

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

Mejorar la productividad de una línea reduciendo los tiempos de
preparación

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingenieras Industriales

Presentado por:

Lourdes Noemi Bastidas Satian

Keyla Arlet Villalva Baidal

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2020

DEDICATORIA

A Dios por darme salud, fuerza, sabiduría y siempre guiar mi camino.

A mi abuela Hilda Vega, mi segunda madre por todo su amor, enseñanzas y por cada uno de sus cuidados, gracias a ella logré ser la persona que soy.

A mis tíos, quienes siempre me han brindado su apoyo incondicional.

A mis padres por haberme dado la vida.

A Carlos Basurto por ser mi confidente, mi motivación en momentos difíciles y sobre todo por su paciencia y amor.

Keyla Arlet Villalva Baidal.

DEDICATORIA

A Dios por cuidarme en todo este largo camino.

A mi familia por ser los pilares fundamentales e inspiración en mi vida, en especial a mi madre María Satian por creer y confiar en mí durante mi carrera universitaria, por enseñarme que es difícil pero no imposible lograr un objetivo.

A la familia De la Cruz Carrillo por su apoyo y ayuda incondicional.

Lourdes Noemi Bastidas Satian.

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento al PhD. Kléber Barcia, tutor de este proyecto por su valiosa guía.

A la empresa donde se realizó el proyecto por la apertura y confianza brindada, de igual manera a todo el personal que nos dio soporte durante el desarrollo del mismo.

A mi familia, por el apoyo durante toda mi etapa universitaria.

Keyla Arlet Villalva Baidal.

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a Kléber Barcia V., Ph.D. por ser soporte y guía principal en la elaboración de este proyecto.

A la empresa por abrirnos las puertas y a todo su personal por estar dispuestos a colaborar en la ejecución del presente proyecto.

Lourdes Noemi Bastidas Satian.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Lourdes Noemi Bastidas Satian* y *Keyla Arlet Villalva Baidal* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Lourdes Noemi Bastidas Satian
Autora 1



Keyla Arlet Villalva Baidal
Autora 2

EVALUADORES

Jorge Abad M., Ph.D.

PROFESOR DE LA MATERIA



Kléber Barcia V., Ph.D.

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Reducción de tiempo de set up o también conocido como tiempo de preparación, se genera cuando se hace un cambio de producto en una máquina o línea de producción, la reducción de este es fundamental para aumentar factores como disponibilidad y también un indicador de eficiencia como el OEE. La planta de balanceado tiene un tiempo de set up promedio de 4.36 horas en la línea N°12 en donde se producen alimentos para mascotas y camarón, la empresa tiene como objetivo reducir al menos un 35% de este tiempo.

En la etapa de definir se usaron herramientas como la voz del cliente, CTQ Tree, entre otras, y se determinó la variable de respuesta del proyecto. En Medir se estratificaron los datos en base a los tipos de set up de mayor duración, el enfoque del problema fue el proceso de limpieza larga, se tomaron 8 muestras con diferentes operadores y turnos obteniendo un tiempo promedio de 4.1 horas.

Herramientas mal ubicadas, actividades no estandarizadas, diferentes maneras de realizar las actividades, falta de personal para dar soporte en la limpieza fueron algunas de las causas raíz para los altos tiempos de set up en esta línea. La solución fue la implementación de la metodología SMED, para la cual se propuso ejecutar la limpieza con dos operadores, usar una aspiradora en medio del sistema para lograr que los operadores realicen las actividades de limpieza en forma paralela, eliminando actividades que no agregan valor, se logró resultados favorables.

Los resultados obtenidos fueron la reducción del 42% del tiempo de set up, es decir de 4.1 a 2.34 horas, con un costo de inversión de \$57.38 que corresponde a las horas de capacitación de los operadores, la empresa estaba perdiendo de producir 33.6 toneladas al mes, por lo tanto, la inversión del proyecto se recupera en un mes, según el margen de utilidad que maneja la empresa al vender un producto denominado clase A por su alta demanda en el mercado.

Reducción de la carga laboral en un 42%, ubicación correcta de herramientas para su uso, se tiene como resultado un operador listo para ejecutar las tareas de manera más eficiente.

Palabras clave: SMED, Set ups, VOC, CTQ tree, cambio de producto, balanceado.

ABSTRACT

Reduction of set up time or also known as preparation time, is performed when a product change is made in a machine or production line, the reduction of these is fundamental to increase factors such as availability and also efficiency indicator such as OEE. The feed plant has an average set up time of 4.36 hours in line N°12 where animal feed and shrimp are produced, the company's objective is to reduce at least 35% of this time.

In the define stage, tools such as the voice of customer, CTQ Tree, among others, were used and the response variable of the project was determined. In Measure, the data was stratified based on the types of set of the longest duration, the focus of the problem was the long cleaning process, 8 samples were taken in different shifts and operators, having an average time of 4.1 hours.

Poorly located tools, non-standardized activities, different ways of carrying out the activities, lack of personnel to support the cleaning were some of the root causes for the high set up time in this line. The solution was the implementation of the SMED methodology, it was proposed to execute the cleaning with two operators, using a vacuum cleaner in the middle of the system so that the operators perform the cleaning activities in parallel, eliminating activities that do not add value, favorable results were achieved.

The results obtained were a 53% reduction in set up time, from 4.36 to 2.35 hours, with an investment cost of \$57.38, which corresponds to operator training hours, the company was losing to produce 33.6 tons per month, therefore the project investment is recovered in one month, according to the profit margin that the company manages to sell a product called class A for its high demand in the market.

Reduction of the workload by 42%, the correct location of tools for their use, resulting in an operator ready to perform tasks more efficiently.

Key words: SMED, Set ups, VOC, CTQ tree, product change, animal feed.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema	2
1.1.1 Variable de interés	4
1.1.2 Alcance del proyecto.....	6
1.1.3 Restricciones del proyecto	7
1.2 Justificación del problema	7
1.3 Objetivos	8
1.3.1 Objetivo General.....	8
1.3.2 Objetivos Específicos.....	8
1.4 Triple Bottom Line	8
1.5 Materias relacionadas	9
1.6 Plan de trabajo	9
1.7 Marco teórico	10
1.7.1 Revisión de literatura	12
CAPÍTULO 2	15
2. Metodología.....	15

2.1	Medición.....	15
2.1.1	Estratificación de datos.....	20
2.1.2	Definición de problema enfocado.....	25
2.1.3	Plan de recolección de datos.....	25
2.1.4	Verificación de datos.....	26
2.2	Análisis.....	31
2.2.1	Análisis de causas.....	31
2.2.2	Plan de verificación de causas.....	35
2.2.3	Verificación de causas.....	36
2.2.4	Análisis de los 5 ¿Por qué?.....	40
2.3	Mejora.....	42
2.3.1	Lluvia de ideas de soluciones.....	42
2.3.2	Selección de soluciones.....	43
2.3.3	Plan de implementación.....	44
2.3.4	Descripción de las soluciones.....	45
2.4	Implementación.....	46
2.5	Control.....	51
CAPÍTULO 3.....		53
3.	Resultados y Análisis.....	53
CAPÍTULO 4.....		59
4.	Conclusiones y Recomendaciones.....	59
4.1	Conclusiones.....	59
4.2	Recomendaciones.....	59
BIBLIOGRAFÍA		

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
DMAIC	Define, Measure, Analyze, Improve and Control
VOC	Voice of customer
CTQ	Critical to Quality
SIPOC	Suppliers, inputs, process, outputs and customer
SMED	Single Minute Exchange of Die
OEE	Overall Equipment Effectiveness
VAN	Valor Actual Neto
TIR	Tasa Interna de Retorno

SIMBOLOGÍA

Min	Minuto
s	Segundo
\$	Dólares americanos
%	Porcentaje
Ho	Hipótesis nula
H1	Hipótesis alternativa

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 OEE promedio por línea de producción (julio-septiembre 2020).....	2
Figura 1.2 Porcentaje promedio de tiempo de set up (julio-septiembre 2020)	3
Figura 1.3 Tiempo de set up por cambio de producto (julio -septiembre 2020)	3
Figura 1.4 Árbol de variables críticas CTQ	5
Figura 1.5 Diagrama de Sipoc	6
Figura 1.6 Gantt del plan de trabajo	9
Figura 2.1 Diagrama OTIDA del proceso de Limpieza Larga.....	17
Figura 2.2 Diagrama OTIDA del proceso de Limpieza de la extrusora	19
Figura 2.3 Diagrama de pareto limpieza larga	22
Figura 2.4 Diagrama de Pareto actividades de la limpieza de la extrusora.....	24
Figura 2.5 Cálculo del tamaño de muestra	26
Figura 2.6 Número recomendado de ciclos de observación	27
Figura 2.7 Diagrama de cajas tiempos de limpieza larga	28
Figura 2.8 Prueba T para la diferencia de medias entre los tiempos tomados y los históricos.....	29
Figura 2.9 Formato para registro de datos	30
Figura 2.10 Reunión con el personal.....	31
Figura 2.11 Diagrama Ishikawa	32
Figura 2.12 Matriz impacto-control	34
Figura 2.13 Apertura tolvas gourmet	36
Figura 2.14 Ensamble de herramienta	37
Figura 2.15 Lodo en paredes de tolva pre baño	37
Figura 2.16 Diagrama de caja	38

Figura 2.17 Prueba T para los operadores	39
Figura 2.18 Operadores ejecutando actividades en paralelo	40
Figura 2.19 Dificultad para remover pernos de tolvas gourmet.....	40
Figura 2.20 La habilidad de los operadores para ejecutar tareas	41
Figura 2.21 Personal limitado para dar soporte en la limpieza	41
Figura 2.22 Causas Raíces	42
Figura 2.23 Propuestas de soluciones	43
Figura 2.24 Matriz impacto-esfuerzo	43
Figura 2.25 Plan de implementación	45
Figura 2.26 Procedimiento para la limpieza larga.....	47
Figura 2.27 Plan de capacitación	48
Figura 2.28 Guía de capacitación.....	49
Figura 2.29 Diagrama funcional	50
Figura 2.30 Secuencia de actividades después de SMED	51
Figura 2.31 Plan de control	52
Figura 3.1 Tiempo total de set up	55
Figura 3.2 Comparación estadística de medias.....	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 3W+2H definición del problema.....	4
Tabla 2.1 Frecuencias de Set up por cambio de producto.....	20
Tabla 2.2 Actividades del set up de limpieza larga	21
Tabla 2.3 Actividades set up limpieza de extrusora.....	23
Tabla 2.4 Plan de recolección de datos.....	25
Tabla 2.5 Ponderación de las causas.....	32
Tabla 2.6 Evaluación del impacto de las causas	33
Tabla 2.7 Evaluación de control	34
Tabla 2.8 Plan de verificación de causas	35
Tabla 2.9 Costos estimados de las propuestas de solución	44
Tabla 3.1 Tiempo promedio de actividades de limpieza	53
Tabla 3.2 Tiempo de actividades en pruebas piloto.....	54
Tabla 3.3 Tiempo perdido por set up.....	57
Tabla 3.4 Detalles del producto tipo A.....	57

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

La principal actividad de la empresa en donde se lleva a cabo este proyecto es la producción de alimento balanceado para ganado, cerdos, aves, camarones, tilapia y mascotas. Actualmente, se encuentra integrada por doce líneas de producción distribuidas en tres divisiones: Consumo, Acuicultura y Salud Animal. La planta posee una capacidad instalada aproximada de 21600 Ton/ mes por lo cual sus operaciones se llevan a cabo durante las veinticuatro horas del día y en turnos de doce horas.

La empresa mide la eficiencia de las líneas diariamente bajo el indicador de OEE (Eficiencia General de los Equipos) siguiendo esta premisa, se presenta que en 3 de sus 12 líneas de producción no están cumpliendo con el objetivo de la organización del 75% de OEE, bajo el estudio de los datos históricos se determinó que las líneas 3,10 y 12 son aquellas que no llegan al objetivo.

El indicador de eficiencia está compuesto por tres factores esenciales, disponibilidad, rendimiento y calidad; en este caso el factor que más afecta es la disponibilidad, relacionada con los tiempos de set up y paras imprevistas, teniendo que la línea 12 es la que tiene un % de set up más alto en comparación al resto. Por lo tanto, mediante un acuerdo con la empresa se tomó como enfoque principal para este proyecto reducir el tiempo de set up por cambio de producto en la línea 12 en la cual se produce alimento de para mascotas de hogar, con este se planea aumentar la productividad y mejorar el indicador de OEE en esta línea.

Desde una perspectiva macro, el proceso de producción de balanceado está integrado por las siguientes etapas: abastecimiento de materia prima, molienda, mezclado, extrusión, secado, baño de aceites-saborizantes, enfriamiento y envasado, el alcance de este proyecto inicia en la extrusión hasta el envasado de producto final.

1.1 Descripción del problema

Actualmente, la empresa presenta un valor de OEE por debajo de la meta del 75% en tres de sus líneas de producción como se muestra en la figura 1.1, donde el valor promedio más bajo desde julio hasta agosto del presente año corresponde a la línea N°12, la misma que es objeto de estudio.

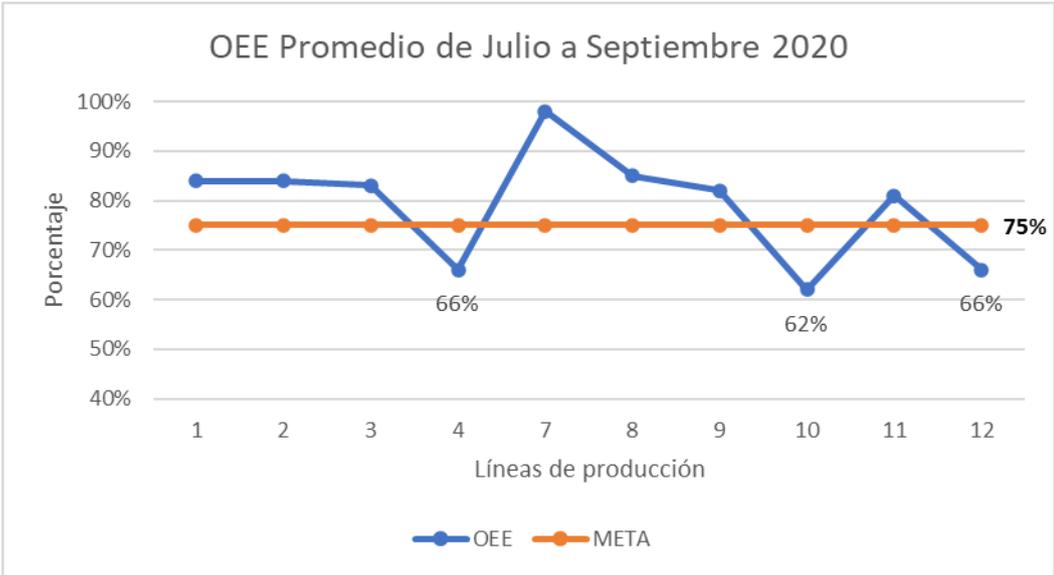


Figura 1.1 OEE promedio por línea de producción (julio-septiembre 2020)

Fuente: Elaboración propia

En la figura 1.2 se aprecia que el factor de disponibilidad de la línea N°12 es afectado por un 26.26% correspondiente a tiempos de set up durante el cambio de producto, lo cual disminuye el tiempo productivo durante la operación. A su vez, este impide que el OEE pueda llegar a la meta establecida.

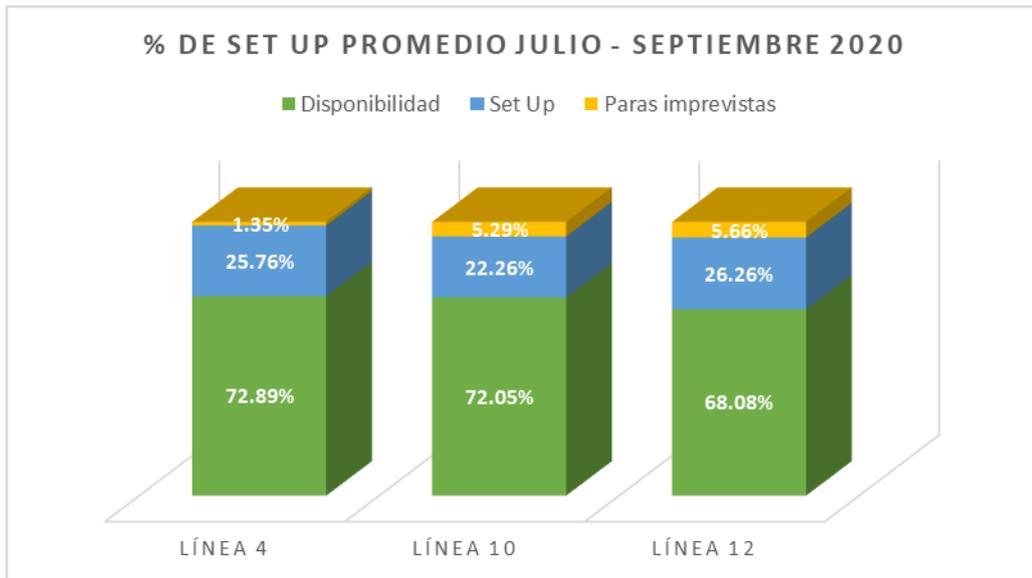


Figura 1.2 Porcentaje promedio de tiempo de set up (julio-septiembre 2020)

Fuente: Elaboración propia

En la figura 1.3 se muestra el tiempo de set up promedio por cambio de producto en la línea N°12 a partir de los datos históricos recolectados desde julio hasta septiembre del 2020.

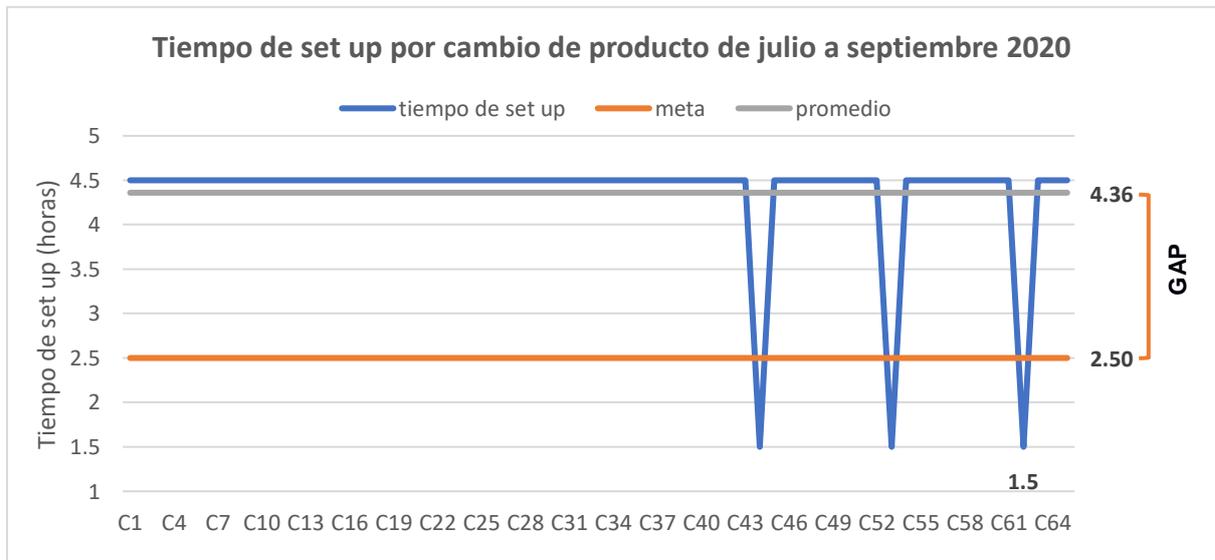


Figura 1.3 Tiempo de set up por cambio de producto (julio -septiembre 2020)

Fuente: Elaboración propia

Con los datos anteriores descritos y por medio de la herramienta 3W+2H se puede obtener una interpretación clara y lógica en la declaración del problema, dado que incluye las preguntas relacionadas al problema tales como: ¿Qué? ¿Cuándo? ¿Dónde? ¿Qué tanto? ¿Cómo lo sé?, tal cual se aprecia en la tabla 1.1.

Tabla 1.1 3W+2H definición del problema

Fuente: Elaboración propia

¿Qué?	Altos tiempos de Set up
¿Cuándo?	Desde julio hasta septiembre del 2020
¿Dónde?	Línea de producción N°12
¿Qué tanto?	Valor promedio de 4.36 horas por cambio de producto. Valor mínimo de 1.5 horas y meta de 2.5 horas.
¿Cómo lo sé?	Datos históricos

La declaración del problema se expresa de la siguiente manera:

“Según datos históricos, se registran altos tiempos de preparación en la línea N°12, del mes de julio a septiembre del 2020 hay un promedio de 4.36 horas por cambio de producto y un valor mínimo de 1.5 horas, la empresa planea reducir el tiempo de preparación en al menos 2.5 horas”.

1.1.1 Variable de interés

Se realizaron entrevistas al Gerente de la planta, jefe de producción y personal operativo con el objetivo de recopilar información relacionada al problema de estudio y conocer las necesidades del cliente para lo cual se empleó la herramienta VOC (Voice of customer).

Bajo esta premisa se dieron los siguientes hallazgos principales:

- Identificar y mejorar los tipos de set up que más afectan el tiempo de producción.
- Reducir el tiempo de set up en el área de producción.
- Optimizar el tiempo.
- Confirmar que el personal tenga las herramientas necesarias para cumplir sus actividades.

- Cómo se puede distribuir al personal para dar soporte en otras áreas y disminuir el set up.
- Incrementar el factor de disponibilidad en el indicador de OEE.
- Estandarizar las actividades y métodos de trabajo.

Luego, mediante la herramienta CTQ Tree (Critical to quality) se tradujeron los requerimientos del cliente en variables cuantitativas fáciles de medir. En la figura 1.4 se muestra el árbol de variables críticas para la calidad.

A partir de las variables críticas, se escoge como variable de respuesta al tiempo de set up por cambio de producto, dado que para mejorar la disponibilidad de la línea se debe disminuir el set up sin afectar el número de cambios de producto que se planifique en el programa de producción.

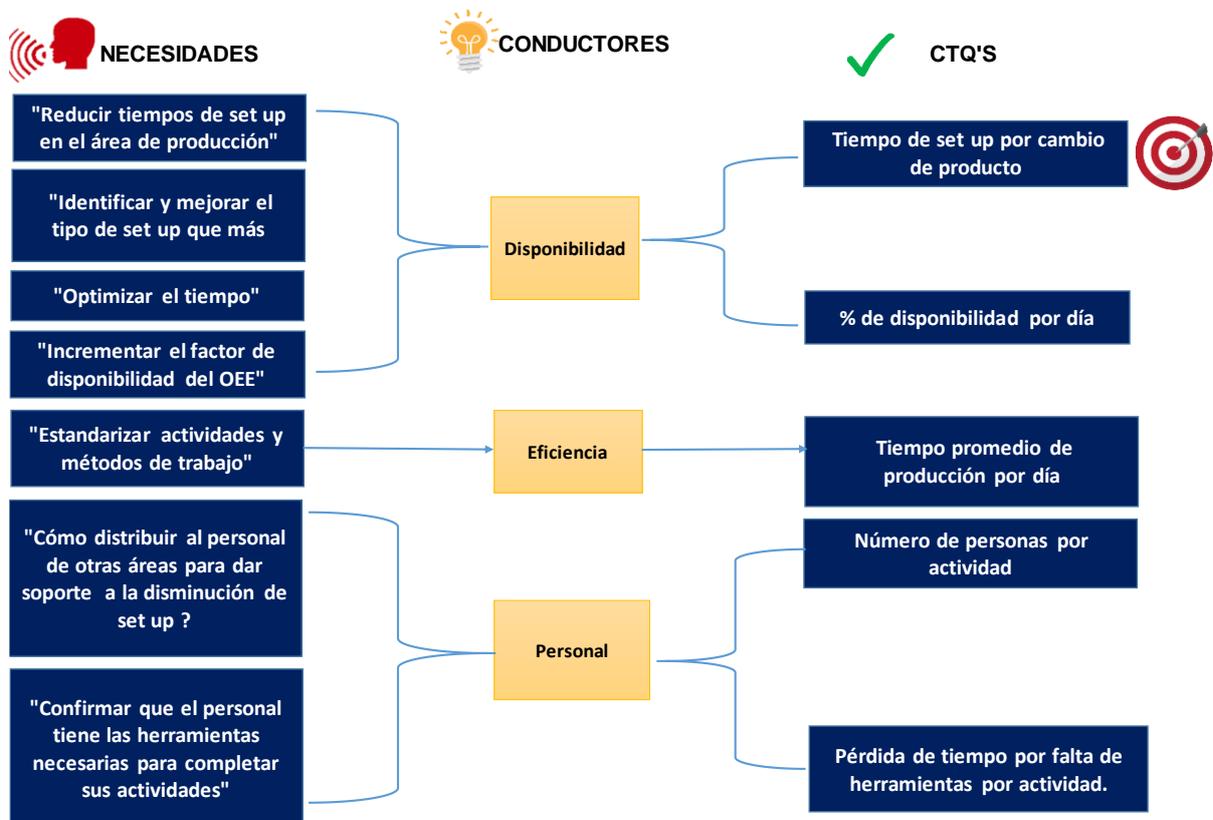


Figura 1.4 Árbol de variables críticas CTQ

Fuente: Elaboración propia

1.1.2 Alcance del proyecto

Para poder delimitar el proyecto se utiliza la herramienta SIPOC (supplier, inputs, process, outputs and customer) que facilita la visualización de cada una de las etapas con sus respectivas entradas y salidas.

A continuación, en la figura 1.5 se muestra el SIPOC del proceso general de producción de balanceado para mascotas, el set up por cambio de producto inicia desde que se apaga la máquina extrusora hasta que se realiza la limpieza del envasado de producto terminado, es por esta razón que el enfoque de estudio en el presente proyecto abarca desde el proceso de extrusión hasta el proceso de envasado de producto terminado.

Proveedores	Entradas	Proceso	Salidas	Ciente
Departamento de producción Bodega de materia prima	Programa de producción diario. Orden de proceso.	Abastecimiento y dosificación de la materia prima	Registro diario y control de dosificación manual Registro de abastecimiento y nivel de tolvas.	Operador de cabina-molinero
	Programa de producción diario. Orden de proceso.	Molienda	Registro diario de molienda	Operador de cabina
	Programa de producción diario. Orden de proceso.	Mezclado	Tolvas	Operador de cabina
	Programa de producción diario. Orden de proceso. Control y adición de color	Extrusión	Registro diario de extrusión. Registro diario de paradas. Registro diario de pérdidas en el proceso de extrusión.	Operador de la extrusora
	Programa de producción diario. Orden de proceso.	Secado	Registro diario de los parámetros de secado. Producto de remezclabarrido generado producto no conforme	Operador de secador
	Programa de producción diario. Orden de proceso.	Adición de saborizantes y baño de aceite.	Producto semi terminado	Operador de cabina
	Programa de producción diario. Orden de proceso.	Enfriado	Registro diario de los parámetros de enfriamiento	Operador de cabina
	Programa de producción diario. Orden de proceso	Envasado de producto terminado	Registro de envases y bolsas Registro diario de paradas de envasado Registro diario de las pérdidas de envasado	Operador de envasado Planta de alimentos para animales

Figura 1.5 Diagrama de Sipoc

Fuente: Elaboración propia

1.1.3 Restricciones del proyecto

Las principales restricciones por considerar para el desarrollo del proyecto son las siguientes:

- Reducir el tiempo de set up manteniendo los cambios actuales que se realizan en la línea N°12.
Diariamente se planifica la producción, sin embargo, se puede caer en una mejora superficial al reducir el set up en el caso de proponer que se produzca un solo producto, el número de cambios de formato no deben verse afectados al momento de reducir el set up.
- Se realizan de forma constante pruebas de extrusión de balanceado de camarón. La línea está diseñada para producir alimentos para mascotas, en la actualidad se encuentra en periodo de prueba para extraer balanceado para camarones, sin embargo, la producción camarón en esta línea es causante de set up de aproximadamente 18 horas, lo cual afecta considerablemente la disponibilidad de la línea.
- La configuración de la línea presenta varios espacios confinados y de acceso limitado.
- El presupuesto para contratar más personal operativo es limitado.

1.2 Justificación del problema

A fin de aumentar el tiempo productivo a través del incremento del factor de disponibilidad y aprovechar la capacidad instalada de la línea de producción N°12 se justifica el proyecto de reducción de tiempos de set up por cambio de producto, ya que es lo que más impacta el indicador OEE.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Reducir el tiempo de set up por cambio de producto en la línea de producción N°12 incrementando el indicador de OEE en 4,41 % respecto al valor actual.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar el tipo de set up que más afecta la disponibilidad de la línea de producción N°12 durante la extrusión de balanceado para mascotas.
- Implementar la herramienta SMED para la reducción de tiempos de set up por cambio de producto en la línea N°12 durante la extrusión de balanceado para mascotas.

1.4 Triple Bottom Line

La sostenibilidad del presente proyecto se establece de tres factores principales: económico, ambiental y social.

Económico

Mediante la implementación de mejoras en la situación actual, se pretende aumentar en 72 % el factor de disponibilidad, aumentando considerablemente el OEE en 70.28%, obteniendo ahorros mensuales por \$21373,77 dólares.

Ambiental

Reducir el consumo de energía eléctrica en los equipos que son usados en los procesos, se aporta a la disminución del impacto ambiental.

Social

Estandarizar las actividades y encontrar métodos de trabajo más eficientes para los operadores, mitigando fatigas en los puestos de trabajo.

1.7 Marco teórico

DMAIC

Seis Sigma es una metodología de mejora de procesos a través de la reducción de la variabilidad de los mismos, que emplea el modelo DMAIC (por sus siglas en inglés Define, Measure, Analyze, Improve, Control) este consta de 5 fases sistemáticas conectadas entre sí, cuya finalidad es que guiar y estructurar el proceso de mejora, por ello cada fase plantea herramientas y objetivos diferentes (Pérez & Rojas, 2019).

Por consiguiente, se presentan los objetivos de cada etapa:

DEFINIR: Se refiere a la definición del problema de estudio en conjunto con los requerimientos del cliente y las metas que van a medir el éxito del proyecto.

MEDIR: Su finalidad es identificar las variables a medir una vez que se ha estratificado el problema de estudio, plantear una metodología para la recolección de datos.

ANALIZAR: En esta fase se pretende identificar y analizar las causas raíces del problema.

MEJORAR: Proponer e implementar soluciones de mejora.

CONTROLAR: Con la finalidad de mantener los resultados alcanzados en el proyecto se desarrolla un plan de control.

SIPOC

El diagrama SIPOC (del inglés Suppliers, Input, Process, Output, Customers) es una herramienta visual que permite entender de forma sencilla el flujo del proceso y las actividades principales involucradas en el mismo (Montgomery, 2009).

Proveedores: son personas que brindan información, material u otros recursos al proceso.

Entrada: Se refiere a la información y a los recursos suministrados.

Proceso: Es el conjunto de pasos necesarios a realizar para transformar las entradas en salidas.

Salida: Es aquello que le llega al cliente, puede ser un servicio, producto o información.

Clientes: Es quien recibe el producto, servicio u información que resulta de etapa.

Voice of Customer (VOC)

La voz del cliente o VOC (del inglés Voice of Customers) es una herramienta que permite recolectar los requerimientos del cliente (interno o externo) relacionados con las características del producto o servicio, dado que se traducen sus comentarios textuales en requerimientos para el proyecto. Para capturar la retroalimentación del cliente se pueden emplear diferentes métodos como, por ejemplo: entrevistas, encuestas, focus group, sugerencias y observaciones (International Six Sigma Institute, 2020).

Diagrama CTQ Tree

El árbol crítico de la calidad o CTQ Tree (del inglés Critical to Quality) es una herramienta Six Sigma donde se muestran los indicadores de calidad que permiten medir de manera cuantitativa y cualitativa a calidad de un producto o servicio.

Lo más importante a resaltar es que el diagrama CTQ nace a partir de la voz del cliente por ello nos proporciona un panorama completo y real de sus necesidades.

Previo a su realización es necesario identificar al cliente, identificar las necesidades críticas de producto o servicio, los controladores de calidad y requisitos de rendimiento. Adicional, se deben priorizar los requerimientos y enfocarse en aquellos que van a satisfacer las exigencias de cliente (Global Trust Association, 2018).

SMED

SMED (del inglés Single Minutes Exchange of dies) es una técnica de Lean Manufacturing que permite reducir drásticamente los tiempos de cambio que no añaden valor y crean procesos deficientes (Indrawati, Pratriwi, Sunaryo, & 'Azzam, 2018).

El tiempo de cambio se contabiliza desde la última pieza del lote anterior hasta a primera pieza del nuevo lote.

Existen cuatro etapas principales que son:

Proceso de documentación:

Con la ayuda de un cronometro y una hoja de trabajo se registran los datos de todas las actividades de preparación del proceso, también se pueden grabar cada una de las actividades.

Identificar actividades internas y externas:

Se debe tener en cuenta que las actividades internas son aquellas que se realizan con la máquina apagada y las actividades externas son las que se llevan a cabo mientras la máquina está encendida, dicho esto se procede a separar las actividades de preparación entre internas y externas.

Convertir actividades internas en externas:

Se analiza cuáles son las actividades de preparación interna que se pueden convertir en actividades de preparación externa.

Reducir las actividades internas:

Se lleva a cabo simplificando, reduciendo y eliminando movimientos.

Metodología 5' S

Es una metodología japonesa por sus siglas (Seiri: Clasificación), (Seiton: Orden), (Seiso: Limpieza), (Seiketsu: Estandarización), (Shitsuke: disciplina), principalmente tiene un enfoque en JIT (Just in time), Kanban y kaizen. Implementar esta metodología es de gran aporte para la organización lo cual ayuda a aumentar la eficiencia y eficacia del proceso, conllevando a la disminución de desperdicios, sobrecostos, reprocesos, accidentes laborales, además de mantener ordenada limpia y estandarizada el área de trabajo, encaminando a la mejora continua de la empresa (Sierra & Beltrán, 2017).

1.7.1 Revisión de literatura

Una revisión literaria es fundamental para entender a profundidad el problema, es por eso que se hizo una investigación secundaria de artículos científicos, que serán de aporte esencial para la realización del presente proyecto.

La revista internacional de tecnología de fabricación avanzada en uno de sus artículos hace referencia de cómo reducir los tiempos de set up en un proceso real de producción, inició con un análisis de indicadores, seguido de estudios de tiempos, y sobre todo los pasos para la aplicación de metodología SMED (Morales Méndez & Ramón, 2016).

Methodology to improve machine changeover performance, es un artículo que se basa en las peculiaridades del sector alimenticio, profundizando en el campo de cambio formato, productos, herramientas, etc., analizando en lo posible para minimizar el set up (Lozano, Saenz-Déz, Mertínez, Jiménez, & Blanco, 2017).

El Journal of Enterprise information management en uno de sus artículos dice que hay ocasiones que no se puede reducir los tiempos de configuración mediante herramientas convencionales como SMED sino más bien integrar el método difuso Taguchi (Ekincioğlu & S, 2018).

Un artículo escrito por Samuel Jeberaj busca reducir los tiempos de parada en la máquina por cambio de formato, dice además que el OEE se mide antes y después de que se implementen las mejoras (Benjamin, Murugaiah, & Marathamuthu, 2013).

El International Journal of Operations and Management sostiene que la adopción que se ha generalizado en la metodología de intercambio de matrices de un solo minuto (SMED) se está pasando por alto ciertas soluciones sustantivas que están basadas en el diseño a favor de enfoques incrementales de bajo costo (McIntosh, Culley, Gest, Mileham, & Owen, 2020).

Un artículo escrito en The International Journal of Quality and Realiability Management menciona los requisitos previos a la aplicación exitosa de SMED, un paso importante en esta metodología es clasificar las actividades en internas y externas (Moxham & Greatbanks, 2001).

En el artículo titulado “Improvement of Overall Equipment Efficency of Machine by SMED” se resalta el impacto de las paradas de máquina sobre el indicador OEE y a su vez como este puede mejorar a través del desarrollo de herramientas Lean. (Bhade & Hegde, 2020).

The effectiveness of SMED technique for the productivity improvement es un artículo que presenta un caso de estudio donde se implementa dicha herramienta para garantizar la mejora de la productividad, aumento de capacidad, incremento de ingresos y la eliminación de desperdicios (Mohd Norzaimi & Mohd Sollahuddin, 2014).

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

Para resolver el problema de estudio planteado al inicio del capítulo 1, se utiliza la metodología DMAIC, la misma que consta de 5 etapas: Definición, Medición, Análisis, Mejora y Control. En la etapa de definición, se identificó el problema con la ayuda de las siguientes herramientas: VOC, diagrama CTQ Tree que sirvió para determinar la variable de respuesta, 3W+2H y el diagrama SIPOC con lo cual se delimitó el proyecto, por lo cual el enfoque a partir de este capítulo será la etapa de medición. En la segunda etapa se mapeó la situación actual con la ayuda de diagramas de proceso, se tomaron mediciones de las variables importantes y se estratificó con el objetivo de declarar los problemas enfocados. En la etapa de análisis, se identifica la causa raíz del problema y se plantean propuestas de mejora. En la etapa de mejora, se evalúan las propuestas de mejora planteadas y se implementan aquellas que resulten más factibles. Finalmente, en la etapa de control se monitorea el proceso para asegurarse de que las mejoras implementadas puedan mantenerse en el tiempo y ser aplicadas a otras áreas, si así se lo requiere.

2.1 Medición

Se realizó la estratificación de datos con la finalidad de determinar el problema enfocado, adicional se levantó información relevante al problema de estudio con la ayuda del diagrama de procesos OTIDA, donde se identifican las actividades que agregan y no agregan valor, también se realizó el plan de recolección de datos para las variables importantes para el proyecto, adicional con la ayuda de herramientas estadísticas se comprobó la validez y veracidad de las mediciones realizadas.

En el diagrama de procesos OTIDA de la figura 2.1 se muestra el proceso de set up por cambio de producto debido a la limpieza larga en la línea de producción N°12, donde se detalla las etapas del proceso, tipo de actividad (interna o externa), la descripción de la misma, la clasificación de acuerdo al tipo de actividad (operación, transporte, inspección, demora y la combinación entre operación e inspección), el tiempo de cada actividad y se clasifica en si agrega o no agrega valor.

Se identificaron 54 actividades con una duración total de 211.4 min y se estratificaron de la siguiente manera:

- 28 actividades que agregan valor con una duración de 118.7 min.
- 18 actividades que no agregan valor con una duración de 29.9 min.
- 8 actividades que no agregan valor, pero son necesarias con una duración de 62 min.

Por otro lado, las actividades que tomaron más tiempo de ejecución fueron:

- Descarga automática del secador y el enfriador.
- Limpieza del bañador.
- Limpieza de la tolva post baño.
- Inspección de calidad.
- Cerrar compuertas desde el sexto piso hasta la planta baja.

DIAGRAMA DE PROCESO DE LA LIMPIEZA LARGA LÍNEA 12

RESUMEN LIMPIEZA LARGA POR CAMBIO DE PRODUCTO			TIEMPO	N°
Tiempo total del proceso de limpieza larga (min)			211.4	54
tiempo total actividades que agregan valor (min)			118.7	28
tiempo total actividades que no agregan valor (min)			29.9	18
tiempo total actividades que no agregan valor pero son necesarias (min)			62.0	8

Etapas del proceso de limpieza larga	Actividades internas/externas	N°	Descripción Actividades	Op.	Trp.	Ctr.	Esp.	Alm.	Comb.	Tiempo (s)	AV/NAV/NAVN
Descarga de producto (máquina)	interna	1	Espera por descarga de producto en el secador (automático)	○	→			▽	○	900	NAVN
		2	Ir a cerrar llaves de aire comprimido	○	→			▽	○	60	NAVN
		3	Espera por vaciado del coater (automático)	○	→			▽	○	480	NAVN
		4	Espera por descarga del enfriador (automático)	○	→			▽	○	720	NAVN
		5	Encender transportadores, elevadores en el sistema	○	→			▽	○	180	NAVN
Limpieza nivel 6	interna	6	Ir al nivel 6 para iniciar la limpieza	○	→			▽	○	300	NAV
		7	abrir compuertas de Zaranda M50100	○	→			▽	○	38	AV
		8	abrir tapa de transportador OF50050	○	→			▽	○	23	AV
		9	Ir a abrir llave de aire comprimido al nivel 5	○	→			▽	○	45	NAV
		10	Sopletear con aire comprimido el transportador OF50050	○	→			▽	○	180	AV
		11	Sopletear con aire comprimido la Zaranda M50100	○	→			▽	○	280	AV
		12	Mover manguera de aire comprimido	○	→			▽	○	22	NAV
Limpieza nivel 5	interna	13	Ir al nivel 5	○	→			▽	○	18	NAV
		14	abrir tapa de transportadores M60100, M60300 Y 3	○	→			▽	○	63	AV
		15	trasladar y conectar manguera en llave de aire comprimido	○	→			▽	○	51	NAV
		16	Sopletear transportadores M60100, M60300 Y 3	○	→			▽	○	533	AV
		17	trasladar y conectar manguera en llave de aire comprimido	○	→			▽	○	60	NAV
		18	Armar herramienta de trabajo (manguera+tubo+interna)	○	→			▽	○	54	NAV
		19	Limpieza tolva pre baño	○	→			▽	○	538	AV
Limpieza nivel 4	interna	20	Ir al nivel 4	○	→			▽	○	34	NAV
		21	Abrir compuertas bañador	○	→			▽	○	42	AV
Limpieza nivel 3	interna	22	Limpieza bañador	○	→			▽	○	838	AV
		23	recoger herramientas e ir al nivel 3	○	→			▽	○	52	NAV
		24	preparar herramientas	○	→			▽	○	60	NAVN
		25	Limpieza tolva post baño	○	→			▽	○	603	AV
Limpieza nivel 2	interna	26	Desarmar herramienta de trabajo (manguera+tubo+interna)	○	→			▽	○	60	NAV
		27	recoger herramientas e ir al nivel 2	○	→			▽	○	26	NAV
		28	Limpieza vibrador	○	→			▽	○	250	AV
		29	Apertura compuerta tolva PT (1)	○	→			▽	○	120	AV
		30	Limpieza tolva PT (1)	○	→			▽	○	23	AV
		31	cierre compuerta tolva PT (1)	○	→			▽	○	133	AV
		32	Ir al piso anterior por desconexión de manguera de aire	○	→			▽	○	54	NAV
		33	Recoger herramientas e ir al nivel 1	○	→			▽	○	64	NAV
Limpieza nivel 1	interna	34	conectar manguera de aire y subir hasta el piso 2 del enfriador	○	→			▽	○	42	NAV
		35	limpieza piso 2 del enfriador	○	→			▽	○	520	AV
		36	limpieza piso 1 del enfriador	○	→			▽	○	440	AV
		37	Recoger herramientas e ir al nivel 1	○	→			▽	○	38	NAV
		38	Golpear la base del enfriador	○	→			▽	○	47	AV
		39	limpieza de transportador	○	→			▽	○	214	AV
		40	Limpieza de vibradores tolvas PT (se golpean y sopletean)(1)	○	→			▽	○	125	AV
Limpieza planta baja	interna	41	Limpieza bypass de ensaque	○	→			▽	○	240	AV
		42	Recoger herramientas e ir a planta baja	○	→			▽	○	19	NAV
		43	Abrir tapa de transportador M6000	○	→			▽	○	35	AV
		44	limpieza de transportador M6000	○	→			▽	○	305	AV
		45	Abrir tapa de transportador	○	→			▽	○	81	AV
		46	Limpieza de transportador	○	→			▽	○	114	AV
		47	Abrir tapa de transportador M5000	○	→			▽	○	37	AV
		48	Limpieza transportador M5000	○	→			▽	○	221	AV
		49	Demora por aseo personal	○	→			▽	○	540	NAV
		50	Demora por espera de inspector	○	→			▽	○	360	NAV
		51	Inspección de calidad	○	→			▽	○	780	NAVN
Encender secador+enfriador (máquina)	interna	52	Cerrar compuertas desde el piso 6 hasta planta baja	○	→			▽	○	660	AV
		53	Barrer área planta baja	○	→			▽	○	420	AV
		54	Encender sistema precalentamiento para empezar extruir	○	→			▽	○	540	NAVN

Figura 2.1 Diagrama OTIDA del proceso de Limpieza Larga

Fuente: Elaboración propia

En la figura 2.2 se muestra el diagrama OTIDA del proceso de set up por cambio de producto debido a la limpieza de la extrusora que también conforma parte de la limpieza larga y se realiza de forma paralela a las otras actividades de limpieza en la línea de producción N°12, se detalla las etapas del proceso, tipo de actividad (interna o externa), la descripción de la misma, la clasificación de acuerdo al tipo de actividad (operación, transporte, inspección, demora y la combinación entre operación e inspección), el tiempo de cada actividad y se clasifica en si agrega o no agrega valor.

Se identificaron 59 actividades con una duración total de 126.6 min y se estratificaron de la siguiente manera:

- 47 actividades que agregan valor con una duración de 107.5 min
- 8 actividades que no agregan valor con una duración de 15.2 min
- 4 actividades que no agregan valor, pero son necesarias con una duración de 3.8 min.

Por otro lado, las actividades que tomaron más tiempo de ejecución fueron:

- Limpieza del conjunto porta matriz+ matriz
- Cambio de tula
- Cambio de cuchillas
- Limpieza de pre acondicionador 2
- Limpieza conducto vertical extrusora-pre acondicionador

DIAGRAMA DE PROCESO DE LA LIMPIEZA LARGA LÍNEA 12

Observaciones:
Paras por mantenimiento
No fue necesario lavar tanques
No fue necesario preparar colorantes

RESUMEN LIMPIEZA EXTRUSORA POR CAMBIO DE PRODUCTO		
Tiempo	N°	
Tiempo total del proceso de limpieza de extrusora (min)	126.6	59
tiempo total actividades que agregan valor (min)	107.5	47
tiempo total actividades que no agregan valor (min)	15.2	8
tiempo total actividades que no agregan valor pero son necesarias (min)	3.8	4

Etapas del proceso de limpieza de la extrusora	Actividades internas/externas	N°	Descripción Actividades	Op.	Trp.	Ctr.	Esp.	Alm.	Comb.	Tiempo (s)	AV/NAV/NAVN	
Limpieza conjunto porta matriz+matriz	interna	1	Cerrar válvula de vapor en el piso de pre acondicionador 2	0	0	0	0	0	0	60	AV	
		2	Abrir tapa extrusora	0	0	0	0	0	0	0	12	AV
		3	Barrer residuos de producto	0	0	0	0	0	0	0	38	AV
		4	Buscar herramientas (espátula+manguera de aire+guante)	0	0	0	0	0	0	0	47	AV
		5	Aflojar pernos del porta matriz	0	0	0	0	0	0	0	55	AV
		6	Demora por enfriamiento de la extrusora	0	0	0	0	0	0	0	80	NAVN
		7	Colocar tecla al porta matriz	0	0	0	0	0	0	0	60	AV
		8	Sacar pernos manualmente del porta matriz	0	0	0	0	0	0	0	72	AV
		9	Retirar tecla del porta matriz	0	0	0	0	0	0	0	38	AV
	Externa	10	Encender extrusora para evacuar producto del cañon.	0	0	0	0	0	0	0	120	AV
		11	Sopletear con aire comprimido la extrusora	0	0	0	0	0	0	0	180	AV
		12	Inspección del cañon de la extrusora	0	0	0	0	0	0	0	60	NAVN
	interna	13	Remover y barrer residuos acumulados en la parte trasera del porta matriz	0	0	0	0	0	0	0	30	AV
		14	Sopletear con aire comprimido la matriz de la extrusora	0	0	0	0	0	0	0	15	AV
		15	Buscar herramientas (pistola neumática+pala plástica)	0	0	0	0	0	0	0	20	AV
		16	Remover tornillos de la matriz con pistola neumática	0	0	0	0	0	0	0	40	AV
		17	Limpiar parte trasera de la matriz con espátula	0	0	0	0	0	0	0	115	AV
		18	Sopletear con aire comprimido la matriz de la extrusora	0	0	0	0	0	0	0	55	AV
		19	Ir a ubicar la matriz en su estantería	0	0	0	0	0	0	0	25	NAV
		20	Barrer residuos de producto	0	0	0	0	0	0	0	8	AV
		21	Remover con espátula residuos del porta matriz	0	0	0	0	0	0	0	50	AV
		22	Sopletear con aire comprimido el porta matriz	0	0	0	0	0	0	0	22	AV
Cambio de cuchillas	interna	23	Remover porta cuchillas con llave tipo T	0	0	0	0	0	0	50	AV	
		24	Limpiar base del porta cuchillas con espátula	0	0	0	0	0	0	72	AV	
		25	Sopletear residuos de producto en el piso	0	0	0	0	0	0	66	AV	
		26	Barrer residuos de producto	0	0	0	0	0	0	97	AV	
		27	Remover cuchillas gastadas del porta cuchillas	0	0	0	0	0	0	230	AV	
		28	Colocar cuchillas nuevas en el porta cuchillas	0	0	0	0	0	0	380	AV	
		29	Colocar porta cuchillas en base	0	0	0	0	0	0	75	AV	
Acoplar matriz al porta matriz	interna	30	Limpiar matriz con wipe	0	0	0	0	0	0	80	AV	
		31	Acoplar matriz al porta matriz	0	0	0	0	0	0	255	AV	
Limpieza conducto vertical extrusora-pre acondicionador	interna	32	Buscar herramientas (llave)	0	0	0	0	0	0	75	AV	
		33	Abrir tapa del conducto vertical entre extrusora y pre acondicionador	0	0	0	0	0	0	125	AV	
		34	Limpiar conducto vertical entre extrusora y pre acondicionador	0	0	0	0	0	0	212	AV	
		35	Colocar tapa del conducto vertical entre extrusora y pre acondicionador	0	0	0	0	0	0	218	AV	
		36	Limpiar residuos del conducto vertical entre extrusora y pre acondicionador	0	0	0	0	0	0	55	AV	
Limpieza pre acondicionador	interna	37	Buscar herramientas (llave+escoba+espátula)	0	0	0	0	0	0	58	AV	
		38	Ir hasta el pre acondicionador 2	0	0	0	0	0	0	18	NAV	
		39	Limpieza pre acondicionador 2	0	0	0	0	0	0	676	AV	
		40	Ir hasta el pre acondicionador 1	0	0	0	0	0	0	18	NAV	
		41	inspección del pre acondicionador 1	0	0	0	0	0	0	50	NAVN	
		42	ir hasta la extrusora	0	0	0	0	0	0	36	NAV	
		43	Evacuar residuos de los pre acondicionadores (automático)	0	0	0	0	0	0	265	AV	
Cambio de tula	interna	44	Barrer residuos de producto	0	0	0	0	0	0	80	AV	
		45	Demora por búsqueda de transpaleta	0	0	0	0	0	0	745	NAV	
		46	Remover tula con residuos de producto	0	0	0	0	0	0	120	AV	
		47	Barrer residuos de producto en el piso	0	0	0	0	0	0	300	AV	
		48	Colocar tula vacía	0	0	0	0	0	0	140	AV	
Inspección	interna	49	Inspección tanques de colorante	0	0	0	0	0	40	NAVN		
Extrusora	interna	50	Ir hasta la extrusora	0	0	0	0	0	0	18	NAV	
		51	Limpieza del Flextex	0	0	0	0	0	0	180	AV	
		52	Barrer residuos de producto	0	0	0	0	0	0	120	AV	
Limpieza tanques y colorantes	interna	53	Ir hacia la planta baja	0	0	0	0	0	0	18	NAV	
		54	Limpieza de filtros de tanques de colorante	0	0	0	0	0	0	300	AV	
		55	ir a buscar wipe	0	0	0	0	0	0	36	NAV	
		56	Limpieza de manchas de colorante en el piso	0	0	0	0	0	0	105	AV	
Máquina extrusora	interna	57	Colocar parámetros de extrusión en el sistema	0	0	0	0	0	0	240	AV	
		58	Colocar receta+especificaciones de tanques y colorantes en el sistema	0	0	0	0	0	0	240	AV	
		59	Arrancar el sistema para iniciar la extrusión (abrir llave de vapor+encender agitadores de colorantes y encender extrusora)	0	0	0	0	0	0	600	AV	

Figura 2.2 Diagrama OTIDA del proceso de Limpieza de la extrusora

Fuente: Elaboración propia

Se identificaron varias fábricas ocultas que afectan el proceso de limpieza como, por ejemplo:

Los operadores no registran los tiempos reales de limpieza en la línea de producción.

Las actividades no están estandarizadas, es decir existe mucha variabilidad en los métodos de trabajo.

Los operadores improvisan herramientas para efectuar el proceso de limpieza.

2.1.1 Estratificación de datos

La línea de producción de balanceado N° 12 presenta 2 tipos de set up por cambio de producto, estos son: limpieza larga y cambio de dados. En la tabla 2.1 se detallan las frecuencias de cambios por cada tipo de set up desde julio hasta septiembre del 2020 y el tiempo correspondiente a cada cambio.

Tabla 2.1 Frecuencias de Set up por cambio de producto

Fuente: Elaboración propia

Set up por cambio de producto	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado	Tiempo (horas)
Limpieza larga	62	95.38 %	95.38%	4.5
Cambio de dados	3	4.62%	100 %	1.5
Total	65			

En la tabla 2.2 se muestran las actividades relacionadas a la limpieza larga con sus respectivos tiempos de ejecución a partir de la cual se procedió a realizar un diagrama de pareto.

Tabla 2.2 Actividades del set up de limpieza larga

Fuente: Elaboración propia

Actividades	Tiempo (min)
Descarga (secador + enfriador)	40.00
Limpieza de transportadores	34.50
Limpieza de bañador	21.50
Limpieza de enfriador	21.50
Limpieza de tolva post baño	15.50
Limpieza de tolva pre baño	14.00
Inspección de limpieza	10.50
Limpieza de tolvas gourmet	10.00
limpieza de vibradores	9.00
Limpieza de Zaranda	7.50
Limpieza de elevadores	6.00
Limpieza de bypass de ensaque	3.00

En la figura 2.3 se muestra el diagrama de pareto de las actividades ejecutadas durante la limpieza larga, se aprecia que el 80% del tiempo es causado por actividades como: descargar automática del secador y enfriador, limpieza de transportadores, limpieza de bañador, limpieza de enfriador, limpieza de tolva post baño, limpieza de tolva pre baño.

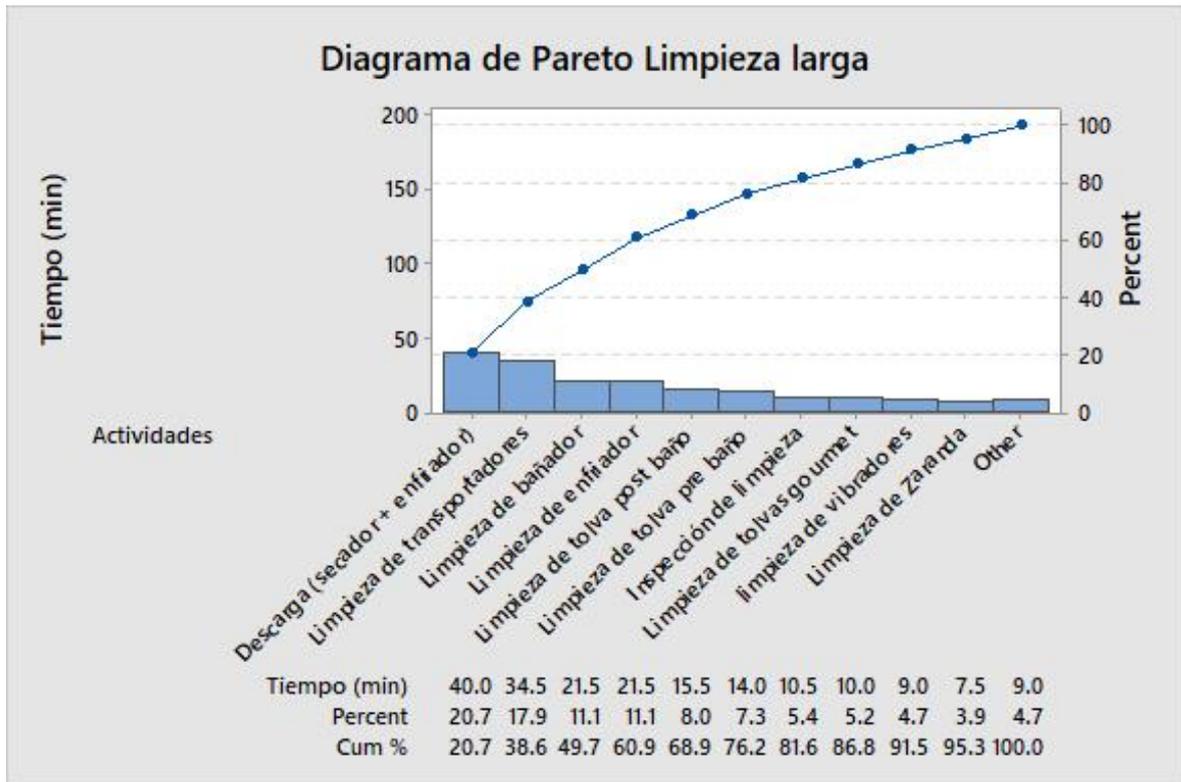


Figura 2.3 Diagrama de pareto limpieza larga

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 2.3 se muestran las actividades relacionadas a la limpieza de la extrusora con sus respectivos tiempos de ejecución a partir de la cual se procedió a realizar un diagrama de pareto.

Tabla 2.3 Actividades set up limpieza de extrusora

Fuente: Elaboración propia

Actividades	Tiempo (min)
Limpieza conjunto porta matriz+ matriz	26.00
Cambio de tula	22.00
Cambio de cuchillas	17.00
Limpieza pre acondicionadores	15.00
Limpieza conducto vertical extrusora-pre acondicionador	12.00
Ingresar especificaciones de tanques, colorantes y parámetros de extrusión.	11.00
Acoplar matriz a porta matriz	6.00
Evacuar residuos pre acondicionadores (automático)	6.00
Limpieza de Flextex	5.00
Limpieza de filtros de colorante	5.00
Limpieza de manchas de colorante en piso	3.00
Cerrar válvula de vapor	1.00

En la figura 2.4 se muestra el diagrama de pareto de las actividades ejecutadas durante la limpieza de la extrusora, se aprecia que el 80% del tiempo es causado por actividades como: Limpieza conjunto porta matriz+ matriz, cambio de tula, cambio de cuchillas, Limpieza pre acondicionadores, Limpieza conducto vertical extrusora-pre acondicionador, Ingresar especificaciones de tanques, colorantes y parámetros de extrusión.

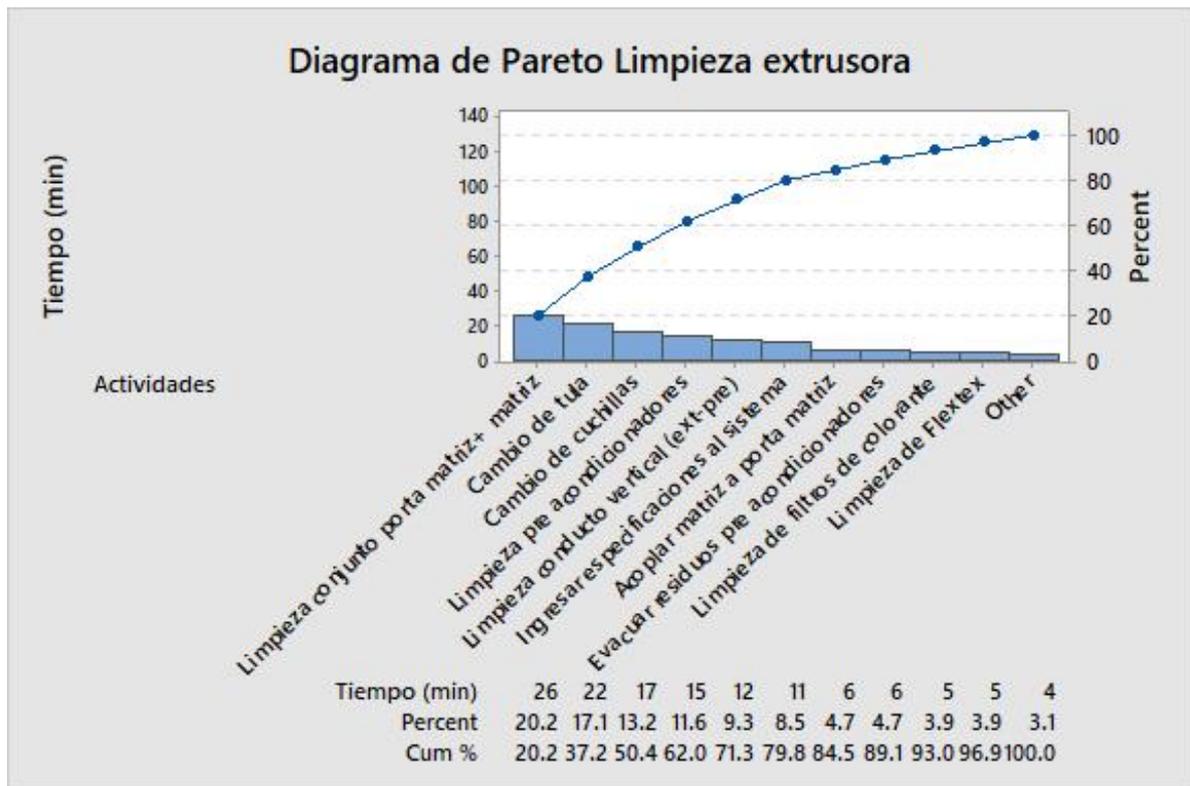


Figura 2.3 Diagrama de Pareto actividades de la limpieza de la extrusora

Fuente: Elaboración propia

2.1.2 Definición de problema enfocado

El problema enfocado encontrado ha sido por medio de la toma de tiempos plasmados en los diagramas de las figuras 2.3 y 2.4, el mismo que se detalla a continuación.

Problema enfocado

“Según las observaciones, de noviembre a diciembre del 2020 en la línea N. ° 12, el tiempo medio de preparación para el cambio de producto es de 4.10 horas, hay tiempos de set up elevados durante la limpieza del sistema”.

2.1.3 Plan de recolección de datos

Para el desarrollo del proyecto se identificaron las variables con mayor impacto sobre la variable de salida, la cual es tiempo de set up por cambio de producto, en la tabla 2.4 se muestra el plan de recolección de datos.

Tabla 2.4 Plan de recolección de datos

Fuente: Elaboración propia

Plan de recolección de datos						
N°	Variable a ser medida	Unidades	Tipo de datos	¿Por qué medir esta variable?	¿Cuándo medir esta variable?	¿Cómo medir esta variable?
X1	Tiempo de set up por cambio de producto	Horas	Continuo	Permite determinar la duración del proceso y forma parte de la variable de salida del proyecto	Desde la fase de medición hasta finalizar el proyecto	Datos históricos
X2	Tiempo de limpieza de extrusora	Horas	Continuo	Permite determinar la duración del proceso y forma parte de la variable de salida del proyecto	Desde la fase de medición hasta finalizar el proyecto	Estudio de tiempos
X3	Tiempo de limpieza de transportadores	Horas	Continuo	Permite determinar la duración del proceso y forma parte de la variable de salida del proyecto	Desde la fase de medición hasta finalizar el proyecto	Estudio de tiempos
X4	Tiempo de limpieza de elevadores	Horas	Continuo	Permite determinar la duración del proceso y forma parte de la variable de salida del proyecto	Desde la fase de medición hasta finalizar el proyecto	Estudio de tiempos
X5	Tiempo de limpieza de tolvas	Horas	Continuo	Permite determinar la duración del proceso y forma parte de la variable de salida del proyecto	Desde la fase de medición hasta finalizar el proyecto	Estudio de tiempos

X6	Tiempo de limpieza de bañador	Horas	Continuo	Permite determinar la duración del proceso y forma parte de la variable de salida del proyecto	Desde la fase de medición hasta finalizar el proyecto	Estudio de tiempos
X7	Tiempo de limpieza de enfriador	Horas	Continuo	Permite determinar la duración del proceso y forma parte de la variable de salida del proyecto	Desde la fase de medición hasta finalizar el proyecto	Estudio de tiempos
X8	Tiempo de inspección de calidad	Horas	Continuo	Permite determinar la duración del proceso y forma parte de la variable de salida del proyecto	Desde la fase de medición hasta finalizar el proyecto.	Estudio de tiempos

2.1.4 Verificación de datos

Con el fin de obtener resultados fiables, para el cálculo del tamaño de la muestra se emplea un análisis estadístico con datos de la curva t student, el error y la media de los datos tomados como se muestra en la figura 2.5, donde el tamaño de muestra apropiado es igual a 3.

$$N = \left(\frac{ts}{k\bar{x}} \right)^2$$

# Observaciones	Minutos	Horas
Obs 1	229	3.82
Obs 2	239	3.98
Obs 3	250	4.17
Media		3.98
Desviación		0.18
n		3
Confianza		95%
Alfa		5%
GL		2
T Student		2.92
Error		7%
N		3.36

Figura 2.4 Cálculo del tamaño de muestra

Fuente: Elaboración propia

Como alternativa se consultó la tabla recomendada por General Electric Company en la figura 2.6, donde se seleccionó un tamaño de muestra igual a 3 dado que el tiempo de set up por limpieza larga es superior a 4 horas.

Cycle time (min)	Recommended number of cycles
0.10	200
0.25	100
0.50	60
0.75	40
1.00	30
2.00	20
2.00 - 5.00	15
5.00 - 10.00	10
10.00 - 20.00	8
20.00 - 40.00	5
40.00 - above	3

Figura 2.5 Número recomendado de ciclos de observación

Fuente: Manual de estudio de tiempos de las obras de Erie de la Compañía General Electric

Una vez tomados los datos del tiempo set up de limpieza larga se procedió a realizar un análisis estadístico entre los mismos y los datos históricos proporcionados por la empresa. En la figura 2.7 se puede apreciar que existe una diferencia significativa entre los datos por ello no es posible trabajar en función de los mismos.

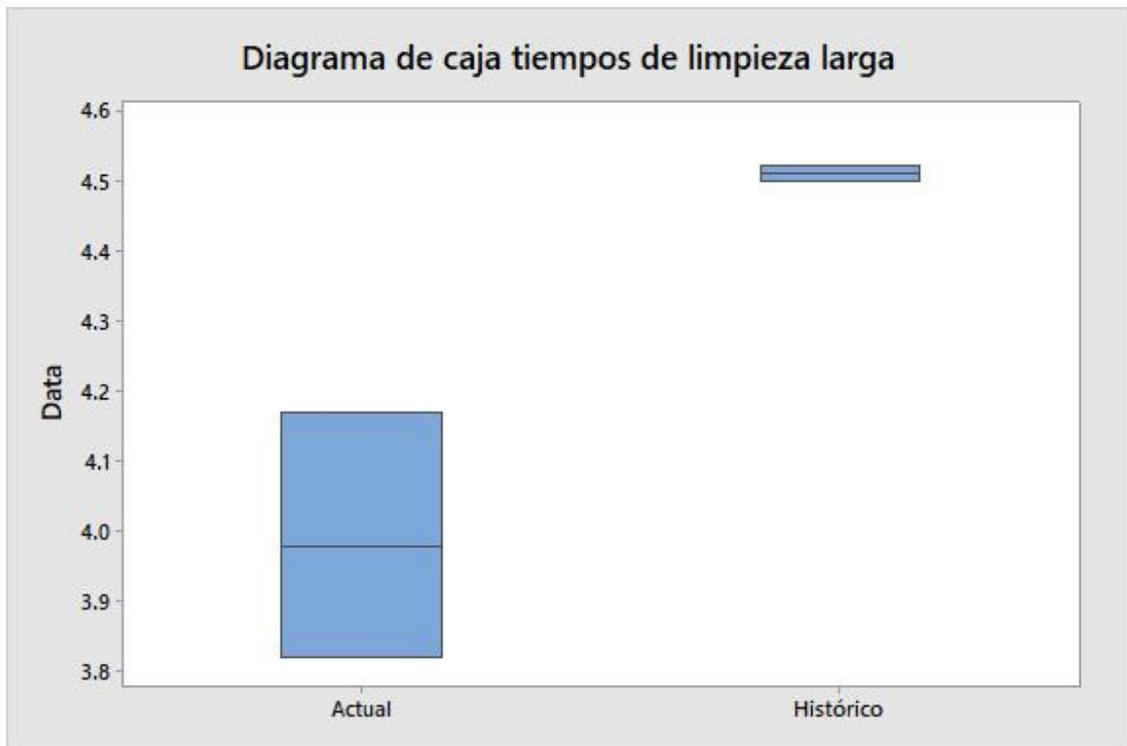


Figura 2.6 Diagrama de cajas tiempos de limpieza larga

Fuente: Elaboración propia

Para realizar el análisis estadístico de diferencia de medias mediante la prueba T, se plantea lo siguiente:

Ho: La media de la data actual tomada es igual a la media de la data histórica

H1: La media de la data actual tomada no es igual a la media de la data histórica

En la figura 2.8 se muestra que el valor p es menor que 0,05 por lo tanto se rechaza la hipótesis nula dado que hay diferencia significativa en la data.

Two-Sample T-Test and CI: Actual; historical

Method

μ_1 : mean of Actual

μ_2 : mean of historical

Difference: $\mu_1 - \mu_2$

Equal variances are not assumed for this analysis.

Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
Actual	3	3.990	0.175	0.10
historical	3	4.5100	0.0100	0.0058

Estimation for Difference

Difference	95% CI for Difference
-0.520	(-0.956; -0.084)

Test

Null hypothesis $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Alternative hypothesis $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

T-Value	DF	P-Value
-5.13	2	0.036

Figura 2.7 Prueba T para la diferencia de medias entre los tiempos tomados y los históricos.

Fuente: Elaboración propia

Dado que la empresa no presenta tiempos reales para las demás variables detalladas en el plan de recolección de datos fue necesario medirlas de forma directa durante la toma de tiempos para lo cual se empleó el formato de la figura 2.9.

2.2 Análisis

Para la fase de análisis, se realizó una lluvia de ideas con todo el personal involucrado con el fin de encontrar las causas que generan mayor impacto en los tiempos de set up por cambio de producto, una vez verificadas las causas se procedió a determinar las causas raíces con la ayuda de la herramienta de los 5 por qué.

2.2.1 Análisis de causas

Se realizó reuniones con las personas involucradas dentro del proceso de limpieza (jefe de producción, supervisores y operadores) como se muestra en la figura 2.10.



Figura 2.9 Reunión con el personal

Fuente: Elaboración propia

A partir de la información recolectada, se ordenaron las ideas en cinco categorías: Material, Ambiente, Fuerza de trabajo, Método y Máquina en el diagrama de Ishikawa con respecto al problema enfocado planteado en la etapa anterior, a continuación, se presenta el detalle del mismo en la figura 2.11.

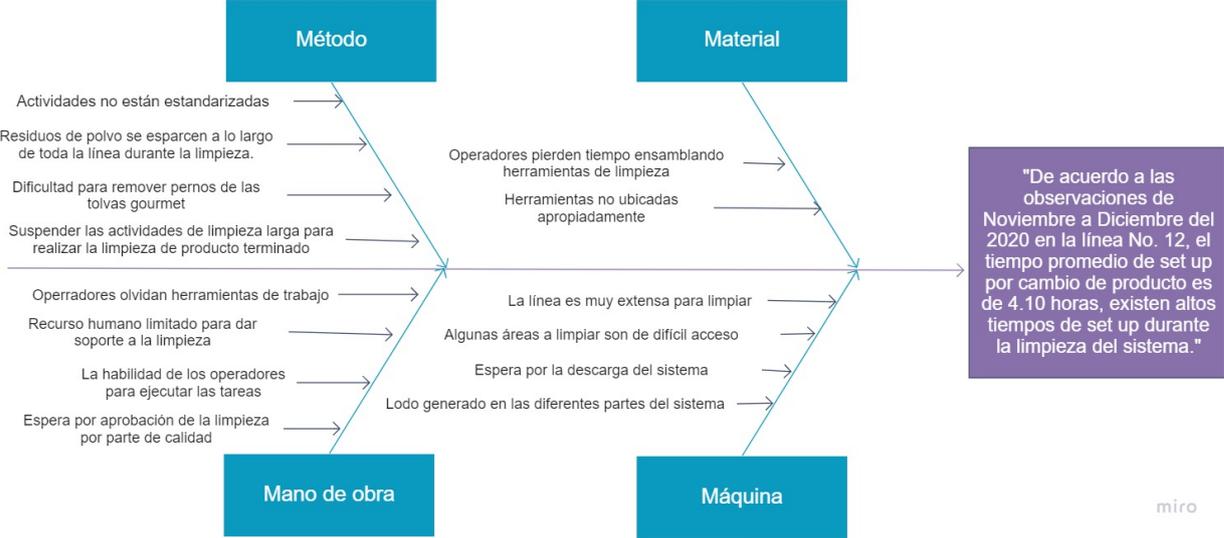


Figura 2.10 Diagrama Ishikawa

Fuente: Elaboración propia

Para determinar las causas potenciales que influyen en la variable de salida, se solicitó evaluar a cinco participantes del proceso el impacto de cada causa con respecto al tiempo de set up por cambio de producto. La ponderación utilizada se muestra en la tabla 2.5.

Tabla 2.5 Ponderación de las causas

Fuente: Elaboración propia

PONDERACIÓN IMPACTO	
Bajo	1
Medio	3
Alto	9

A partir de la calificación de los participantes se utilizó la medida de tendencia central “Moda” para obtener el valor final de impacto de las causas, tal como se muestra en la tabla 2.6.

Tabla 2.6 Evaluación del impacto de las causas

Fuente: Elaboración propia

N°	CAUSAS	IMPACTO					Moda
		P1	P2	P3	P4	P5	
1	Las actividades no están estandarizadas	3	3	9	3	3	3
2	Los residuos de polvo se propagan a lo largo de toda la línea durante la limpieza	1	9	9	9	9	9
3	La línea es muy extensa de limpiar	3	9	3	9	3	3
4	Dificultad para aflojar pernos de las tolvas Gourmet	3	9	9	9	9	9
5	Los operadores pierden tiempo armando herramientas	9	3	9	3	9	9
6	Los operadores olvidan herramientas de trabajo	3	3	3	3	3	3
7	Algunas áreas a limpiar son de difícil acceso	9	9	9	9	9	9
8	Lodo generado en las diferentes partes del sistema	9	9	9	9	9	9
9	Las herramientas no están ubicadas apropiadamente	3	9	9	9	9	9
10	La habilidad de los operadores para ejecutar las tareas	9	9	9	9	9	9
11	Espera por descarga del sistema (secador + enfriador)	9	3	3	9	9	9
12	Espera por aprobación de limpieza por parte del departamento de calidad	9	3	3	3	3	3
13	Recurso humano limitado para dar soporte en la limpieza	9	3	9	9	9	9
14	Suspender actividades de limpieza larga por ejecutar limpieza de Sistema de PT	9	9	9	9	9	9

Se utilizó la clasificación fácil o difícil para evaluar la parte de control que hace referencia a la factibilidad de plantear soluciones en torno a las causas calificadas, tal como se muestra en la tabla 2.7.

Tabla 2.7 Evaluación de control

Fuente: Elaboración propia

N°	CAUSAS	Valor
1	Las actividades no están estandarizadas	Fácil
2	Los residuos de polvo se propagan a lo largo de toda la línea durante la limpieza	Difícil
3	La línea es muy extensa de limpiar	Difícil
4	Dificultad para aflojar pernos de las tolvas Gourmet	Fácil
5	Los operadores pierden tiempo armando herramientas	Fácil
6	Los operadores olvidan herramientas de trabajo	Fácil
7	Algunas áreas a limpiar son de difícil acceso	Difícil
8	Lodo generado en las diferentes partes del sistema	Fácil
9	Las herramientas no están ubicadas apropiadamente	Fácil
10	La habilidad de los operadores para ejecutar las tareas	Fácil
11	Espera por descarga del sistema (secador + enfriador)	Difícil
12	Espera por aprobación de limpieza por parte del departamento de calidad	Fácil
13	Recurso humano limitado para dar soporte en la limpieza	Fácil
14	Suspender actividades de limpieza larga por ejecutar limpieza de Sistema de PT	Difícil

Con los resultados obtenidos previamente, se priorizan las causas mediante la clasificación de las mismas en la matriz impacto-control, tal como se muestra en la figura 2.12.

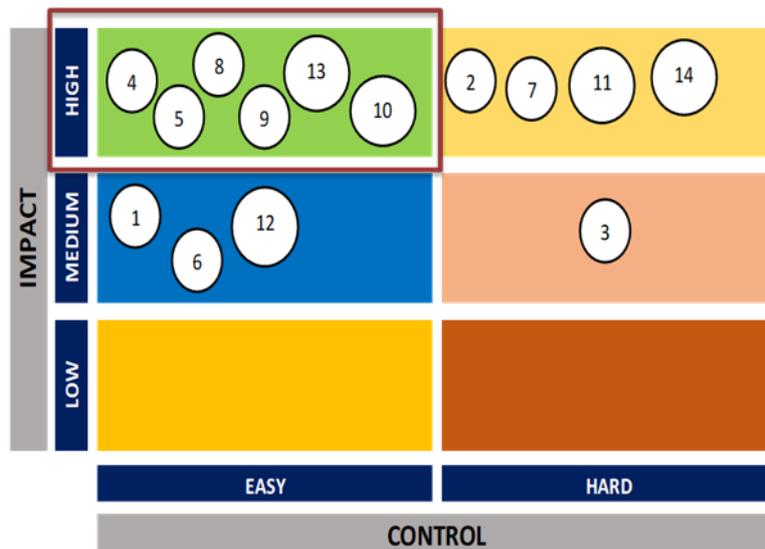


Figura 2.11 Matriz impacto-control

Fuente: Elaboración propia

Se seleccionan como posibles causas potenciales del proyecto aquellas que tienen alto impacto y son fáciles con la ayuda de la matriz de impacto-control, las causas principales de los altos tiempos de set up por cambio de producto son las siguientes:

- Dificultad para aflojar pernos de las tolvas Gourmet
- Los operadores pierden tiempo armando herramientas
- Lodo generado en las diferentes partes del sistema
- Las herramientas no están ubicadas apropiadamente
- La habilidad de los operadores para ejecutar las tareas
- Recurso humano limitado para dar soporte en la limpieza

2.2.2 Plan de verificación de causas

Se realizó el plan de verificación de causas con el fin de validar la existencia de cada una de las causas potenciales mediante diferentes métodos como: Gemba, estudio de tiempos y verificación estadística, el cual se detalla en la tabla 2.8.

Tabla 2.8 Plan de verificación de causas

Fuente: elaboración propia

N°	CAUSAS	IMPACTO	¿CÓMO VERIFICAR?
4	Dificultad para aflojar pernos de las tolvas Gourmet	Algunos pernos de las tolvas Gourmet pierden su forma por lo tanto los operadores demoran en realizar la apertura de compuertas.	Estudio de tiempos GO-SEE
5	Los operadores pierden tiempo ensamblando herramientas	Dependiendo del área a limpiar, los operadores pierden tiempo armando sus herramientas de trabajo por consecuente el tiempo de limpieza es mayor.	Estudio de tiempos GO-SEE
8	Lodo generado en las diferentes partes del sistema	El lodo se pega en las paredes internas de los equipos que conforman la línea de producción.	GO-SEE
9	Las herramientas no están ubicadas apropiadamente	Los operadores pierden tiempo en buscar herramientas de trabajo lo cual implica mayor tiempo para el proceso de limpieza.	Estudio de tiempos GO-SEE
10	La habilidad de los operadores para ejecutar las tareas	El uso de diferentes métodos de trabajo genera variabilidad en los tiempos de limpieza.	Validación estadística

13	Recurso humano limitado para dar soporte en la limpieza	Para el proceso de limpieza solo hay un operador a cargo por defecto el tiempo de limpieza es alto.	Estudio de tiempos GO-SEE
----	---	---	---------------------------

2.2.3 Verificación de causas

Se verificó si cada una de las potenciales causas influyen o no en la variable de salida del proyecto.

Causa 1: Dificultad para aflojar pernos de las tolvas gourmet

Para analizar esta causa se utilizó la herramienta gamba dado que se acudió al sitio y se verificó la existencia de hilos rotos en los pernos como se muestra en la figura 2.13, esto dificultaba el ajuste de los mismos durante cada limpieza. Adicionalmente, a través del estudio de tiempos se identificó el tiempo estándar de limpieza de las tolvas, en el mejor caso cuando se limpia una tolva el tiempo es de 4.86 min y en el peor caso cuando se limpian seis tolvas, el tiempo es de 29.19 min, lo cual representa un 11.86% del tiempo promedio de limpieza obtenido previamente en la etapa de medición. Por ello se concluyó, que la dificultad para aflojar los pernos de las tolvas gourmet impacta en el tiempo de set up.



Figura 2.12 Apertura tolvas gourmet

Fuente: Elaboración propia

Causa 2: Los operadores pierden tiempo ensamblando herramientas

Para analizar esta causa se observó el método de ensamble de herramientas como se aprecia en la figura 2.14, el cual consiste en unir una linterna y una manguera para aire comprimido a un tubo de gran longitud mediante cinta, se tomaron 8 observaciones de los tiempos de ensamble, se obtuvo como resultado un tiempo promedio de 4.25 min que

representa el 1.72 % del tiempo total de limpieza. Se concluyó que esta causa no impactaba significativamente en el tiempo de set up.



Figura 2.13 Ensamble de herramienta

Fuente: Elaboración propia

Causa 3: El lodo generado en las diferentes partes del sistema

Mediante gamba se verificó la presencia de lodo adherido en las paredes de los equipos debido a la diferencia de temperatura en el sistema, tal como se muestra en la figura 2.15, se identificó que el vibrador y la tolva pre baño son los lugares en donde se visualiza mayor presencia de lodo, en base a la toma de tiempos se estableció que el tiempo promedio de limpieza de ambos equipos es de 14.56 min lo cual representa 5.91% del tiempo total de set up, por lo tanto se concluyó que no impacta de forma significativa.

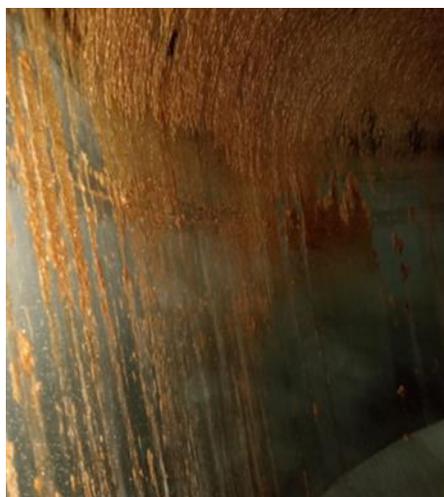


Figura 2.14 Lodo en paredes de tolva pre baño

Fuente: Elaboración propia

Causa 4: Las herramientas no están ubicadas apropiadamente

A partir de la toma de tiempos se verificó que el operador dedica 1.87 min en promedio a buscar las herramientas que necesita para ejecutar la limpieza de la línea, esto representa el 0.86% del tiempo total de set up por lo tanto se concluyó que dicha causa no impacta significativamente en la variable de salida.

Causa 5: La habilidad de los operadores para ejecutar las tareas

Para analizar esta causa se utilizó la toma de tiempos de set up con dos operadores diferentes, en la figura 2.16 se aprecia que existe una diferencia significativa en las medias de los tiempos.

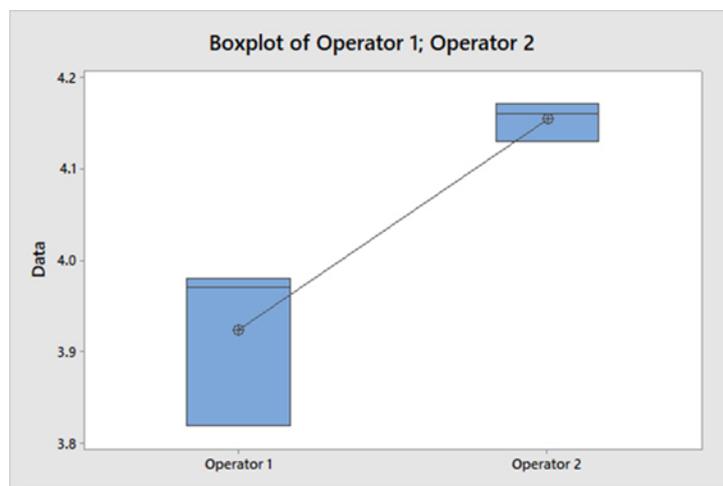


Figura 2.15 Diagrama de caja

Fuente: Elaboración propia

A partir de datos normales se realizó una prueba T, como se muestra en la figura 2.17, las hipótesis planteadas fueron las siguientes:

Ho: El tiempo de set up del operador 1 es igual al tiempo de set up del operador 2.

Ha: El tiempo de set up del operador 1 es diferente al tiempo de set up del operador 2.

Two-Sample T-Test and CI: Operator 1; Operator 2

Method

μ_1 : mean of Operator 1
 μ_2 : mean of Operator 2
Difference: $\mu_1 - \mu_2$

Equal variances are not assumed for this analysis.

Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
Operator 1	3	3.9233	0.0896	0.052
Operator 2	3	4.1533	0.0208	0.012

Estimation for Difference

Difference	95% CI for Difference
-0.2300	(-0.4586; -0.0014)

Test

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

T-Value	DF	P-Value
-4.33	2	0.049

Figura 2.16 Prueba T para los operadores

Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo un valor de p menor que 0.05 por lo cual se concluyó que la habilidad de los operadores impacta significativamente en los tiempos de limpieza.

Causa 6: Recurso humano limitado para dar soporte a la limpieza

Se verificó esta causa mediante los tiempos obtenidos en una prueba piloto con 2 operadores tal como se muestra en la figura 2.18, se evidenció una reducción del 30% del tiempo promedio de set up por lo tanto se concluyó que dicha causa tiene un impacto significativo en la variable de salida.



Figura 2.17 Operadores ejecutando actividades en paralelo

Fuente: Elaboración propia

2.2.4 Análisis de los 5 ¿Por qué?

Las causas potenciales verificadas que impactan el tiempo de set up, se detallan a continuación:

- Dificultad para remover pernos de las tolvas gourmet
- La habilidad de los operadores para ejecutar las tareas
- Recurso humano limitado para dar soporte en la limpieza

Mediante la herramienta de los 5 por qué se identificaron las causas raíces que producen altos tiempos de set up, se muestran en la figura 2.19, figura 2.20 y figura 2.21.

Why-1		Why-2		Why-3		Why-4		Acción
¿Por qué la dificultad para aflojar los pernos de las tolvas Gourmet impacta en el tiempo de limpieza?	YES	¿Por qué algunos pernos están desgastados?	YES	¿Por qué la compuerta se abre frecuentemente?	YES	¿Por qué se quedan croquetas en los bordes?	YES	Modificar el diseño de la compuerta de la tolva haciendo un orificio en el centro para evitar que se abra durante cada limpieza
porque algunos pernos están desgastados		porque la compuerta se abre frecuentemente		porque se quedan croquetas en los bordes		porque su diseño tiene un borde interno cóncavo		
Porque las herramientas son inadecuadas	NO							

Causa Raíz

Figura 2.18 Dificultad para remover pernos de tolvas gourmet

Fuente: Elaboración propia

Why-1		Why-2		Why-3		Why-4		Acción
¿Por qué la habilidad del operador para ejecutar sus actividades afecta el	YES	¿Por qué se demora más limpiando en algunas áreas?	YES	¿por qué su método de trabajo es diferente?	YES			Estandarización de actividades de limpieza
Porque se demora más limpiando en algunas áreas.		porque su método de trabajo es diferente		Porque las actividades se realizan de formas diferentes				
		porque limpian más de lo necesario	YES	¿por qué limpian más de lo necesario?	YES	¿por qué quieren garantizar la aprobación de calidad?	YES	Elaborar plan de capacitación del personal de limpieza
				porque quieren garantizar la aprobación de calidad		Porque quieren evitar el retrabajo de limpieza		

Causa Raíz

Causa raíz

Figura 2.19 La habilidad de los operadores para ejecutar tareas

Fuente: Elaboración propia

Why-1		Why-2		Why-3		Acción
¿Por qué el recurso humano limitado afecta el tiempo de limpieza?	YES	¿Por qué el operador debe supervisar la descarga del último lote?	YES	¿Por qué la descarga del producto esta incluida en el tiempo de set up de la línea?	YES	Implementación de metodología SMED
Porque el operador debe supervisar la descarga del último lote		Porque la descarga del producto esta incluida en el tiempo de set up de la línea		Porque hay actividades externas ejecutandose como internas		
porque sólo hay un operador encargado del proceso de limpieza	YES	¿por qué solo hay un operador encargado del proceso de limpieza?	YES	¿Por que la limpieza se realiza en serie?	YES	Adquisición de una aspiradora industrial para ser usada en un punto estratégico de la línea
Porque el personal de otras áreas esta ocupado para dar soporte en la limpieza	YES	Porque la limpieza se realiza en serie		porque los equipos y herramientas utilizados en la limpieza hacen que los residuos caigan de piso en piso		
		¿Por qué el personal de otras áreas esta ocupado para dar soporte en la limpieza?	YES			Entrenar un operador adicional para dar soporte en la limpieza. Reorganizar las actividades con un segundo operador.
		porque la disponibilidad del personal en otras áreas es baja para dar soporte en la				

Causa Raíz

Causa Raíz

Figura 2.21 Personal limitado para dar soporte en la limpieza

Fuente: Elaboración propia

Las causas raíces encontradas a partir del análisis anterior se muestran a continuación en la figura 2.22.

CAUSAS POTENCIALES	CAUSAS RAÍCES
Dificultad para remover pernos en las tolvas gourmet	El diseño de las tolvas Gourmet tiene un borde interno cóncavo
La habilidad de los operadores para ejecutar las tareas	Las actividades de limpieza se realizan de formas diferentes
	Los operadores quieren evitar hacer retrabajo de limpieza
Recurso humano limitado para dar soporte a la limpieza	Hay actividades externas ejecutándose como internas
	Los equipos y herramientas utilizados en la limpieza hacen que los residuos caigan de piso
	La disponibilidad del personal en otras áreas es baja para dar soporte en la limpieza

Figura 2.22 Causas Raíces

Fuente: Elaboración propia

2.3 Mejora

En esta etapa se realizan las propuestas de soluciones, las mismas que se priorizan con la ayuda del cliente, una vez seleccionadas las más idóneas, se realiza el plan de implementación para finalmente poner en marcha las soluciones.

2.3.1 Lluvia de ideas de soluciones

En colaboración con el personal encargado del proceso, se obtuvo las siguientes ideas que se muestran en la figura 2.23.

CAUSAS RAÍCES	SOLUCIONES	N°
El diseño de las tolvas Gourmet tiene un borde interno cóncavo	Construcción de una compuerta de fácil acceso en tolvas gourmet	1
Las actividades de limpieza se realizan de formas diferentes	Estandarización de actividades de limpieza	2
Los operadores quieren evitar hacer retrabajo de limpieza	Elaborar plan de capacitación del personal para la limpieza	3
Hay actividades externas ejecutándose como internas	Implementación de metodología SMED	4
Los equipos y herramientas utilizados en la limpieza hacen que los residuos caigan de piso	Adquisición de una aspiradora industrial para ser usada en un punto estratégico de la línea	5
La disponibilidad del personal en otras áreas es baja para dar soporte en la limpieza.	Entrenar a un operador adicional para dar soporte en la limpieza	6
	Reorganizar actividades con un segundo operador	7

Figura 2.20 Propuestas de soluciones

Fuente: Elaboración propia

2.3.2 Selección de soluciones

Se evaluó la factibilidad de implementar las soluciones considerando aspectos técnicos, tiempo y recursos disponibles de acuerdo al criterio del cliente, se utilizó una matriz de esfuerzo-impacto para visualizar las soluciones con alto impacto y bajo esfuerzo, tal como se muestra en la figura 2.24.

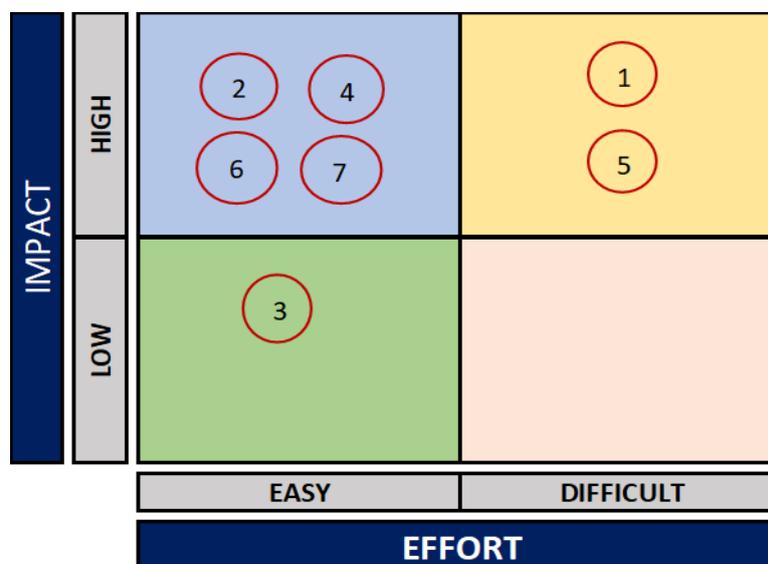


Figura 2.21 Matriz impacto-esfuerzo

Fuente: Elaboración propia

Las soluciones seleccionadas son las siguientes:

- Estandarización de actividades de limpieza
- Implementación de la metodología SMED
- Entrenamiento de un operador adicional para dar soporte en la limpieza
- Reorganizar las actividades con un segundo operador

Posteriormente, se realizó un análisis de los costos involucrados al implementar las soluciones propuestas, tal como se muestra en la tabla 2.9.

Tabla 2.9 Costos estimados de las propuestas de solución

Fuente: Elaboración propia

	Costos Estimados						
	1	2	3	4	5	6	7
Activos	\$2,083.20	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$9,000.00	\$0.00	\$0.00
Fuerza laboral	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Capacitación	\$0.00	\$20.49	\$20.49	\$0.00	\$0.00	\$36.89	\$0.00
Adicionales	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Costo total	\$2,083.20	\$20.49	\$20.49	\$0.00	\$9,000.00	\$36.89	\$0.00

2.3.3 Plan de implementación

En base a las soluciones seleccionadas se realizó el plan de implementación como se detalla en la figura 2.25.

Causa Raíz	¿Qué?	¿Por qué?	¿Cómo?	¿Dónde?	¿Quién?	Costo	¿Cuándo?	Estado
Las actividades de limpieza se realizan de formas diferentes	Estandarización de actividades de limpieza	Porque los operadores necesitan un método de trabajo específico para la limpieza	Mapeo de proceso de la limpieza, capacitación del personal involucrado	Planta de balanceados	Líder de proyecto	\$0.00	Enero - 2021	Completado
Hay actividades externas ejecutándose como internas	Implementación de metodología SMED	Para disminuir el tiempo de limpieza	Recolección de información actual, separar actividades internas y externas, convertir las actividades internas en externas.	Planta de balanceados	Líder de proyecto	\$0.00	Enero - 2021	Completado
La disponibilidad del personal en otras áreas es baja para dar soporte en la limpieza.	Capacitar a un operador adicional para soporte en la limpieza	Para realizar actividades en paralelo y disminuir el tiempo de limpieza	Elegir el personal para la formación Entrenamiento sobre el proceso de limpieza Socializar el método de trabajo con 2 operadores en paralelo	Planta de balanceados	Líder de proyecto	\$737.80	Enero - 2021	Completado
	Reorganizar actividades con un segundo operador	Para distribuir adecuadamente las actividades y disminuir el tiempo de limpieza	Diagrama funcional con las actividades que va a realizar cada operador en un tiempo determinado	Planta de balanceados	Líder de proyecto	\$0.00	Enero - 2021	Completado

Figura 2.25 Plan de implementación

Fuente: Elaboración propia

2.3.4 Descripción de las soluciones

Las soluciones que serán implementadas en el proyecto forman parte de la metodología SMED, las mismas se detallan a continuación:

Estandarización de actividades

Se realizará un procedimiento con el método adecuado de trabajo para cada una de las partes que conforman la limpieza larga con ello se pretende reducir los tiempos de preparación dado que disminuye la variabilidad generada por los diferentes métodos de trabajo de los operadores.

Entrenamiento de un operador adicional para dar soporte en la limpieza

Se realizará un plan de capacitación con los temas fundamentales para nuevos operadores o para aquellos que sean asignados al proceso de limpieza larga, adicionalmente se creará una guía ilustrativa con todas las actividades estándar de limpieza con el fin de reducir la variabilidad del proceso.

Reorganización de las actividades con un segundo operador

Se dividirá el sistema en dos partes con la ayuda de una aspiradora industrial, la misma que se ubicará en el vibrador con el objetivo de recoger los residuos, gracias a ello se implementarán actividades en paralelo con una secuencia establecida mediante

un diagrama de proceso que nos ayudará a balancear la carga de trabajo y reducir el tiempo de set up por cambio de producto.

2.4 Implementación

Las soluciones implementadas forman parte de la metodología SMED, el mismo sobre la cual se desarrolló este proyecto.

Primero, se analizó la situación actual mediante videos y tomas de tiempo del proceso de limpieza, cuyas premisas se presentaron en la etapa de medición.

En segundo lugar, se separó las actividades internas y externas del proceso de limpieza actual mediante el uso del diagrama Otida, tal como se detalló en la etapa de medición, cuyo resultado obtenido fue que todas las actividades eran de preparación interna.

En tercer lugar, se convirtió la preparación de equipos y herramientas, de igual modo la limpieza de residuos en el piso en actividades externas. Adicionalmente, se eliminó del proceso la actividad correspondiente a la limpieza de los vibradores de las tolvas gourmet porque no era necesaria dado que no afectaba la calidad del producto.

Luego, se refinó el proceso mediante el desarrollo de las siguientes soluciones:

Estandarización de actividades

Se realizó un procedimiento detallado con las actividades internas y externas a ser ejecutadas por cada operador, tal como se muestra en la figura 2.26.

PROCEDIMIENTO PARA LA LIMPIEZA DE EQUIPOS POR CAMBIO DE PRODUCTO

PRO-LIM-12

(Rev. 0 – Fecha de revisión: 24/01/2021)

1. OBJETIVO

Establecer un procedimiento para la limpieza de los equipos a fin de garantizar la inocuidad del producto, agilizar las operaciones y condiciones seguras para el personal presente en el proceso

2. ALCANCE

Este procedimiento aplica para el proceso de limpieza por cambio de producto (limpieza larga) para la categoría de salud animal realizadas en las instalaciones de la planta. Se excluye el proceso de limpieza por cambio de producto (limpieza corta) y por cambio de especie.

3. DEFINICIONES

Preparación interna: Operaciones que se realizan mientras la máquina extrusora esta parada.

Preparación externa: Operaciones que se realizan mientras la máquina extrusora está en marcha.

4. CONDICIONES GENERALES DE SEGURIDAD

- El personal que interviene en las operaciones detalladas en el procedimiento debe tener experiencia y haber recibido una inducción sobre los riesgos asociados a la actividad.
- El personal encargado debe de usar correctamente los equipos de protección personal como: mascarilla para polvos, casco con orejeras, calzado de seguridad.
- El personal tiene prohibido el uso de joyas para evitar accidentes con los equipos en funcionamiento y evitar la contaminación cruzada del producto.

5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

LIMPIEZA LARGA POR CAMBIO DE PRODUCTO

ACTIVIDADES DE PREPARACIÓN INTERNA

El **secador**, sus responsabilidades en este proceso son:

- a) Realizar la descarga del equipo de secado desde la cabina de control.
- b) Realizar la descarga del coater o mezcladora desde la cabina de control para liberar el último lote de producto
- c) Dirigirse al sexto nivel de la línea 12, donde realiza lo siguiente:
 - Retirar compuertas de zaranda M50100
 - Retirar tapa de transportador OF50050
 - Conectar manguera para aire comprimido en el nivel 5
 - Limpiar con aire comprimido la zaranda M50100
 - Limpiar con aire comprimido el transportador OF50050
- d) Dirigirse al quinto nivel de la línea 12, para ejecutar lo siguiente:
 - Ensamblar herramienta de limpieza (tubo, manguera y linterna)

Elaborado:	Aprobado:	Página
------------	-----------	--------

Figura 2.22 Procedimiento para la limpieza larga

Fuente: Elaboración propia

Entrenamiento de un operador adicional para dar soporte en la limpieza

Se realizó un plan de entrenamiento detallado con los temas fundamentales de capacitación para el operador adicional del proceso, tal como se muestra en la figura 2.27.

GUÍA DE CAPACITACIÓN PARA LA LIMPIEZA DE EQUIPOS POR CAMBIO DE PRODUCTO L-12

El operador debe de preparar los equipos y utensilios a utilizar en la limpieza, esto debe de realizarse mientras la extrusión del producto anterior está en marcha, tal es el caso de la aspiradora industrial y los sacos para recoger el producto residual conocido como barrido.

Una vez que se ha detenido la marcha de la máquina extrusora, los operadores asignados a la limpieza larga del sistema deben de realizar las actividades detalladas a continuación:

	<p>01 Descargar el secador desde la cabina de control evitando el vaciado brusco del producto caliente para no afectar su calidad.</p>		<p>02 Cerrar manualmente la llave de gas del secador, cuando la descarga del mismo va por el último piso.</p>
<p>03 Descarga del último lote del coater desde cabina, evitando el vaciado brusco para no alterar la calidad del producto.</p>	<p>04 Descargar el enfriador desde la cabina de control a un ritmo moderado dado que el producto está caliente.</p>	<p>05 Tomar las herramientas: linterna, llaves, racor y dirigirse al nivel 6 del sistema para dar inicio a la limpieza.</p>	
<p>06 Mientras va ascendiendo hasta el nivel 6, debe de ir abriendo tapas y compuertas de los equipos en cada uno de los niveles anteriores.</p>	<p>07 Abrir compuertas de zaranda MS0100 y tapa del transportador OF50050.</p>	<p>08 Conectar manguera de aire comprimido en el nivel anterior.</p>	
	<p>09 Limpiar con aire comprimido de extremo a extremo el transportador OF50050.</p>		<p>10 Limpiar la zaranda MS0010 con aire comprimido.</p>
	<p>11 Ensamblar tubo, manguera y linterna con cinta para alcanzar las paredes de los equipos.</p>		<p>12 Limpiar las paredes internas de la tolva pre baño con ayuda de la herramienta previamente ensamblada.</p>

Figura 2.24 Guía de capacitación

Fuente: Elaboración propia

Reorganización de actividades con un segundo operador

Se implementó actividades en paralelo con un segundo operador, para ello se necesitó una aspiradora industrial, la cual fue utilizada en el vibrador de la línea con el fin de recoger los residuos e impedir que caigan por gravedad afectando las actividades del otro operador, dicho recurso fue proporcionado por la empresa.

Se realizó un diagrama de proceso con la distribución de actividades que siguieron los operadores durante las pruebas piloto, tal como se muestra en la figura 2.29.

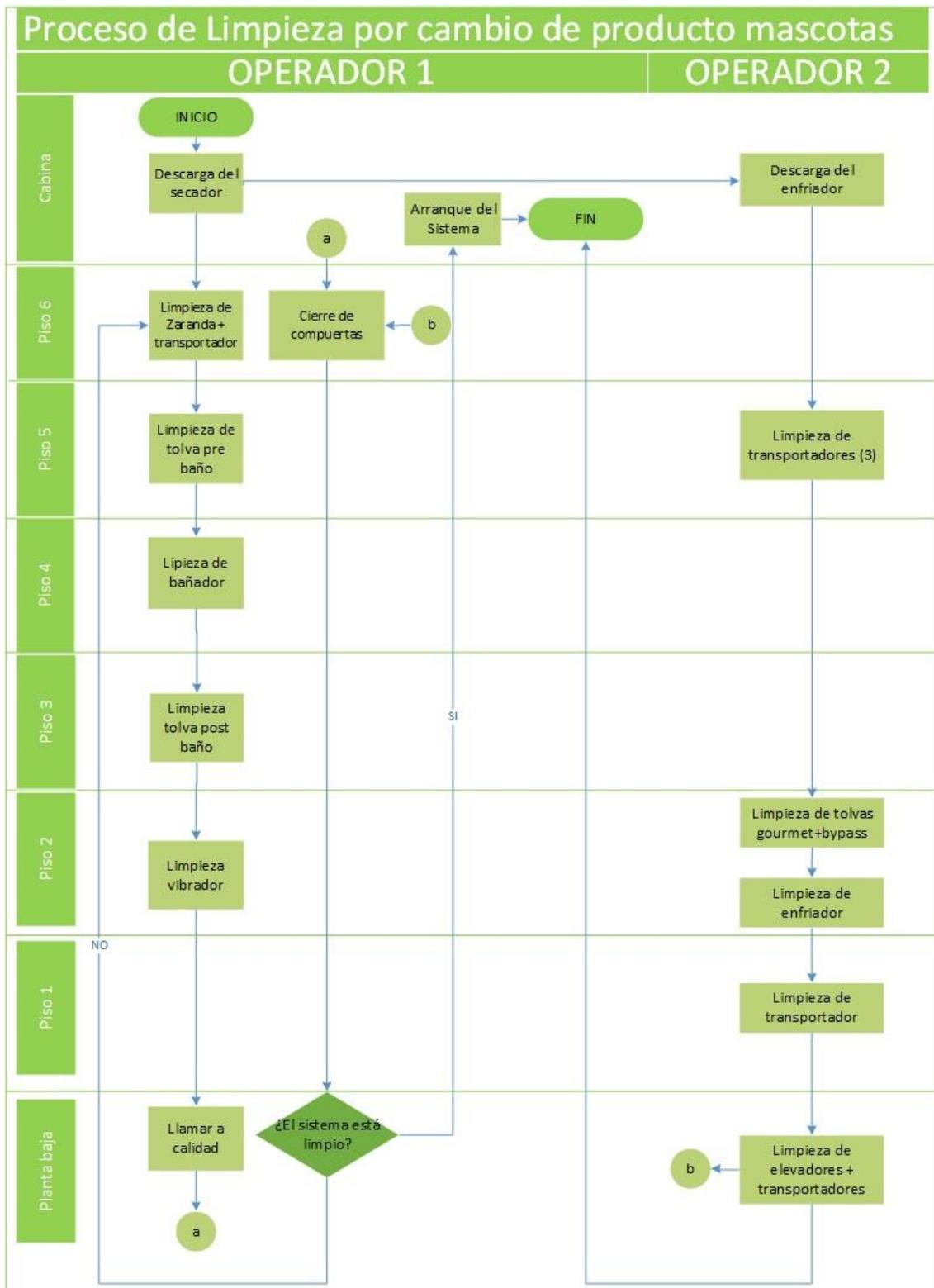


Figura 2.25 Diagrama funcional

Fuente: Elaboración propia

Se realizaron 3 pruebas piloto con la implementación de las soluciones propuestas dentro de la metodología SMED, la secuencia de actividades que logró reducir los tiempos de limpieza, se detalla en la figura 2.30.

Secuencia de actividades después de mejoras					
N°	Lugar	Calidad	Operador 1	Lugar	Operador 2
1	Cabina		Descarga del secador		
2	Cabina		Descarga del coater		
3	Piso 6		Limpieza zaranda + transportador	Cabina	Descarga del enfriador
4	Piso 5		Limpieza tolva pre baño	Piso 5	Limpieza transportadores
5	Piso 4		Limpieza de Bañador	Piso 2	Limpieza tolvas gourmet + bypass
6	Piso 3		Limpieza Tolva post baño	Piso 2	Limpieza enfriador+ transportador
7	Piso 2		Limpieza vibrador	Planta Baja	Limpieza transportadores + elevadores PB
8	Sistema completo	Inspección de calidad	cierre de compuertas		
9	Cabina		Arranque del sistema		

Figura 2.26 Secuencia de actividades después de SMED

Fuente: Elaboración propia

De las 3 pruebas piloto realizadas con la secuencia de actividades aplicando SMED se obtuvo una media de 2.34 horas por cambio de producto.

2.5 Control

Con el fin de preservar la implementación de las soluciones se diseñó un plan de control, el cual se muestra en la figura 2.31

N°	Solución	¿Qué?	¿Cuándo?	¿Por qué?	¿Cómo?	¿Quién?	¿Dónde?	Reacción
1	Estandarización de actividades de limpieza	El tiempo total de limpieza por cambio de producto este dentro del promedio.	Diariamente	Para evitar que se produzcan altos tiempos de limpieza	Auditando el cumplimiento del procedimiento establecido para la limpieza de equipos por cambio de producto	Supervisor de producción	Línea de producción N°12	Si el tiempo total de limpieza es > 2.34 horas
2	Entrenamiento de un operador adicional para las actividades de limpieza	Personal novato no realice la limpieza sin supervisión ni capacitación.	Mensualmente	Porque es necesario que operadores nuevos o antiguos conozcan el método de trabajo más eficiente.	Verificando el cumplimiento del plan de entrenamiento y el uso de la guía de capacitación propuesta.	Supervisor de producción	Línea de producción N°12	Cuando no hay personal capacitado disponible para dar soporte en la limpieza
3	Reorganizar las actividades de limpieza con un segundo operador	El tiempo total de limpieza por cambio de producto este dentro del promedio.	Diariamente	Para evitar que se produzcan altos tiempos de limpieza	Verificando el uso de una aspiradora en el vibrador durante la limpieza para poder realizar actividades en paralelo.	Supervisor de producción	Línea de producción N°12	Si el tiempo total de limpieza es > 2.34 horas

Figura 2.31 Plan de control

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Estandarizar las actividades de limpieza permitió que los operadores realicen sus tareas de forma eficiente, los tiempos promedio con su desviación estándar por cada actividad que se realizó en las pruebas piloto se describe a continuación en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Tiempo promedio de actividades de limpieza

Fuente: Elaboración propia

Actividad	Tiempo (min)	Desviación
Descarga del secador (Tiempo Máquina)	15	0.0
Descarga del Coater (Tiempo máquina)	12	0.0
Abrir compuertas por sistema (Tiempo máquina)	1	0.0
Trasladarse al 6to piso	5	1.2
Limpieza de zaranda+ transportador (6to piso)	13	3.6
Limpieza tolva pre baño (5to piso)	15	7.8
Limpieza de bañador (4to piso)	20	5.3
Limpieza tolva post baño (3er piso)	15	6.2
Limpieza de vibrador con aspiradora (2 do piso)	13	2.6
Descarga del enfriador (Tiempo máquina)	12	0.0
Trasladarse al 5to piso	2	0.6
Limpieza de transportadores del 5to Piso	15	0.6
Limpieza de Tolvas Gourmet (1)	8	4.0
Limpieza del enfriador	18	3.2
Limpieza del transportador del Enfriador	4	0.6
Limpieza de transportador y elevadores de PB	14	1.5
Cierre de compuertas	18	5.7
Arranque del Sistema	10	0.0

En base a la estandarización de actividades se obtuvo un tiempo de 3.5 horas de set up por cambio de producto lo que implica una reducción del 14% es decir de 4.1 a 3.5 horas, sin embargo, con las demás soluciones implementadas se logró una reducción más significativa.

La implementación de actividades en paralelo y la reorganización de actividades permitieron obtener resultados más favorables, el soporte al proceso de limpieza con un segundo operador fue fundamental dado que el diseño de la línea tiene 6 pisos y el set up lo realizaba una sola persona, con una segunda persona de soporte, el uso de una aspiradora industrial en el vibrador de la línea y la reorganización de actividades se logró los siguientes resultados de las pruebas piloto descritos en la **tabla 3.2**.

Tabla 3.2 Tiempo de actividades en pruebas piloto

Fuente: Elaboración propia

Operador	Actividad	Prueba1	Prueba2	Prueba3	Promedio (min)
1	Descarga del secador (Tiempo Máquina)	15	15	15	15
1	Descarga del Coater (Tiempo máquina)	12	12	12	12
1	Abrir compuertas por sistema (Tiempo máquina)	1	1	1	1
1	Trasladarse al 6to piso	4	6	4	5
1	Limpieza de zaranda+ transportador (6to piso)	12	17	10	13
1	Limpieza tolva pre baño (5to piso)	13	24	9	15
1	Limpieza de bañador (4to piso)	22	24	14	20
1	Limpieza tolva post baño (3er piso)	13	22	10	15
1	Limpieza de vibrador con aspiradora (2 do piso)	12	16	11	13
2	Descarga del enfriador (Tiempo máquina)	12	12	12	12
2	Trasladarse al 5to piso	3	2	2	2
2	Limpieza de transportadores del 5to Piso	14	15	15	15
2	Limpieza de Tolvas Gourmet (1)	13	6	6	8
2	Limpieza del Enfriador	22	17	16	18
2	Limpieza del transportador del Enfriador	4	4	5	4
2	Limpieza de transportador y elevadores de PB	14	15	12	14
1	Cierre de compuertas	24	13	16	18
1	Arranque del Sistema	10	10	10	10

Con la premisa de la estandarización de actividades en complemento con el soporte de un segundo operador, reorganización de actividades y el recurso material de una aspiradora se logró reducir el set up por cambio de producto en un 42% del valor actual, es decir de 4.10 a 2.34 horas, esto implica el cumplimiento del objetivo propuesto en un 100%.

En la figura 3.1 se muestra de manera gráfica el resultado de los tiempos en la prueba piloto.

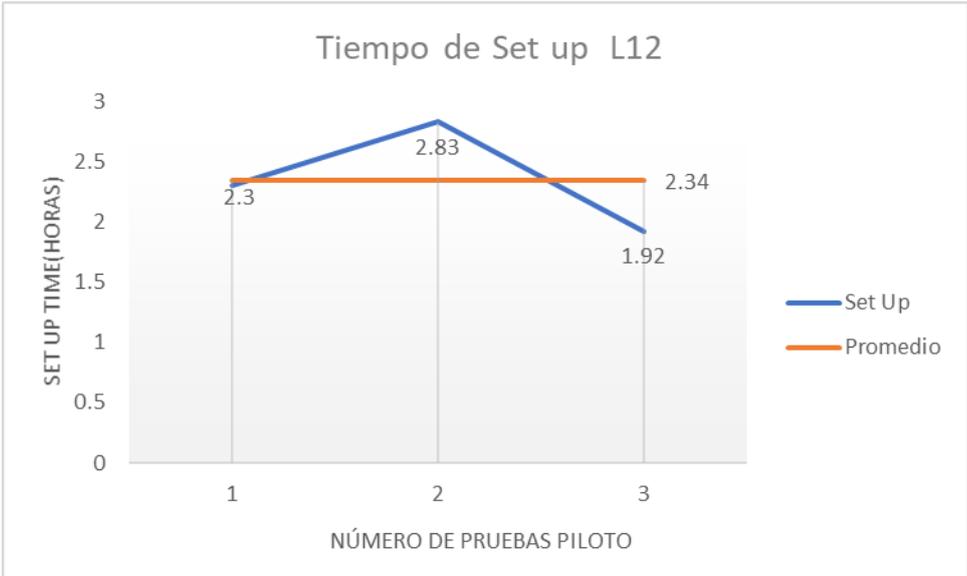


Figura 3.1 Tiempo total de set up

Fuente: Elaboración propia

En base a los resultados obtenidos se tiene que el proceso de limpieza con SMED debe durar 2.34 ± 0.45 horas por cambio de producto.

En la figura 3.2 se demuestra estadísticamente que el valor p es menor a 0.05 por lo que la diferencia de medias entre la situación actual versus la situación mejorada es significativamente diferente, comprobando así que el tiempo de set up por cambio de producto en la situación mejorada es menor a la situación actual.

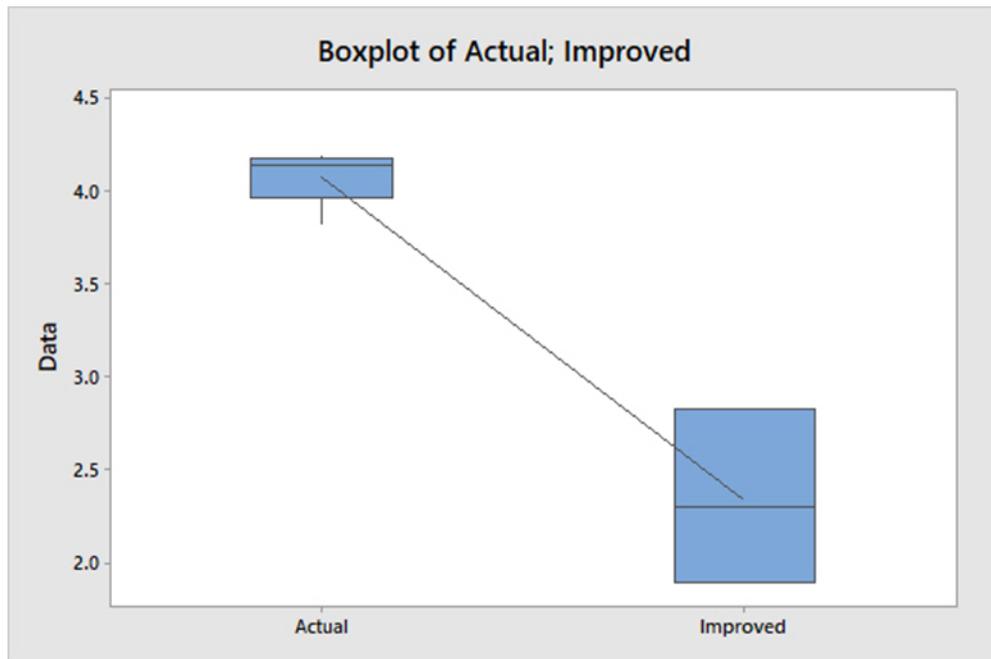


Figura 3.2 Comparación estadística de medias

Fuente: Elaboración propia

La reducción del set up implica que las horas ahorradas serán horas planificables para la producción, comparando la situación actual se tenía 621.6 horas disponibles de producción al mes, ahora con la situación mejorada se tiene 663.8 horas disponibles, es decir que la empresa tiene 42.2 horas adicionales para producir al mes, teniendo en cuenta que la capacidad de la línea N° 12 es de 8 toneladas por hora, y haciendo una relación entre las horas ganadas para producir, se logró tener un beneficio productivo de 337.9 toneladas ganadas por mes.

El set up está directamente relacionado con el OEE de la línea por ser parte del factor de disponibilidad, con la mejora de este tiempo se obtuvo como resultado el aumento del OEE en un 8.35% es decir de 68.47% a 76.82%, logrando la meta de 75% de eficiencia en la línea.

Análisis beneficio-costo

Con este análisis se logró saber si el proyecto es viable, se realizó un contraste entre la inversión del proyecto y los beneficios obtenidos. En la tabla 3.3 se muestran los datos promedios relevantes.

Tabla 3.3 Tiempo perdido por set up

Fuente:
propia

Elaboración

Número promedio de cambios al mes	Tiempo promedio de set up	Tiempo de set up	Tiempo perdido por set up
24	4.1	98.4	42.2136

La capacidad para producir en la línea N°12 es 8 Toneladas por hora, por lo que la empresa está perdiendo de producir 337.6 Ton al mes, se hizo el análisis con un producto denominado clase A por su demanda mensual en el mercado, este producto tiene una presentación de 18 kg y su precio de venta es \$51.7 por unidad, estos valores están descritos en la siguiente en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Detalles del producto tipo A

Fuente: Elaboración propia

PRODUCTO A

18 Kg cada funda

444 fundas producidas en una hora

\$51.7 Costo del producto por unidad

Por lo que la empresa podría producir 337600 kg de este producto al mes, lo que representa 18755 fundas al mes.

Se estimó la utilidad de la empresa del 20 % del precio de venta, lo que representa una utilidad de \$ 194116.2 dólares al mes, teniendo en cuenta que la inversión de las mejoras implementadas fue de \$57.38 relacionado a los rubros de capacitación del personal adicional y la estandarización de actividades.

El retorno de esta inversión se producirá al primer mes de producción por lo que el proyecto es viable.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- En base a las propuestas de mejoras aplicadas en la resolución de este proyecto, se logró el objetivo de reducir al menos el 35% del tiempo de set up por cambio de producto, y aumentar el OEE en un 4.41 % respecto al valor actual, teniendo beneficios asociados a la productividad y eficiencia de la línea.
- Mediante la estratificación de los datos históricos y observaciones reales se identificó que la limpieza larga es el set up que más impacto tiene en el tiempo total de preparación por cambio de producto.
- La aplicación de la metodología SMED fue un causal importante para lograr la reducción del tiempo de limpieza larga por cambio de producto, eliminando actividades que no agregan valor y lograr la transformación de actividades internas a externas.

4.2 Recomendaciones

- Comprar una aspiradora de mayor potencia para realizar la recolección de residuos en el vibrador para evitar que los desperdicios caigan a la siguiente sección de la línea y mantener un sistema en paralelo continuo en el tiempo.
- Modificar las compuertas de las tolvas de producto terminado mediante un orificio en la superficie que sea de fácil acceso para el operador y pueda realizar la limpieza de estas tolvas eficientemente sin hacer un sobre esfuerzo.
- Registrar los tiempos reales de limpieza de la línea por cambio de producto para el cálculo de indicadores de eficiencia relacionados con el tiempo de set up.
- Las tolvas de producto terminado que estén vacías durante el proceso de extrusión deben ser consideradas como actividades externas, es decir que deben ser limpiadas cuando la máquina esté encendida.

BIBLIOGRAFÍA

- Benjamin, S. J., Murugaiah, U., & Marathamuthu, M. S. (2013). The use of SMED to eliminate small stops in a manufacturing firm. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 792-807.
- Bhade, S., & Hegde, S. (2020). Improvement of Overall Equipment Efficiency of Machine by SMED. *Materials Today*, 463. Obtenido de materialstoday.
- Ekincioglu, C., & S, B. (2018). SMED methodology based on fuzzy taguchi method. *Journal of Enterprise Information Management*, 867-878.
- Global Trust Association. (2018). *Global Trust Association*. Obtenido de Global Trust Association: <https://blog.globaltrustassociation.org/es/el-arbol-ctq-critical-to-quality/>
- Indrawati, S., Pratriwi, M., Sunaryo, & 'Azzam, A. (2018). The effectiveness of single minute exchange of dies for lean changeover process in printing industry. *MATEC Web of Conferences 154, 01064 (2018)* (pág. 2). Indonesia: EDP Sciences. Obtenido de MATEC Web of Conferences: <https://search.proquest.com/docview/2050575002?accountid=171402>. doi: <http://dx.doi.org/10.1051/matecconf/201815401064>.
- International Six Sigma Institute. (2020). *Six Sigma Institute*. Obtenido de Six Sigma Institute: https://www.sixsigma-institute.org/Six_Sigma_DMAIC_Process_Define_Phase_Capturing_Voice_Of_Customer_VOC.php#:~:text=REGISTER-,Six%20Sigma%20DMAIC%20Process%20%2D%20Define%20Phase%20%2D%20Capturing%20Voice%20of%20Customer,a%20particular%20product%20or%20se
- Lozano, J., Saenz-Déz, J., Mertínez, E., Jiménez, E., & Blanco, J. (2017). Methodology to improve machine changeover performance on food industry based on SMED. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 3607-3618.

- McIntosh, R., Culley, S., Gest, G., Mileham, T., & Owen, G. (2020). An assessment of the role of design in the improvement of changeover performance. *International Journal of Operations & Production Management*, 22-5.
- Mohd Norzaimi, B., & Mohd Sollahuddin, S. (2014). The Effectiveness of the Single Minute Exchange of Die (SMED). *Applied Mechanics and Materials*, 1144.
- Montgomery, D. (2009). *Introduction to Statistical Quality Control (6th edition)*. Arizona: John Willey & Sons.
- Morales Méndez, J. D., & Ramón, S. (2016). Set-up reduction in an interconnection axle manufacturing cell using SMED. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1907-1916.
- Moxham, C., & Greatbanks, R. (2001). Prerequisites for the implementation of the SMED methodology. *The International Journal of Quality & Reliability Management*, 404-414.
- Pérez, I., & Rojas, J. (2019). Lean, Seis Sigma y Herramientas Cuantitativas: Una Experiencia Real en el Mejoramiento Productivo de Procesos de la Industria Gráfica en Colombia. *Revista de métodos cuantitativos para la economía y la empresa.*, 263.
- Sierra, V., & Beltrán, L. (2017). Metodología dinámica para la implementación de 5's en el área de producción de las organizaciones. *Revista Ciencias Estratégicas*, 411.