in-Setup-Time-By-SMED-A-Literature-Review.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Girish-Naik/publication/290337295_Reduction_in_Setup_Time_By_SMED_A_Literature_Review/links/56962c5008aeab58a9a5bf99/Reduction-in-Setup-Time-By-SMED-A-Literature-Review.pdf)
- Luca, L. (2016). A new model of Ishikawa diagram for quality. *IOP conference series: Materials science and engineering*, 161. doi:10.1088/1757-899X/161/1/012099
- Montgomery, D. (2013). *Statistical quality control* (Séptima ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- Moxham, C., & Greatbanks, R. (2001). Prerequisites for the implementation of the SMED methodology: A study in a textile processing environment. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 18(4), 404-414. doi:<https://doi.org/10.1108/02656710110386798>
- Rasmusson, D. (2006). *SIPOC Picture Book: A visual Guide to SIPOC/DMAIC Relationship*. Madison: Oriel Incorporated.
- Rosenbaum, M., Losada, M., & Contreras, G. (2017). How to create a realistic customer journey map. *Business Horizons*, 60(1), 143-150. doi:10.1016/j.bushor.2016.09.010
- Sanders, R. (1987). The pareto principle: Its use and abuse. *Journal of Services Marketing*, 1(2), 37-40. doi:10.1108/eb024706
- Temkin, B. (5 de febrero de 2015). Mapping The Customer Journey. *Forrester Research*, 3, 20.
- Wong, K. C., Woo, K. Z., & Woo, K. H. (2016). Ishikawa Diagram. En *Quality Improvement in Behavioral Health* (págs. 119-132). Springer International. doi:10.1007/978-3-319-26209-3\_9

## APÉNDICES

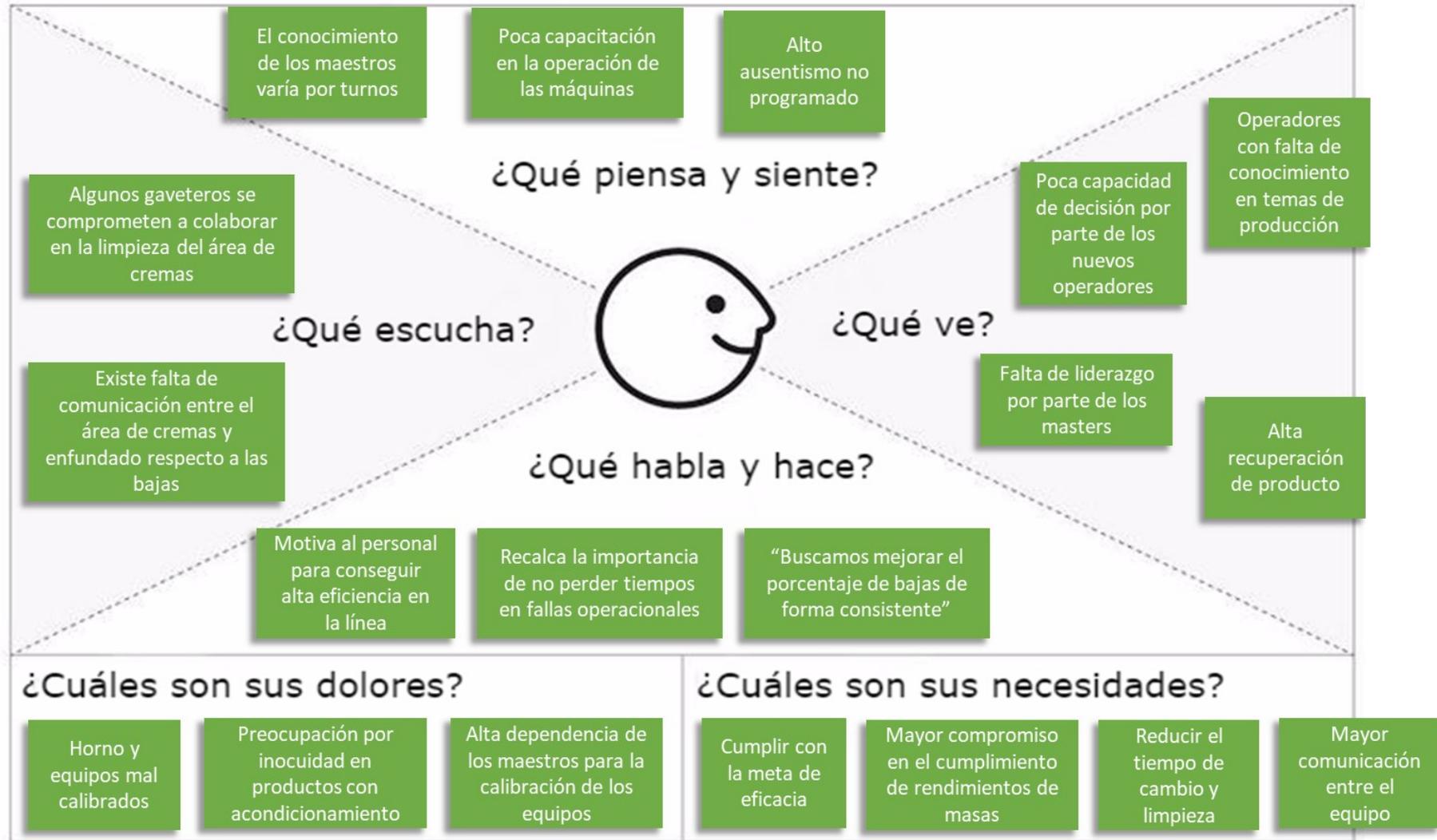
Apéndice A: Mapeo de expectativas del cliente

Nombre Iván G. Cargo Line Supervisor



Nombre Ivana J.

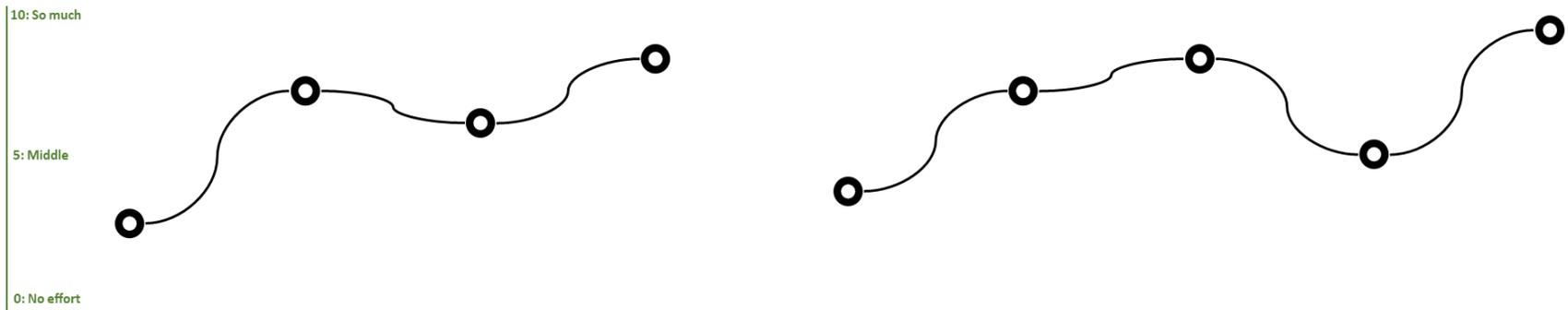
Cargo Line Supervisor



**Position: Master Operators**



Level of effort



Se encarga el asistente

Más velocidad en la producción demanda más tiempo

Tratan de tener los materiales abastecidos continuamente desde la tienda

Demanda mucho esfuerzo en el cambio de negro a blanco

Ya están hechas las recetas. Daños generan retrasos por creaciones de recetas

Podría ayudar tener alarmas en el lugar para no estar pendientes

Al inicio demanda mucha atención para cuadrar correctamente el decorado

Se encarga el asistente

Nivel de cansancio elevado.

**Position:** Assistant Operators

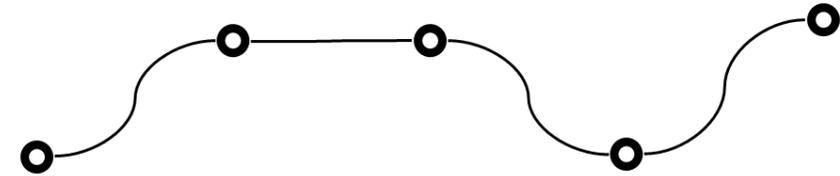
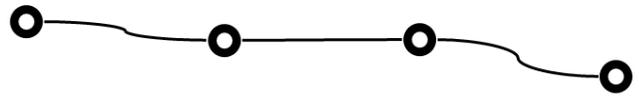
MIXING



TOPPING



Level of effort



Exceso de peso en el edulcorante

Tratan de tener los materiales abastecidos continuamente, sobretodo el azúcar.

Demanda mucho esfuerzo en el cambio de negro a blanco. Es complicado limpiar el tanque pulmón

Podría ayudar tener alarmas en el lugar para no estar pendientes

Es complicado porque el reproceso de productos demanda más tiempo

Las gavetas con glass son pesadas

Food Safety Inspector	Production Planner
<p>Las superficies en contacto con el alimento como bandas deben estar limpias.</p> <p>Deben seguir el método de limpieza de alérgenos adecuado y respaldado por calidad</p> <p>Asegurarse de eliminar ingredientes atraentes de plagas como el chocolate en áreas de difícil acceso también</p> <p>Llevar un orden de producción de acuerdo con la carga alérgica de los productos (de menos a más).</p> <p>Controlar el aseo de las herramientas que se utilizan para el aseo</p> <p>No contaminar las zonas en contacto con el alimento con las herramientas de limpieza</p> <p>Las estructuras deben verse limpias</p> <p>La carga microbiana debe estar dentro de parámetros</p> <p>Las tuberías deben estar limpias y sin residuos por dentro.</p>	<p>Alta fidelidad en el rendimiento teórico de los productos</p> <p>Asegurar el tamaño del pedido con poco excedente</p> <p>"Me gustaría aprovechar la capacidad del horno de la línea de panquelería para apanadura"</p> <p>Alta eficiencia en la producción</p> <p>Reducir los tiempos en los que la línea está detenida</p>

## Apéndice B: Diagrama del proceso de cambio y limpieza en la línea de panquelería y pastelería

