

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

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

Aumento de la disponibilidad de una línea fabricadora de flejes en  
una empresa productora de soluciones de acero para la  
construcción

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingenieras Industriales**

Presentado por:

Sonnia María Cevallos Recalde

María Fernanda Mieles Salgado

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2019

# AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios por haberme guiado en todo mi camino a través de estos 5 años dentro de la ESPOL.

A mis padres, hermanas y tías por su apoyo y soporte brindado en toda esta etapa académica.

A mi compañera de tesis por hacer de este proyecto una experiencia gratificante e inolvidable.

A nuestra tutora María Laura Retamales por ser una guía fundamental dentro de todo nuestro proceso de Materia Integradora.

Finalmente, a la compañía que nos dio la apertura necesaria para la realización de este proyecto.

María Fernanda Mieles.

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero expresar gratitud y amor a Dios por guiarme en todas las etapas de mi vida.

A mis padres, por su apoyo incondicional y consejos que han sido pilar fundamental para este proceso.

Agradezco a los docentes de la universidad, por sus enseñanzas, en especial a Ing. María Laura Retamales, quien se mantuvo atenta en resolver todas las dudas que se presentaron en el camino.

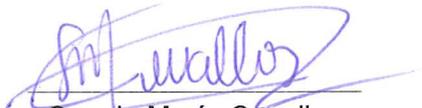
A mi compañera, por hacer de todo este proyecto un gran trabajo en equipo.

Finalmente, al equipo de la compañía que nos brindó su soporte para llevar a cabo este proyecto con éxito.

Sonnia Cevallos.

## DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Sonnia María Cevallos Recalde* y *María Fernanda Mieles Salgado* y damos nuestro consentimiento para que la ESPOC 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"



Sonnia María Cevallos  
Recalde

AUTOR 1

*María Fernanda Mieles*

María Fernanda Mieles  
Salgado

AUTOR 2

## EVALUADORES



MSc. Sofía Anabel López Iglesias

PROFESOR DE LA MATERIA



MSc. María Laura Retamales García

MSc. María Laura Retamales García

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

El presente proyecto fue realizado en una compañía fabricante de soluciones de acero para la construcción, cuyo objetivo fue incrementar el porcentaje promedio mensual de disponibilidad en una máquina productora de flejes de acero. Los flejes de acero pueden ser utilizados como producto final para ventas, como materia prima para procesos internos y externos en la planta.

Para alcanzar todos los objetivos específicos y objetivo general establecidos, se utilizó la metodología DMAIC y mediante ésta fue posible identificar los problemas directos que afectaban las Disponibilidad de la línea de producción.

Una vez identificados los problemas enfocados, se estudiaron las causas raíces de cada uno de estos problemas y se implementaron soluciones a cada una de las causas raíces del problema. Consiguiendo así los resultados esperados del proyecto.

Como soluciones se utilizaron: establecimiento de estándares de limpieza de la máquina, implementación de la metodología SMED, modificación y distribución de tareas, y finalmente se elaboró una herramienta de control visual de averías de las partes críticas de la máquina sujeta a estudio.

**Palabras claves:** DMAIC, SMED, Disponibilidad.

## **ABSTRACT**

*The present project was performed at a company that manufactures steel solutions for construction, and its objective was to increase the average monthly percentage of availability in a steel strapping production line. Steel strips can be used as final product for sales, as raw material for internal and external processes in the plant.*

*In order to achieve all the specific objectives and established general objective, the DMAIC methodology was developed and with it was possible to identify the direct problems that affect the availability of the production line.*

*Once the focused problems had been identified, the root causes of each of the problems were studied and solutions to each of the root causes of the problem were implemented. Thus, it was possible to achieve the expected results of the project.*

*As solutions were used: establishment of machine cleaning standards, implementation of the SMED methodology, modification and distribution of tasks, and finally a visual control tool was developed to track the critical parts breakdowns in the machine.*

*Key words: DMAIC, SMED, Availability.*

# ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES .....	5
RESUMEN .....	I
ABSTRACT.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS .....	V
SIMBOLOGÍA .....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VII
ÍNDICE DE TABLAS .....	VIII
CAPÍTULO 1 .....	1
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Descripción del problema .....	1
1.2. Justificación del problema.....	3
1.3. Objetivos .....	4
1.3.1. Objetivo general .....	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
1.4. Marco Teórico.....	4
CAPÍTULO 2 .....	7
2. Metodología.....	7
2.1. Definición.....	7
2.2. Medición .....	14
2.2.1. Plan de recolección de datos.....	14
2.2.2. Verificación de Datos.....	16
2.3. Análisis .....	29
Matriz de Impacto vs Control .....	32
2.3.1. Verificación de causas.....	34
Plan de verificación de causas .....	44
2.3.2. 5 por qué .....	46
CAPÍTULO 3 .....	49
3. Resultados y Análisis de Soluciones.....	49
3.1. Implementación y Control .....	49
3.2. Resultados.....	60
3.2.1. Resultados CTQ .....	60
3.2.2. Resultados CTQ Sostenibilidad .....	61

Beneficios económicos del SMED .....	61
CAPÍTULO 4.....	64
4.1. Conclusiones .....	64
4.2 Recomendaciones .....	65
BIBLIOGRAFÍA.....	66

## ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
DMAIC	Define, Measure, Analyze, Improve, Control
SIPOC	Suppliers, Input, Process, Output, Customers
SMED	Single Minute Exchange of Dies
VOC	Voz del cliente
CTQ	Critical to quality
WIP	Work in Process
AV	Added Value
NAV	Non-Added Value
EPI	Equipo de protección individual
EPP	Equipo de protección personal

## SIMBOLOGÍA

%	Porcentaje
#	Número
Min	Minuto
Ton	Toneladas
Hr	Horas
Ho	Hipótesis nula
Ha	Hipótesis alterna

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Esquema Slitter .....	2
Figura 1.2 Diagrama de Slitter 2.....	2
Figura 1.3 Disponibilidad Slitter 2.....	3
Figura 1.4 Fases de DMAIC.....	5
Figura 2.1 Voz del cliente.....	7
Figura 2.2 Disponibilidad de Slitter 2.....	9
Figura 2.3 CTQ Tree.....	10
Figura 2.4 CTQ Sostenibilidad.....	11
Figura 2.5 Diagrama de cajas de tiempos por turno.....	17
Figura 2.6 Prueba T primer turno.....	18
Figura 2.7 Prueba T segundo turno.....	19
Figura 2.8 Prueba T tercer turno.....	19
Figura 2.9 Pareto de paradas que afectan a la disponibilidad.....	21
Figura 2.10 Diagrama de flujo del proceso de Slitter 2.....	26
Figura 2.11 Tiempos de cambio de Slitter 2.....	28
Figura 2.12 Diagrama de Ishikawa: Tiempos elevados de cambio.....	30
Figura 2.13 Pareto de causas potenciales de tiempo de cambios.....	32
Figura 2.14 Matriz Impacto vs Control: Causas de tiempo de cambios.....	33
Figura 2.15 Acta de entrega de herramientas.....	35
Figura 2.16 Herramientas de Slitter 2.....	35
Figura 2.17 Diagrama de dispersión: Número de flejes.....	36
Figura 2.18 Área de Slitter 2.....	37
Figura 2.19 Tareas adicionales del proceso de Slitter 2.....	38
Figura 2.20 Resultado estudio estadístico de prueba de hipótesis.....	39
Figura 2.21 Diagrama de cajas de tiempo de cambio de producto.....	39
Figura 2.22 Diagrama de dispersión de cambio de producto.....	40
Figura 2.23 Diagrama de Ishikawa de paradas por averías.....	42
Figura 2.24 Matriz de Impacto vs Control de causas de las averías.....	43
Figura 2.25 Falta de limpieza.....	44
Figura 2.26 Equipos fuera de estándar.....	45
Figura 2.27 Sistema D7.....	46
Figura 3.1 Selección de materiales necesarios e innecesarios.....	49
Figura 3.2 Fuente de contaminación detectada.....	51
Figura 3.3 Modelo de estándar de limpieza.....	53
Figura 3.4 Control de estándares de limpieza.....	54
Figura 3.5 Formato de no conformidad de los estándares de limpieza.....	54
Figura 3.6 Difusión del SMED con el equipo.....	58
Figura 3.7 Diagrama de GANTT del SMED.....	59
Figura 3.8 Diseño de la herramienta.....	60
Figura 3.9 Resultados en la disponibilidad.....	62
Figura 3.10 Resultados de cambio de producto.....	62
Figura 3.11 Resultados de cambio de turno.....	63
Figura 3.12 Resultados de averías.....	63

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Datos de disponibilidad enero 2018-febrero 2019 .....	8
Tabla 2.2 SIPOC .....	12
Tabla 2.3 Plan de recolección de datos.....	15
Tabla 2.4 Tamaño de muestra .....	16
Tabla 2.5 Cambio de turno .....	20
Tabla 2.6 Proceso de Slitter .....	23
Tabla 2.7 Fases del proceso de Slitter .....	24
Tabla 2.8 Desperdicios .....	28
Tabla 2.9 Matriz causa y efecto de tiempo de cambio .....	31
Tabla 2.10 Plan de verificación de causas de tiempo de cambio .....	34
Tabla 2.11 Inventario de herramientas .....	36
Tabla 2.12 5 Porqué de tiempos de cambio .....	41
Tabla 2.13 Causas raíces de tiempos de cambio .....	42
Tabla 2.14 Causas potenciales de averías.....	43
Tabla 2.15 Estado de verificación .....	44
Tabla 2.16 5 Porqué de la fase análisis.....	47
Tabla 2.17 Resultados causas raíces .....	48
Tabla 3.1 Situación previa en tareas .....	55
Tabla 3.2 Cambio en la distribución de tareas .....	55
Tabla 3.3 Primera fase del SMED .....	57
Tabla 3.4 Segunda fase del SMED .....	58
Tabla 3. 5 Resultados CTQ.....	60
Tabla 3.6 Resultados CTQ Sostenibilidad.....	61
Tabla 3.7 Beneficios económicos del SMED .....	61

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Descripción del problema

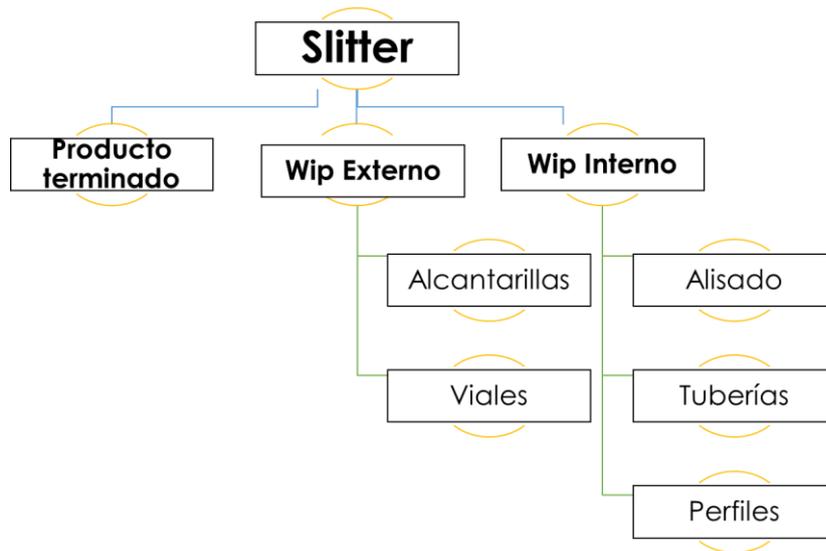
El presente proyecto se desarrolló en una empresa ecuatoriana fabricante de soluciones de acero para la construcción, la cual cuenta con tres plantas: Planta Guayaquil, Planta Quito, y Planta Latacunga.

Las plantas mencionadas se encargan de fabricar: conformados fríos, varillas, estructuras metálicas y cubiertas para el negocio, con materia prima proporcionada por proveedores de Brasil, Rusia, Japón y China. Todo lo fabricado pasa directamente a ser expuesto y posteriormente vendido a los clientes en ferreterías, por medio de comerciantes estratégicos para la industria metálica y tiendas oferentes de soluciones de construcción.

La compañía es reconocida en el mercado por ofrecer soluciones que se encuentran en modernas construcciones industriales y agroindustriales, instalaciones comerciales, educativas, deportivas, de viviendas y en infraestructuras viales del Ecuador y el exterior. Su visión es: ser reconocida como una empresa innovadora, líder en la industria del acero de Ecuador, y su misión es: ofrecer una amplia gama de productos y soluciones de acero generando valor para sus clientes, la comunidad y su personal en forma sostenible. Además, posee pilares estratégicos como: cultura emprendedora, sostenibilidad, orientación al mercado e innovación.

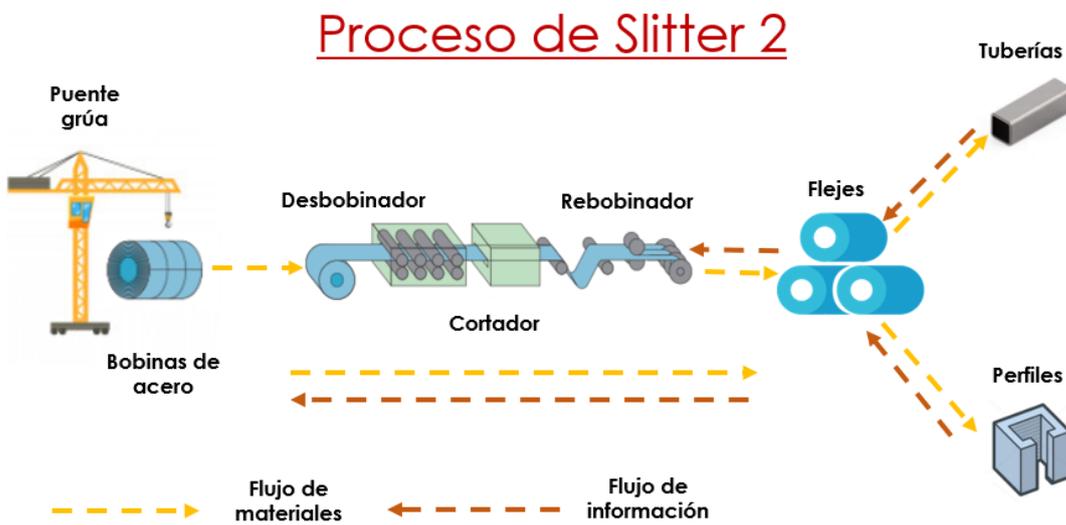
El proyecto se desarrolló en una línea de producción denominada Slitter 2. Ésta se caracteriza por producir flejes de acero, los cuales pueden ser directamente producto terminado, representar un producto en proceso (WIP) externo a trasladar a la Planta Quito para la producción de alcantarillas y viales, y finalmente pueden ser usados como un WIP interno como materia prima para la

fabricación de tubos, perfiles y alisados. Lo mencionado se puede visualizar en las figuras 1.1 y 1.2



**Figura 1.1 Esquema Slitter**

Fuente: Elaboración propia  
Sonia Cevallos - María Fernanda Mieles

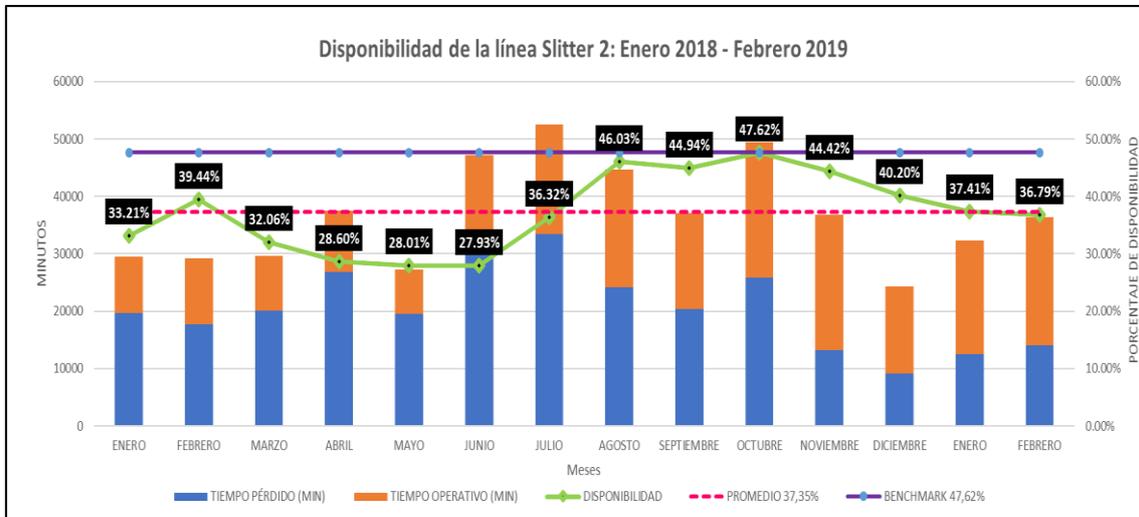


**Figura 1.2 Diagrama de Slitter 2**

Fuente: Elaboración propia  
Sonia Cevallos - María Fernanda Mieles

Como se puede observar en la figura 1.2 la línea Slitter 2 posee tres secciones en la línea. La primera sección es la parte del desbobinador, luego una cortadora, un templador y luego un rebobinador.

Esta línea posee actualmente una disponibilidad promedio de 37,95%, lo cual se encuentra muy por debajo a lo requerido por la organización. El comportamiento de la disponibilidad desde enero del 2018 hasta febrero 2019 se puede visualizar en la figura 1.3:



**Figura 1.3 Disponibilidad Slitter 2**

Fuente: Elaboración propia  
Sonia Cevallos - María Fernanda Mieles

## 1.2. Justificación del problema

La variable de medición sujeta a estudio en este proyecto es la disponibilidad de la línea fabricadora de flejes de acero, la cual corresponde al tiempo operativo neto de producción dividido para el tiempo total programado de producción. A su vez, el tiempo total de producción es equivalente al tiempo operativo de la máquina más el tiempo de paradas (o perdido). La finalidad de este proyecto es aumentar la disponibilidad de la línea de Slitter para poder cumplir el plan de producción a tiempo, reduciendo las paradas que afectan mayormente a la variable respuesta.

El alcance del proyecto comprende netamente el proceso de producción de la línea Slitter 2, específicamente desde la recepción de cartas de armado en la máquina hasta que se termina la fabricación de los flejes de acero.

### 1.3. Objetivos

#### 1.3.1. Objetivo general

- Incrementar la disponibilidad de la línea de producción Slitter 2 a al menos 42,42% al final del mes de agosto del año 2019.

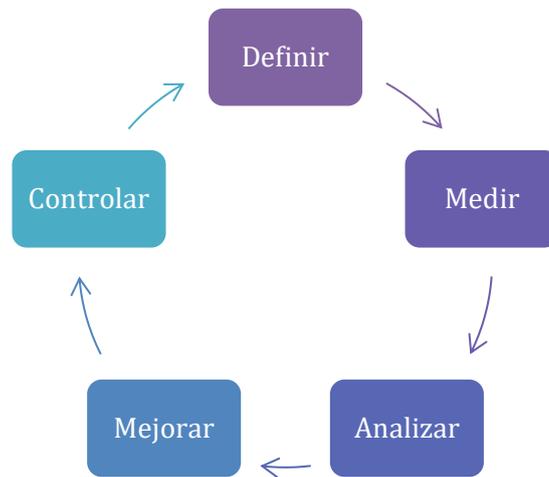
#### 1.3.2. Objetivos específicos

- ✓ Medir los tiempos de duración tanto de las paradas programadas como no programadas de los tres turnos, para así obtener una data confiable de la disponibilidad de la Slitter 2.
- ✓ Analizar cuáles son las paradas que afectan la disponibilidad de la línea de producción sujeta a estudio.
- ✓ Identificar acciones de mejora para reducir las paradas que tienen el mayor impacto en la disponibilidad de la línea Slitter 2.
- ✓ Reducir tres factores dimensionales de sostenibilidad.

### 1.4. Marco Teórico

#### **DMAIC**

DMAIC es un esquema de una metodología de Mejora Continua: *Definir* donde se definen los problemas y situaciones a ser mejorados, *Medir* con el fin de obtener datos y toda la información relevante al proyecto o estudio en ejecución, *Analizar* toda la información recolectada en la fase previa e identificar causas raíces, *Incorporar* mejoras en el proceso y finalmente *Controlar* la ejecución de la implementación de la mejora para la sostenibilidad en el tiempo del proyecto (Bhuller, 2012).



**Figura 1.4 Fases de DMAIC**

Fuente: Elaboración propia

Sonia Cevallos - María Fernanda Mieles

### **Diagrama de Pareto**

El Diagrama de Pareto es una herramienta caracterizada por detectar problemas que poseen mayor impacto en una variable específica, la teoría detrás de esta herramienta indica que existen muchos problemas con un poco grado de importancia en comparación a otros que son graves y poseen gran relevancia. El principio de Pareto señala que generalmente, el 80% de los resultados globales parten del 20% de los elementos sujetos a análisis (Sales, 2009).

### **SIPOC**

SIPOC hace referencia a las siglas **S**upplier (Proveedor) **I**nput (Entrada) **P**rocess (Proceso) **O**utput (Salida) **C**ustomer (Cliente). Por ello este diagrama divide el proceso en las fases consideradas relevantes en un determinado proceso, establece cada uno de los materiales o servicios requeridos que se deben receptor en cada etapa del proceso, indica quienes son los proveedores de los materiales/servicios requeridos que se receptor en el proceso, señala lo entregado al final de cada fase, y finalmente se visualiza quien es el encargado de receptor la salida de cada fase estos pueden ser clientes externos o internos (Ramusson, 2006).

## **VOC**

Es una herramienta caracterizada por identificar las necesidades críticas del cliente. La utilización de esta herramienta es de gran ayuda para poder lograr las necesidades y requerimiento del cliente, es decir lo que realmente le es relevante.

También es conocida por describir la retroalimentación del cliente acerca de su experiencia y con sus expectativas acerca de un producto o servicio (Gutiérrez, 2014).

La voz del cliente puede ser captada por medio de: interacción directa, encuestas y entrevistas.

## **Técnica de los cinco por qué**

Es una técnica empleada en la etapa de análisis. Es una herramienta de gran utilidad basada en ejecutar preguntas tras pregunta para explorar las relaciones causa-efecto que originan un problema o situación sujeta a un estudio crítico. Mediante esta herramienta es posible identificar la causa raíz a una causa potencial específica.

# CAPÍTULO 2

## 2. Metodología

### 2.1. Definición

En la primera etapa de la metodología DMAIC se recolectó las necesidades del cliente para determinar el problema a analizar.

Por medio de una sesión planificada con el gerente de la planta, supervisores del área y operadores se logró adquirir y recolectar las necesidades del cliente con relación a la Slitter 2, las cuales se muestran a continuación:

- Incrementar la disponibilidad de las líneas de producción.
- Tener información confiable dentro del proceso de Slitter.
- Tener un proceso totalmente controlado.
- No tener faltantes de flejes para la producción de perfiles y tuberías.
- Cumplir con los planes de producción de flejes.
- Disminuir los costos de manufactura.

Una vez recolectadas las necesidades de los clientes, se tradujeron dichas necesidades en una variable cuantificable, la cual permitió establecer la definición del problema.



**Figura 2.1 Voz del cliente**

Fuente: Elaboración propia

Sonia Cevallos - María Fernanda Mieves

En la figura 2.1 se muestra como las necesidades del cliente se tradujeron a una variable cuantificable, debido a que la voz del cliente se relaciona directamente con la disponibilidad dado que, para lograr tener un plan de producción a tiempo, que no existan faltantes de flejes para la producción de perfiles y tuberías, y disminuir los costos de producción, los cuales están directamente relacionados con los costos de mano de obra y de consumo de energía, es necesario medir y establecer parámetros de la disponibilidad.

Una vez establecida la disponibilidad como la variable respuesta, se analizó información histórica para conocer el comportamiento y la situación actual de la misma.

**Tabla 2.1 Datos de disponibilidad enero 2018-febrero 2019**

Fuente: Elaboración propia

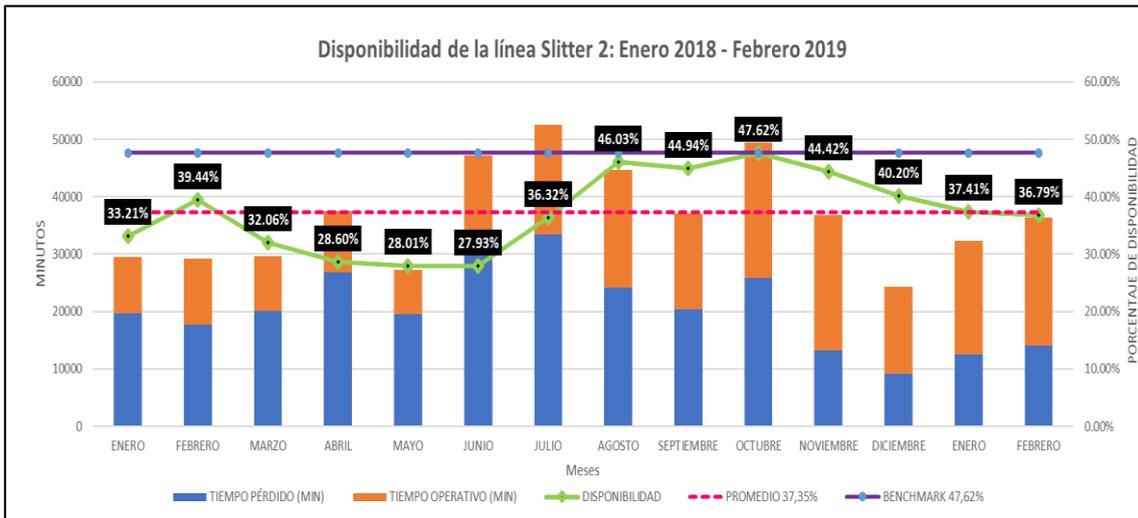
Sonnia Cevallos - María Fernanda Mieleles

Mes	Tiempo programado de producción (Minutos)	Tiempo Perdido (Minutos)	Tiempo Operativo (Minutos)	Disponibilidad	Promedio 37.35%	Benchmark 47.62%
Enero	29477	19689	9789	33.21%	37.35%	47.62%
Febrero	29188	17677	11511	39.44%	37.35%	47.62%
Marzo	29609	20117	9492	32.06%	37.35%	47.62%
Abril	37529	26795	10734	28.60%	37.35%	47.62%
Mayo	27205	19585	7619	28.01%	37.35%	47.62%
Junio	47246	34502	13914	27.93%	37.35%	47.62%
Julio	52540	33457	19083	36.32%	37.35%	47.62%
Agosto	44712	24132	20580	46.03%	37.35%	47.62%
Septiembre	37080	20415	16665	44.94%	37.35%	47.62%
Octubre	49380	25865	23515	47.62%	37.35%	47.62%
Noviembre	10520	13165	23685	44.42%	37.35%	47.62%
Diciembre	6120	9105	15225	40.20%	37.35%	47.62%
Enero	7440	12450	19890	37.41%	37.35%	47.62%
Febrero	8190	14070	22260	36.79%	37.35%	47.62%

La tabla 2.1 proporciona los valores utilizados para calcular la disponibilidad de la línea Slitter 2 de los meses de enero 2018 hasta febrero del 2019.

La ecuación 2.1 mostrada a continuación, fue utilizada para calcular la disponibilidad:

$$Disponibilidad = \frac{\text{Tiempo operativo neto}}{\text{Tiempo planificado para producción}} \times 100 \% \quad (2.1)$$



**Figura 2.2 Disponibilidad de Slitter 2**

Fuente: Elaboración propia

Sonia Cevallos - María Fernanda Mieleles

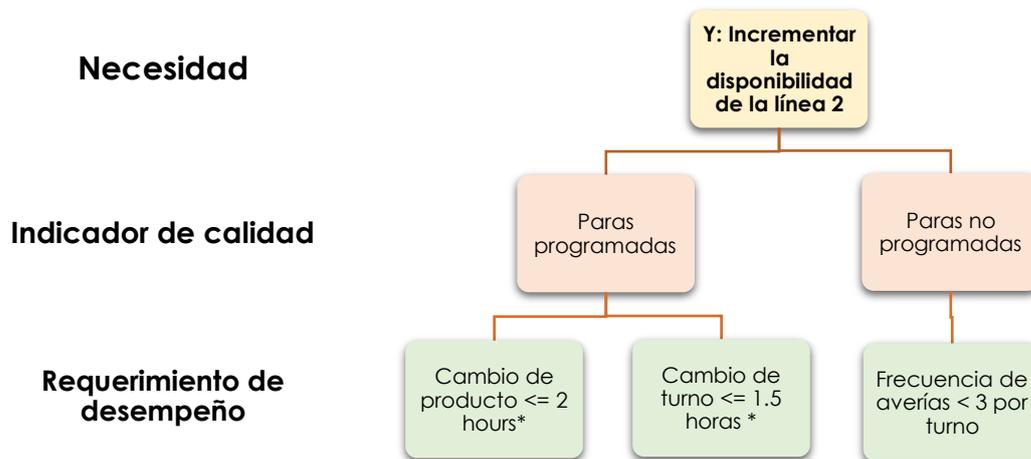
En la figura 2.2 se observa una serie de tiempo de la disponibilidad desde los meses de enero 2018 hasta febrero 2019. Las barras azules representan el tiempo perdido de producción, las barras naranjas el tiempo operativo, por lo tanto, la suma de las dos barras representa el tiempo planificado para producir.

Las líneas punteadas rojas muestran el valor promedio en todos los meses mencionados anterior y finalmente la línea morada es el benchmarking, el cual representa el valor más alto de disponibilidad obtenido en aquellos meses.

Con la información proporcionada por la figura 2.2 se estableció y definió el problema.

**La disponibilidad promedio desde enero 2018 hasta febrero del 2019 en la línea de producción Slitter 2 es del 37,35%, mientras que la empresa espera al menos un 70%.**

Una vez establecido el problema, se realizó el árbol crítico de la calidad para determinar los indicadores de calidad y los requerimientos de desempeño que el cliente desea mejorar.



**Figura 2.3 CTQ Tree**

Fuente: Elaboración propia

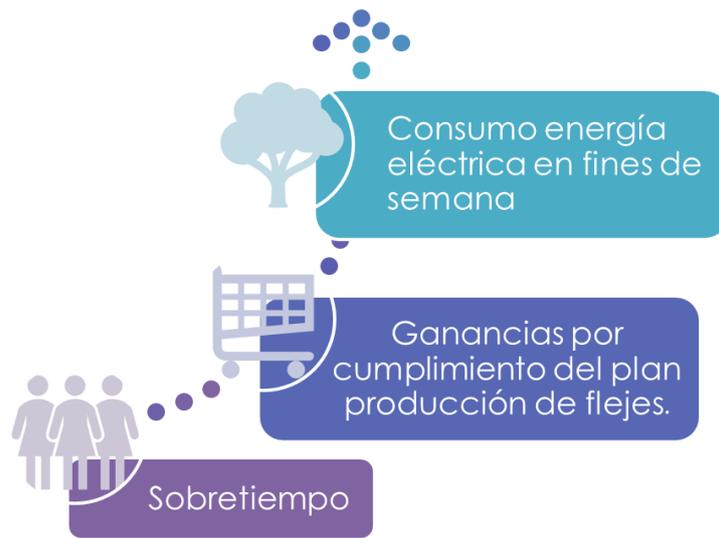
Sonia Cevallos - María Fernanda Mieles

En la figura 2.3 se observa el árbol crítico de la calidad, en el cual se observa la necesidad del cliente de incrementar la disponibilidad de la línea Slitter 2, la cual, en términos generales se ve afectada por las paras programadas y paras no programadas, las mismas que representan los indicadores de calidad.

A su vez fue necesario realizar una sesión para determinar los requerimientos de desempeño que el cliente espera de los indicadores de calidad antes mencionados. El cliente requiere que el cambio de producto sea menor a 2 horas, el cambio de turno sea realizado en un tiempo menor a 1.5 horas y finalmente la frecuencia de averías sea menor a 3 por turno.

En la actualidad, los proyectos no solo deben ser medidos en variables y atributos relacionados directamente a la variable respuesta de este, sino también en variables relacionadas a los pilares de la sostenibilidad, ya que es fundamental que las empresas estén midiendo constantemente el impacto que estas generan en los diferentes pilares para ser sostenibles en el tiempo.

Por lo tanto, en la figura 2.4 se observa el desglose y el árbol crítico de la calidad relacionado a los tres pilares de la sostenibilidad.



**Figura 2.4 CTQ Sostenibilidad**

Fuente: Elaboración propia

Sonia Cevallos - María Fernanda Mieles

Como se puede observar en la figura 2.4 la necesidad de incrementar la disponibilidad afecta directamente a la dimensión ambiental al consumo de energía eléctrica durante los fines de semana, debido a que la falta de disponibilidad del equipo genera que los operadores realicen sobretiempo los fines de semana, lo cual conlleva al consumo de energía eléctrica adicional, por lo tanto, el cliente busca reducir dicho consumo de energía eléctrica en los fines de semana en al menos un 30%.

A su vez, la falta de disponibilidad de la Slitter 2, genera costos adicionales por el sobretiempo y consumo adicional de energía eléctrica, por lo tanto, en la dimensión económica se analizaron los ahorros de los indicadores antes mencionados y a su vez las ganancias que se generaron por el aumento de la disponibilidad de la Slitter.

En cuanto a la dimensión social, como fue mencionado anteriormente, la falta de disponibilidad genera que los operadores del equipo Slitter 2 trabajen los fines de semana, lo cual representa un sobretiempo, por consiguiente, el cliente espera que, al incrementar la disponibilidad, las horas trabajadas por operador disminuyan a una cantidad menor a 48 horas.

El alcance del proyecto representó una parte fundamental dentro de la fase de definición, ya que permitió identificar las etapas del proyecto en las cuales se desarrolló la metodología DMAIC.

**Tabla 2.2 SIPOC**

Fuente: Elaboración propia

Sonia Cevallos - María Fernanda Mieles

S	I	P	O	C
Suppliers	Inputs	Process	Outputs	Customers
Planeación del área commercial Hyper K System	Pronósticos de la demanda	Planificar la producción de product terminado	Programa de producto terminado	Área de conformado de frío
Logística	Puente grúa- Montacargas	Pedir y recibir materia prima en caso de que no haya stock	Orden de materia prima	Línea de producción Slitter
	Stock Disponible	Imprimir cartas de armado	Cartas de armado impresas	
Operadores de la máquina	Cartas de armado	Calibrar	Flejes Paradas no programadas Paradas programadas Scrap	Clientes internos (Planta) Clientes externos (Distribuidores)
	Habilidades humanas	Desbobinador		
	Utilitajes			
Suministros	Herramientas	Cortar y enrollar		
	Puente grúa			
Mantenimiento	Máquinas Velocidad de la máquina	Codificar y posicionar en la ubicación final		

La herramienta SIPOC permitió identificar el alcance del proyecto. Como se puede observar el proceso del Slitter comienza desde el área de planeación comercial junto al sistema Hiper K System, el cual permitirá planificar la producción del producto terminado, que está directamente ligado al plan de producción de flejes, debido a que los flejes son la materia prima de las tuberías y perfiles, el producto terminado.

A partir del programa de producto terminado se realiza un requerimiento de materia prima, en caso de no contar con stock disponible de bobinas para producir flejes. Posterior a la reposición de materia prima, en caso de que haya sido necesario, se realizan las cartas de armado, las cuales, representan el input principal del proceso de Slitter, ya que ellas representan el programa de producción de cada turno.

Las cartas de armado comunican al operador la calibración y como su nombre lo menciona, el armado de los equipos que ellos deben realizar para la producción de flejes. Una vez realizado el armado y la calibración en los equipos comienza el proceso de desbobinado, luego el corte de las bobinas con sus distintos desarrollos pasa por el templador y finalmente es nuevamente enrollado. El proceso final corresponde a la codificación y posicionamiento de los flejes en su ubicación final.

Como se puede observar existe un recuadro segmentado de color rojo, el mismo que representa el alcance del proyecto, es decir que la variable respuesta, disponibilidad, será medida y analizada dentro de las etapas productivas del proceso, que parten desde la realización e impresión de las cartas de armado hasta la codificación y posicionamiento de los de los flejes en su ubicación final.

## **2.2. Medición**

### **2.2.1. Plan de recolección de datos**

El plan de recolección de datos se utilizó para recolectar toda la información necesaria que influye la variable respuesta, en este caso, la disponibilidad.

En la tabla 2.3 se encuentran las variables que afectan directa e indirectamente a la disponibilidad.

**Tabla 2.3 Plan de recolección de datos**

Fuente: Elaboración propia  
Sonia Cevallos - María Fernanda Miele

QUE?		COMO?			DONDE?	QUIEN?	CUANDO?	PORQUE?
QUE?	Unidades	Tipo de dato	Cómo lo mido?	Muestra - Método de recolección	Donde se registra?	Quién registra?	Cuándo se registra?	Por qué se registran los datos?
<b>Disponibilidad</b>	%	Cuantitativo-Continuo	Medir en cada turno el tiempo planificado para producir y registrar la frecuencia y la duración de todas las paradas presentadas durante el turno	Entrevistas / Records históricos / Observación directa N=N	Formato de Excel / Formato de paradas programadas y no programadas	Operadores / Asistente de Producción / Sonia Cevallos - María Fernanda Miele	Diario	Permite medir la variable de respuesta del proyecto.
<b>Tiempo de cambio de producto</b>	Minutos	Cuantitativo-Continuo	Medir en cada turno el tiempo de cambio de producto que incluye el cambio y la calibración de las cuchillas de corte	Observación directa/ Error= 6.55 minutos, n=5	Formato de Excel / Formato de paradas programadas y no programadas	Operadores / Asistente de Producción / Sonia Cevallos - María Fernanda Miele	Diario	Variable crítica que permite medir la variable de respuesta.
<b>Tiempo de cambio de bobina</b>	Minutos	Cuantitativo-Continuo	Medir en cada turno el cambio y calibración de bobina	Observación directa/ Error= 1.65 minutos, n=28	Formato de Excel / Formato de paradas programadas y no programadas	Operadores / Asistente de Producción / Sonia Cevallos - María Fernanda Miele	Diario	Variable crítica que permite medir la variable de respuesta.
<b>Tiempo de cambio de turno</b>	Minutos	Cuantitativo-Continuo	Medir en cada turno el tiempo de configuración que incluye la calibración de las máquinas en cada cambio de turno	Observación directa/ Error= 9.51 minutos, n=5	Formato de cambio de turno	Operadores / Asistente de Producción / Sonia Cevallos - María Fernanda Miele	Diario	Variable crítica que permite medir la variable de respuesta.
<b>Tipos de averías</b>	N/A	Cualitativo	Con los datos históricos proporcionados por la empresa y la observación directa de las averías presentados en el proceso.	Entrevistas / Records históricos	Base de datos de Excel	Operadores / Asistente de Producción / Sonia Cevallos - María Fernanda Miele	Semanal	Permite clasificar y verificar qué tipo de averías tiene el mayor impacto en la variable de respuesta
<b>Tiempo de paras por averías</b>	Minutos	Cuantitativo-Continuo	Medir en cada turno el tiempo de averías que incluye los tiempos de averías mecánica, eléctrica, neumática e hidráulica presentados durante la observación.	Entrevistas / Records históricos / Observación directa N=N	Formato de Excel / Base de datos del tiempo de averías	Operadores / Asistente de Producción / Sonia Cevallos - María Fernanda Miele	Diario	Ayuda a verificar qué tipo de avería tarda más tiempo en corregirse y, por lo tanto, tiene un mayor impacto en la disponibilidad de Slitter's 2
<b>Frecuencia de averías</b>	Números de averías	Cuantitativo-Discreto	Registrar a diario el número de averías por turno.	Entrevistas / Records históricos	Formato de Excel / Base de datos del tiempo de averías	Operadores / Asistente de Producción / Sonia Cevallos - María Fernanda Miele	Diario	Permite medir que avería ocurre con mayor frecuencia
<b>Horas de sobretiempo</b>	Horas	Cuantitativo-Continuo	El reporte de horas extras trabajadas por operador	Entrevistas / Records históricos	Base de datos de Finanzas	Analista de Finanzas	Mensual	Permite medir qué averías ocurre con más frecuencia y afecta la variable de respuesta de los proyectos.
<b>Costo de mano de obra</b>	\$/mes	Cuantitativo-Continuo	Los costos de mano de obra proporcionado por finanzas	Entrevistas / Records históricos	Base de datos de Finanzas	Analista de Finanzas	Mensual	Mide uno de los gastos financieros incurridos por la empresa debido a la baja disponibilidad %
<b>Consumo de energía</b>	KW/H	Cuantitativo-Continuo	Hojas de cálculo del consumo de energía por máquina	Entrevistas / Records históricos	Base de datos de Finanzas	Analista de Finanzas	Mensual	Mide el impacto ambiental en la variable de respuesta.
<b>Horas de ausentismo</b>	Horas	Cuantitativo-Continuo	El reporte de horas hombres trabajadas por operador	Entrevistas / Records históricos	Reportes de Recursos Humanos	Asistente de Recursos Humanos	Mensual	Verificar cómo las horas de ausentismo afectan la variable de respuesta del proyecto.

La fórmula utilizada para obtener el tamaño de muestra necesario de las observaciones de los tiempos de cambio se muestra en la ecuación 2.2. Donde:

$$n = Z_{\alpha}^2 * \left( \frac{\sigma^2}{\delta^2} \right) \quad (2.2)$$

$Z_{\alpha}$  = El nivel de confianza

$\sigma^2$  = La varianza de la muestra tomada previamente

$\delta^2$  = El error absoluto al cuadrado

El error absoluto se obtiene mediante el porcentaje de error por la media de los datos de la muestra.

**Tabla 2.4 Tamaño de muestra**

Fuente: Elaboración propia

Sonia Cevallos - María Fernanda Mieles

	Tiempo de cambio de producto (Armado)	Tiempo de cambio de bobina	Tiempo de cambio de turno
1	95.15	23.14	115.13
2	94.04	17.18	119.55
3	89.53	19.76	121.82
4	-	24.17	-
5	-	17.11	-
6	-	16.14	-
7	-	22.78	-
8	-	24.89	-
<b>Desviación estandar</b>	<b>2.98</b>	<b>3.52</b>	<b>3.40</b>
<b>Varianza</b>	<b>8.86</b>	<b>12.40</b>	<b>11.57</b>
<b>Media</b>	<b>92.91</b>	<b>20.65</b>	<b>118.83</b>
<b>% Error</b>	<b>7%</b>	<b>8%</b>	<b>8%</b>
<b>Z (Nivel de confianza)</b>	<b>1.96</b>	<b>1.96</b>	<b>1.96</b>
<b>Error</b>	<b>6.50</b>	<b>1.65</b>	<b>9.51</b>
<b>N</b>	<b>5</b>	<b>28</b>	<b>5</b>

En la tabla 2.4 se encuentra los parámetros y los datos de cada uno de los tiempos de cambio el tamaño de muestra que se obtuvo.

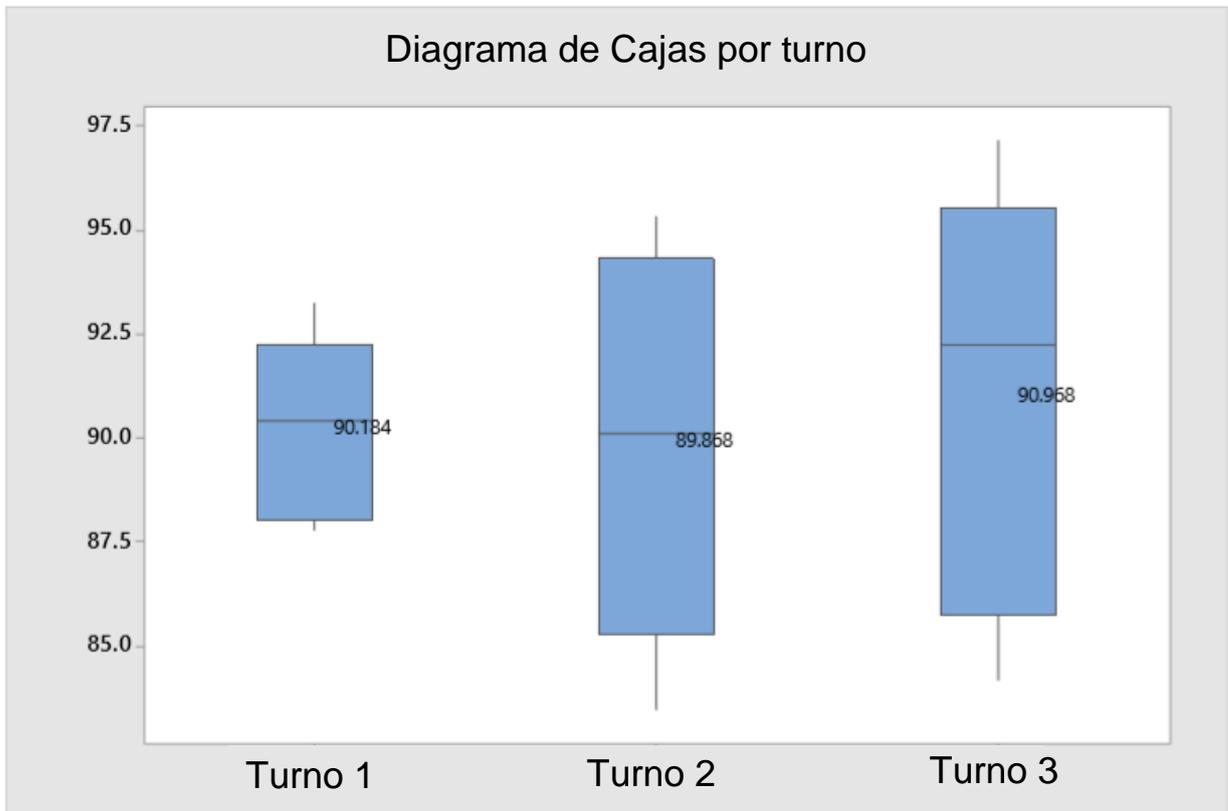
### 2.2.2. Verificación de Datos

En la verificación de datos se procedió a verificar mediante observación directa y un estudio de tiempo las siguientes afirmaciones:

- El tiempo de cambio de producto dura menos de dos horas.
- El tiempo de cambio de turno tiene una duración menor a 1 hora y media.
- Existen algunas paras que son más significativas que otras.

- Las horas promedio de sobretiempo de los colaboradores de la línea es mayor a 8 horas.

Para la primera afirmación se realizó un estudio de tiempos, tomando en consideración el tamaño de muestra  $n=5$  mostrado en el plan de recolección de datos.



**Figura 2.5 Diagrama de cajas de tiempos por turno**

Fuente: Minitab

Como se evidencia en la figura 2.5, ningún turno excede las dos horas para el cambio de un armado a otro. No obstante, la variación observada en los turnos 2 y 3 es mayor.

En la figura 2.5 se muestra que en promedio el turno de la tarde es el que menos tarda en realizar los cambios de armado.

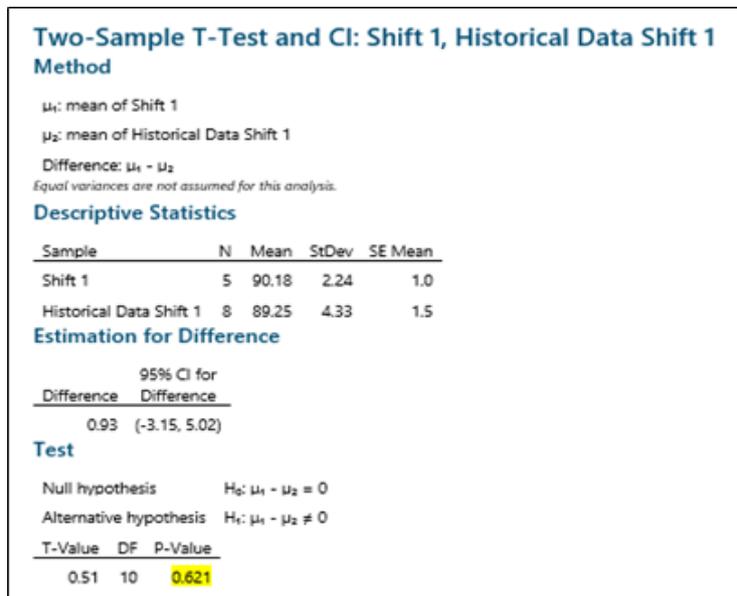
Para validar que un cambio de producto dura efectivamente menos de dos horas, con los tiempos tomados durante el estudio de los tres turnos de trabajo, se procedió a realizar una prueba T-Student de dos muestras. A continuación, se

pueden visualizar los resultados obtenidos en Minitab en la figura 2.6, se consideran las siguientes hipótesis para el análisis estadístico:

*Ho: Cada cambio de armado posee una duración menor a dos horas.*

*Ha: Cada cambio de armado dura más de dos horas.*

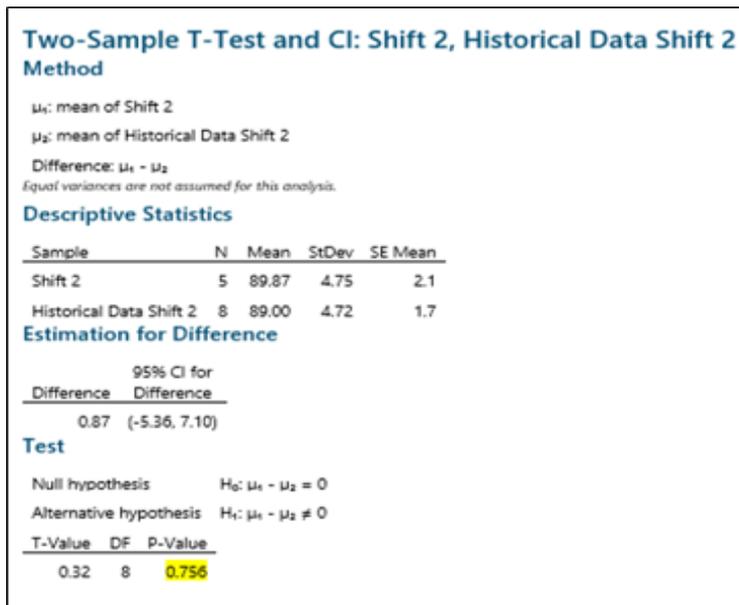
Resultado estadístico con los tiempos del primer turno:



**Figura 2.6 Prueba T primer turno**

Fuente: Minitab

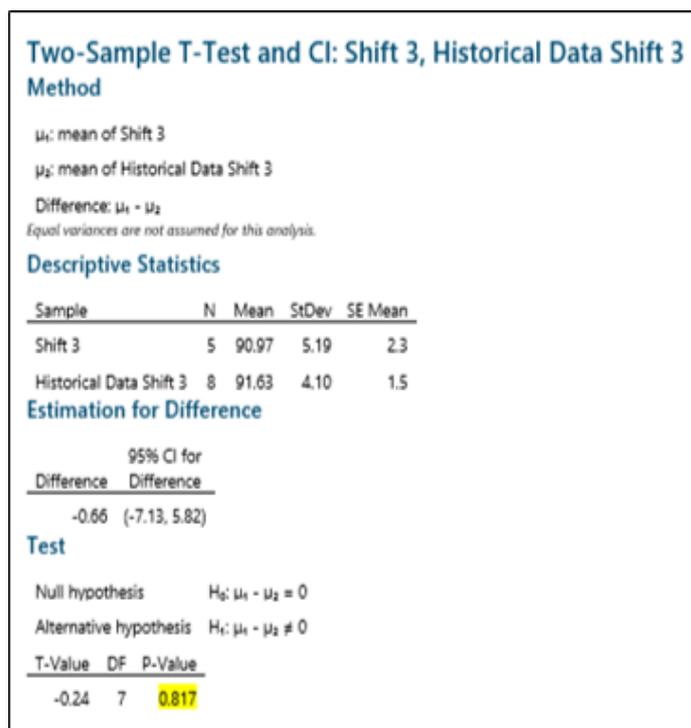
Utilizando un nivel de confianza de 95%, la hipótesis nula no se rechaza dado que el valor p resultó ser de 0.621, es mayor a 0.05. Los resultados del turno 2 se muestra a continuación en la figura 2.7:



**Figura 2.7 Prueba T segundo turno**

Fuente: Minitab

De igual manera al caso estadístico previo, el valor p obtenido (0.756) es mayor al nivel de significancia 0.05, por lo tanto, para esta muestra tampoco se rechaza la hipótesis nula. Finalmente, para el turno tres se obtuvo el siguiente diagnóstico estadístico mostrados en la figura 2.8:



**Figura 2.8 Prueba T tercer turno**

Fuente: Minitab

Igual que en los últimos dos casos analizados, no se rechaza la hipótesis nula previamente planteada, dado que el valor  $p$  obtenido es mayor al nivel de significancia establecido para el análisis.

La segunda verificación que se procedió a ejecutar fue que un cambio de turno tiene una duración de 1 hora y media. En esta verificación se emplearon las siguientes herramientas:

- Observación directa.
- Gemba
- Estudio de tiempos.

Como resultado de esta segunda verificación de datos se obtuvo los tiempos presentados en la tabla

**Tabla 2.5 Cambio de turno**

Fuente: Elaboración propia

Sonia Cevallos - María Fernanda Mieles

Primer Turno	Segundo Turno	Tiempo de cambio de turno
7:00 AM - 3:00 PM	3:00 PM - 10:30 PM	127.35 MIN
3:00 PM - 10:30 PM	10:30 PM - 7:00 AM	130.35 MIN
10:30 PM - 7:00 AM	7:00 AM - 3:00 PM	122.22 MIN

Es posible observar que ninguno de los cambios de turno excede una hora y media. Por ende, se concluyó que el enunciado establecido por el cliente es verídico, los cambios de turno no toman más de 1 hora y media.

Adicional, se validó que existen paradas más significativas que otras. Para ello, se identificaron todas las paradas que estaban involucradas en el proceso.

Las paradas que afectaban la disponibilidad de la línea de producción de la Slitter 2 se pueden clasificar en cinco categorías:

- Cambios
- Mediciones y ajustes
- Fallas
- Organización de línea
- Logística

Los cambios pueden dividirse en: cambio de producto, cambio de turno y cambio de bobina. Las mediciones y ajustes pueden ser por: calibración y ajuste de herramientas y limpieza de la línea. Por otro lado, las fallas en la línea pueden darse por:

- Problemas en el sistema de amortiguación.
- Falla en el acumulador por alambre de soldadura.
- Problemas con el desbobinador.
- Fallas en sistema de aire.
- Problemas en la cortadora.
- Fallas en el sistema de soldadura.
- Fallas en el sistema de rebobinador.
- Problema en rodillos magnéticos.
- Problema con el panel eléctrico.

Organización de la línea pueden ser por ausentismo del personal o por problemas con la materia prima. Finalmente, los tipos de paradas también pueden ser por problemas en la logística como: falta de materia prima, puente grúa ocupado y ausentismo del personal de bodega.

Con los datos registrados por la compañía se procedió a realizar un Diagrama de Pareto para evidenciar cuáles son los tipos de paradas que afecta en mayor proporción a la disponibilidad de la línea de producción sujeta a estudio.



**Figura 2. 9 Pareto de paradas que afectan a la disponibilidad**

Fuente: Elaboración propia

Sonia Cevallos - María Fernanda Mieles

Como resultado de la figura 2.9, se obtuvo que las paradas no programadas que representan un 78% de impacto en el tiempo no disponible de la máquina son:

- Tiempo de cambios
- Tiempo de averías
- Organización de líneas

Por medio de un consenso con la jefatura del departamento, se decidió enfocar el problema a los cambios de armado y las averías, dado que en éstos se han identificado algunas oportunidades de mejoras dependientes del departamento de producción de conformado y de mantenimiento de la empresa.

Por ende, el problema enfocado #1 del proyecto sujeto a estudio queda establecido de la siguiente manera:

“El tiempo de cambio representa el 39% de paradas que afectan directamente la disponibilidad de la línea de producción Slitter 2, desde enero 2018 a mayo 2019, mientras que la compañía espera máximo un 25%”.

El segundo problema enfocado se definió de la siguiente manera:

“El tiempo de averías representa el 26% de paradas que afecta la disponibilidad de la línea de producción Slitter 2, desde enero 2018 hasta mayo 2019, mientras que la compañía espera máximo un 18%”

A continuación, se procede a explicar brevemente el proceso de cambio de la línea para un mejor entendimiento del lector mediante la tabla 2.6:

**Tabla 2.6 Proceso de Slitter**

Fuente: Elaboración propia

Sonia Cevallos - María Fernanda Mieles

Imagen	Proceso	Descripción
	Transportación de la bobina	Se utiliza el puente grúa y coilcar. Se corta la bobina.
	Cambio de armado en la cortadora	Remover acoples, laines y cuchillas de corrida de producción previa. Proceder a formar el armado requerido de acoples, laines y cuchillas.
	Cambios de armado de la sección del templador y rebobinadora	Remover discos y acoples de corrida de producción previa. Proceder a formar el armado de nueva corrida de producción.
	Calibración	Medir y realizar ajustes finales. Calibración final de la cortadora, templador, y rebobinadora.

En la tabla 2.6 se muestra el mapeo general del proceso de la línea Slitter 2, en el cual se puede observar que la línea de producción posee tres secciones como se muestra en la tabla 2.7 :

**Tabla 2.7 Fases del proceso de Slitter**

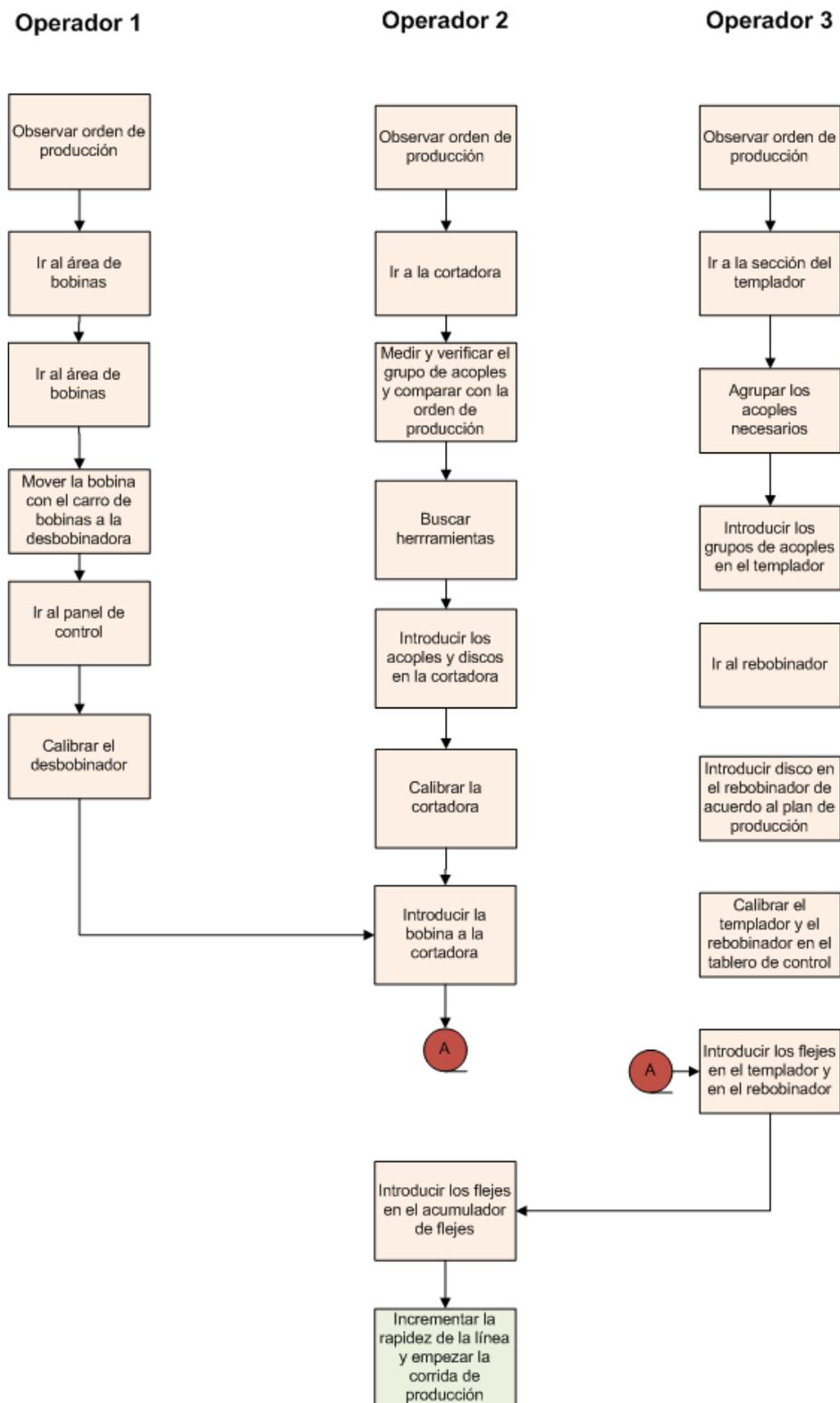
Fuente: Elaboración propia

Sonnia Cevallos - María Fernanda Mieles

Primera Sección	Segunda Sección	Tercera Sección
		
<p>La imagen muestra el centro de control de la sección 1, donde se encuentra el desbobinador.</p>	<p>La imagen muestra el centro de control de la sección 2 (cortadora y templador)</p>	<p>El centro de control de la sección 3, donde se encuentra la rebobinadora.</p>

Una vez el proceso de manera general se procede a detallar el mismo mediante un diagrama de flujo. En este diagrama el lector podrá observar a tres personas protagonistas que interactúan en el proceso, estas son: operador 1, operador 2 y operador 3. Cada persona se encarga de armar y calibrar una de las tres secciones de la línea previamente explicadas, aunque vale la pena mencionar que cada persona en el proceso no tiene definidos sus roles y obligaciones de manera estándar. Por ejemplo, en el turno de la mañana el operador líder puede estar a cargo de armar y calibrar la sección 1, mientras que el operador líder del

siguiente turno se encarga de la sección 3, para este caso se detalló lo observado en dos de los tres turnos, en éstos el operador líder se encarga de la sección 1, el ayudante 1 de la sección 2 y el ayudante 2 de la sección 3. A continuación se muestra el diagrama de flujo del proceso en la figura 2.10:



**Figura 2.10 Diagrama de flujo del proceso de Slitter 2**

Fuente: Elaboración propia

Sonia Cevallos - María Fernanda Mieles

Luego de mapear el proceso detallado de la máquina Slitter 2 se realizó un estudio de tiempo del cual se obtuvo que el tiempo total del proceso de Slitter 2 es de 2 horas con 20 minutos.

Este tiempo previamente mencionado puede ser dividido en el tiempo que agrega valor al proceso y que no agrega valor. Como resultado el tiempo de actividades que agregan valor al proceso fue de 8 minutos con 47 segundos, estas actividades se encuentran en el diagrama de flujo de color verde (AV). Por otro lado, las actividades que no agregan valor al proceso tomar un total de 2 horas 12 minutos con 13 segundos, estas en cambio se encuentran identificadas en el diagrama en color amarillo (NAV).

Del estudio ejecutado se pudo concluir que las actividades que no agregan valor al proceso representan por ende un 94,44%, mientras que las que agregan valor un 5,56%. Lo cual sin lugar a duda es un indicador que existen oportunidades de mejora en el proceso.

En el proceso también fue posible identificar fábricas ocultas, es decir acciones o comportamientos dentro del proceso que no todos los operadores de todos los turnos ejecutan estas fueron:

- Parar la corrida de producción y medir el espesor de los flejes con un calibrador de vernier.
- Colocar cuñas en los extremos del grupo de flejes y coilcar para evitar desbalance y que el producto terminado se caiga.

Dentro del proceso también se evidenciaron numerosos desperdicios. Estos se proceden a explicar en detalle en la siguiente tabla 2.8:

### Tabla 2.8 Desperdicios

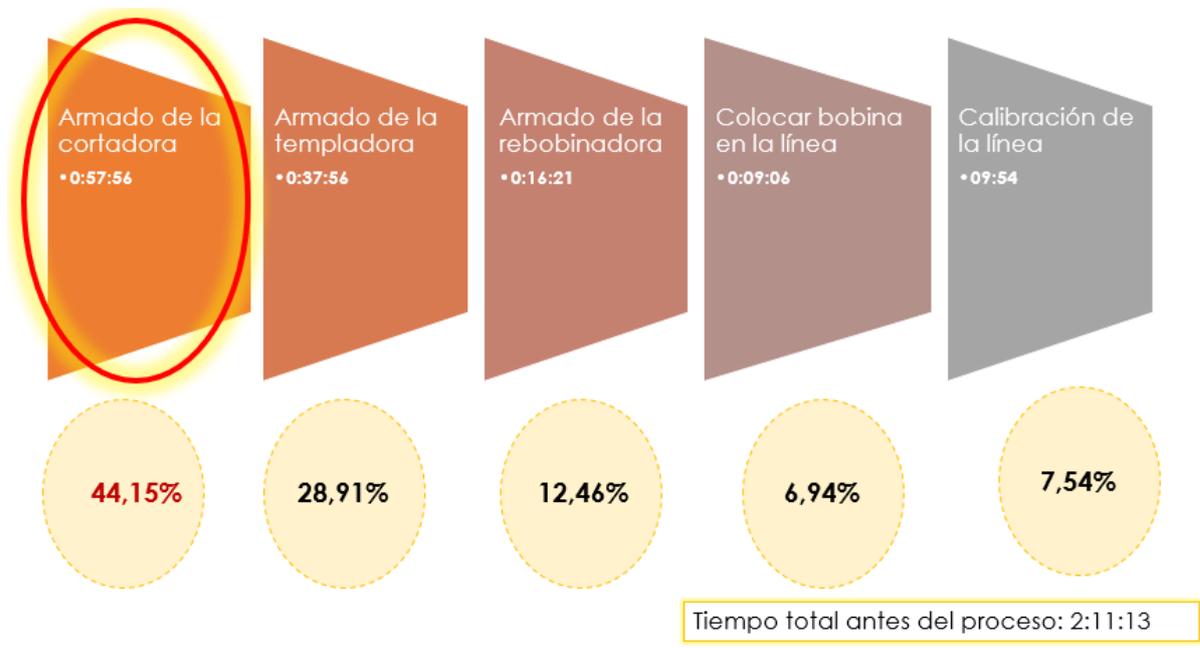
Fuente: Elaboración propia

Sonia Cevallos - María Fernanda Mieles



Retrabajo	Movimiento	Espera	Transporte
Reagrupar grupo de acoples cuando no coinciden con las especificaciones en carta de armado.	Movimientos innecesarios de los ayudantes al buscar herramientas.	Operadores esperan y retrasan el proceso cuando las cartas de armado no están a tiempo.	Traslados innecesarios de equipos de protección personal y herramientas de medición.

Finalmente, dentro del proceso también fue necesario identificar el cuello de botella.



**Figura 2.11 Tiempos de cambio de Slitter 2**

Fuente: Elaboración propia

Sonia Cevallos - María Fernanda Mieles

Como es posible evidenciar en la figura 2.11, el tiempo total que se toman los operadores antes de iniciar la corrida de producción es de 2.18 horas, y de este tiempo el 44,15% es representado por el armado de la sección de la cortadora de la línea. Por ende, el cuello de botella de la línea es la cortadora.

### **2.3. Análisis**

En la siguiente fase de la metodología DMAIC, se realizó la determinación de las causas y el análisis de cada una de ellas, con la participación de un equipo conformado por 7 operadores de la Slitter #2, un técnico mecánico y un técnico eléctrico. Entre las herramientas que se utilizaron para la primera fase de análisis se encuentran la lluvia de ideas y el diagrama de Ishikawa. Posterior a la determinación de causas se realizó la matriz de causa y efecto para priorizar las causas que realmente afectan a las variables y de los problemas enfocados, posterior a lo antes mencionado, se realizó una verificación de cada una de las causas que generen un gran impacto y se tiene un mayor control de ellas en la variable. Finalmente, junto al equipo de trabajo se determinó la causa raíz de las causas potenciales utilizando la herramienta de los 5 por qué.

Los ejercicios antes mencionados, se los ejecutó para dos problemas enfocados:

- Tiempo elevado para cambios. (Específicamente cambios referidos a producto y de turno)
- Fallas que generan paradas del equipo.

#### **Tiempo elevado para cambios**

##### **Lluvia de ideas:**

La herramienta de lluvia de ideas permitió determinar las posibles causas potenciales que generan que el tiempo prolongado de cambio de producto. Luego se procedió a clasificar dichas causas en el Diagrama de Ishikawa considerando las siguientes categorías:

- Entorno
- Administración
- Mano de obra
- Método
- Maquinaria
- Materiales



**Figura 2.12 Diagrama de Ishikawa: Tiempos elevados de cambio**

Fuente: Elaboración propia

Sonia Cevallos - María Fernanda Mieles

En la Figura 2.12 se puede observar la distribución de las causas según las categorías antes mencionadas en el Diagrama de Ishikawa para el primer problema enfocado Tiempo elevados de cambio. Posterior a la realización del Ishikawa se procede a realizar la matriz de causa de efectos.

**Matriz de causa y efecto:**

La metodología de la matriz de causa y efecto permitió identificar aquellas causas potenciales que generan un mayor efecto en la variable respuesta, la cual consiste en calificar cada causa potencial con el valor de 1,3 o 9, donde 1 equivale a que la causa potencial es una situación que no ocurre tan a menudo o que no impacta significativamente a la variable, el valor de 3 corresponde a una causa potencial que ocurre con más recurrencia y que impacta de mayor manera a la variable y, y se otorga el valor de 9 cuando la variable ocurre de manera muy frecuente y es realmente significativa al problema enfocado.

**Tabla 2.9 Matriz causa y efecto de tiempo de cambio**

Fuente: Elaboración propia

Sonia Cevallos - María Fernanda Mieles

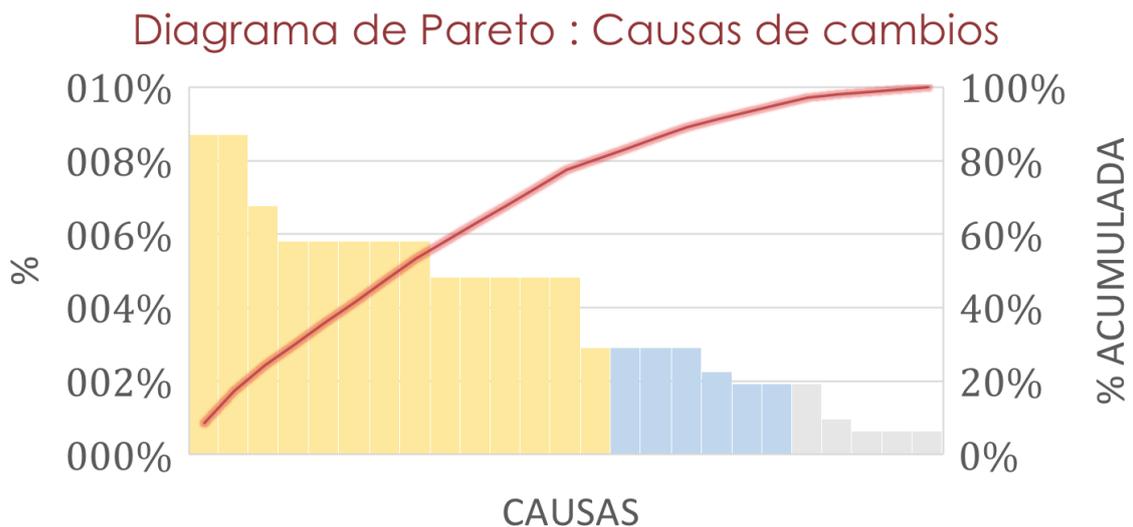
CAUSAS	Tiempo de cambio		TOTAL	
	Y11	Y12		
	Cambio de producto (10)	Cambio de turno (5)		
X1	Falta de herramientas	9		90
X2	Número de flejes por turno	9		90
X3	Ausentismo	3	9	75
X4	Las órdenes de producción no siempre están a tiempo	3	9	75
X5	Cuchillas en mal estado	3		30
X6	Cambios repentinos de armado	9		90
X7	Falta de iluminación	3		30
X8	Falta de cuchillas			0
X9	Falta de limpieza de área	3	9	75
X10	Los operadores no se encuentran a tiempo para los cambios		9	45
X11	Falta de motivación	3	3	45
X12	Daños mecánicos en el cortador	3		30
X13	Daños repentinos		3	15
X14	Los operadores no dejan las bobinas colocadas antes del cambio de turno			0
X15	Se toman mucho tiempo realizando otras tareas.	1		10
X16	Los operadores no dejan armado el cortador de la Slitter	9	9	135
X17	Área desordenada	9	9	135
X18	Espaciadores ajustados	1		10
X19	La disponibilidad del puente grúa	3	9	75
X20	Area con temperature alta	1		10
X21	Ruido excesivo en el área	9	3	105
X22	Empleados con problemas de salud	3	1	35
X23	Falta de materiales	3	3	45
X24	Falta de bobinas	3	3	45
X25	Tiempo empleado en codificar bobinas	9		90
				1385

En la tabla 2.9 se pueden observar las diferentes causas potenciales que se obtuvieron en la lluvia de ideas de la variable respuesta de los tiempos destinado a los dos tipos de cambios en el proceso, y la calificación de 6 evaluadores seleccionados con la metodología previamente mencionada. El cambio de productos recibió una ponderación de 10, dado que es el tiempo que genera un mayor impacto en la variable respuesta analizada en la declaración del problema

del proyecto y a los cambios de turno se le asignó una ponderación de 5, dado a su impacto en la disponibilidad.

Posterior a esa etapa se seleccionó la moda de las calificaciones por cada una de las causas y se multiplicó cada calificación a la ponderación otorgada a los dos tipos de cambios sujetos a análisis.

Una vez seleccionada la moda de todos los evaluadores por cada causa raíz se realizó un diagrama de Pareto para identificar cuáles son las causas que tienen mayor impacto en el tiempo de cambio de armado.



**Figura 2.13 Pareto de causas potenciales de tiempo de cambios**

Fuente: Elaboración propia

Sonnia Cevallos - María Fernanda Mieleles

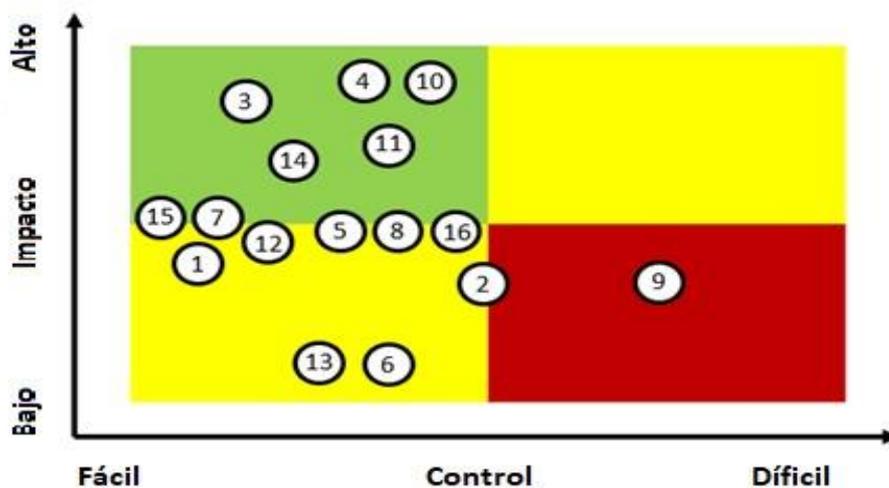
En el diagrama de Pareto (Figura 2.13) se observa que 16 causas potenciales son las más significativas para la variable respuesta. A partir de la información obtenida del Pareto se procede a realizar la matriz de impacto y control.

### **Matriz de Impacto vs Control**

La matriz de impacto vs control permitió identificar aquellas variables que generan un mayor impacto en la variable y a su vez que tengan un mayor grado de control para proceder a la verificación de estas.

Las causas que se analizan en la matriz son las siguientes:

1. El polvo metálico hace que la matricería este sucia
2. Cambios continuos estresan al personal
3. Falta de herramientas
4. Número de flejes por cambio de armado
5. Cuchillas en malas condiciones
6. La media luna del cortador esta desgastado
7. Espaciadores muy ajustados
8. Muchos permisos médicos para el personal
9. Falta de compromiso de los empleados
10. Las órdenes de producción no siempre están a tiempo
11. Cambios repentinos de armado
12. Falta de iluminación en el área
13. Área caliente
14. Falta de empleados en el área de armado
15. Falta de cuchillas y anillos de corte
16. Falta de filtro y cinta



**Figura 2.14 Matriz Impacto vs Control: Causas de tiempo de cambios**

Fuente: Elaboración propia

Sonia Cevallos - María Fernanda Mieles

Una vez realizada la matriz de priorización mostrada en la figura 2.14, se seleccionaron aquellas causas que se encuentran en la sección verde, la cual representa aquellas causas que tienen un nivel de control fácil y además generan un alto impacto en la variable respuesta.

### Plan de verificación de causas

El plan de verificación de causas se utilizó con la finalidad de observar en qué dirección cada una de esas causas potenciales afectan a la variable respuesta (Teoría del impacto), al igual que el tipo de herramientas que se utilizaran para verificar cada una de ellas y el estado de ejecución que se encuentra. A continuación, se muestra el plan de verificación de causas del primer problema enfocado:

**Tabla 2.10 Plan de verificación de causas de tiempo de cambio**

Fuente: Elaboración propia

Sonia Cevallos - María Fernanda Mieles

Causas potenciales Xs	Teoría del impacto	Cómo verificar	Estado
Falta de herramientas	La falta de herramientas genera que los operadores pierdan tiempo buscandolos en todo el área	Observación directa, 5 por qué	Completo
Número de flejes por cambio	El tiempo de cambio incrementa a medida que el número de flejes aumenta	Observación directa, 5 por qué	Completo
Desorden en la línea Slitter 2	El desorden en el área afecta el tiempo dedicado a los cambios	Observación directa, 5 por qué	Completo
Los empleados necesitan realizar otras actividades	Los empleados necesitan tener terminadas otras actividades antes que su turno acabe, por ello se ven forzados para la línea una hora antes de terminar su turno	Observación directa, 5 por qué	Completo
Faltan empleados en el área de armado	Cuando menos de tres empleados ejecutan un armado, el tiempo para calibrar la máquina aumenta	Observación directa, 5 por qué	Completo

### 2.3.1. Verificación de causas

#### X1: Falta de herramientas

Para la falta de herramientas se procedió se realizar un inventario de herramientas. Para ello se hizo un checklist (Figura 2.15) con las herramientas

que debería contar la máquina, para contabilizar si se encuentran completas y si no es así poder identificar cuáles son las que hacen falta.

**ACTA DE ENTREGA**

Por medio del presente el lunes 10 de julio del 2017 se constata la entrega de las siguientes herramientas a la línea de producción **SLITTER - 2.**

A continuación se detalla:

CANTIDAD	HERRAMIENTA	OBSERVACION
1	Destro 1 1/8"	
1	Tijera	
1	Arco de sierra	
1	Llave francesa de 1/2"	
1	Llave de tubo de 1/2"	
1	Llave boca corona de 1 1/2" - 1 1/8" - 1 1/16" - 1 1/2"	
1	Llave boca corona de 7/8" - 13/16" (2) - 15/16" - 1"	
1	Llave boca corona de 22-23-33mm	
1	Llave allen 3/16" - 1/4" - 3/8" - 1/2"	
1	Llave allen 19 mm	
2	Combo de 20 Llaves	
2	Destornilladores	plano - estrella
1	Llave media caña	
1	Escuadra 90°	
2	Careta para soldar	
1	Juego de clips	falta de 10/12
1	Calculadora	

**Figura 2.15 Acta de entrega de herramientas**

Fuente: Registros de la compañía

Sonnia Cevallos - María Fernanda Mieleles

La figura 2.15 muestra un acta de entrega con las herramientas correspondientes a la línea Slitter 2.



**Figura 2.16 Herramientas de Slitter 2**

Fuente: Elaboración propia

Sonnia Cevallos - María Fernanda Mieleles

En la figura 2.16 se observan las herramientas encontradas el día de la inspección de las mismas.

**Tabla 2.11 Inventario de herramientas**

Fuente: Elaboración propia

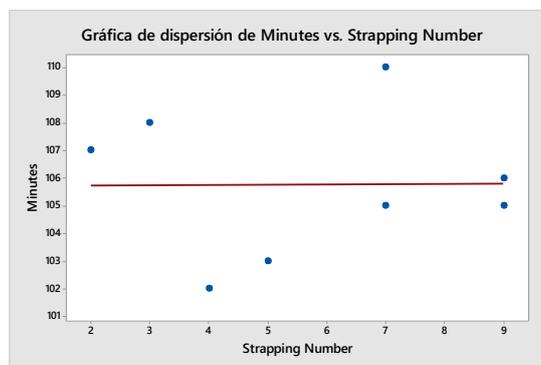
Sonia Cevallos - María Fernanda Mieles

Cantidad	Herramientas	Existe en planta
1	Dado 1 1/8 "	
1	Tijera	X
1	Arco de sierra	X
1	Llave francesa de 42"	
1	Llave de tubo de 42 "	X
1	Llave boca-corona de 1 1/4" - 1 1/8" - 1 1/16 - 1 1/2"	
1	Llave boca-corona de 7/8" - 13/16" (2) - 15/16" - 1"	X
1	Llave boca-corona de 22-23-33mm	
1	Llave allen 3/8" - 1/4" - 9/64" - 1/2"	X
1	Llave allen 19 mm	
2	Combo de 10 Libras	
2	Destornilladores	
1	Lima media caña	X
1	Escuadra 90°	X
2	Careta para soldar	X
1	Juego de dados	
1	Calculadora	X
		47,06%

Del inventario realizado sirvió para verificar esta causa, del cual solo se evidenciaron en la línea el 47,06% de las herramientas que deberían estar a disponibilidad de la máquina.

∴ Se comprueba la existencia de esta causa.

**X2: Número de flejes por cambio.**



**Figura 2.17 Diagrama de dispersión: Número de flejes**

Fuente: Minitab

Para la verificación del número de flejes por cambio, se comprueba estadísticamente que no existe relación alguna entre el tiempo en minutos de cambios y el número de flejes, como se puede observar en la figura adjunta. Por otro lado, dicho análisis también sirve de indicador de que los operadores poseen demasiada holgura en el tiempo que poseen para ejecutar cada cambio de producto.

*∴ No se comprueba la existencia de esta causa.*

### **X3: Desorden en el área.**



**Figura 2.18 Área de Slitter 2**

Fuente: Elaboración propia

Sonia Cevallos - María Fernanda Mieles

La verificación de esta causa fue comprobada mediante observación directa. Definitivamente, no existe una clasificación, orden, rotulación y limpieza de los materiales en el área. Dicho desorden causa que los operadores deban desperdiciar tiempo de producción buscando las herramientas e implementos requeridos en el desorden evidenciado.

*∴ Se comprueba la existencia de esta causa.*

#### **X4: Los operadores necesitan realizar otras actividades.**

Dicha causa también fue verificada mediante observación directa. Dentro de las actividades adicionales se encuentran:

- Limpieza del área.
- Codificación manual del producto final.
- Remover los desperdicios del área.
- Llenar reportes

A continuación, en la Figura 2.19 se muestran algunas evidencias de lo previamente mencionado:



**Figura 2.19 Tareas adicionales del proceso de Slitter 2**

Fuente: Elaboración propia

Sonia Cevallos - María Fernanda Miele

*∴ Se comprueba la existencia de esta causa.*

#### **X5: Faltan empleados en la sección de armado.**

La verificación de esta causa fue mediante la utilización de herramientas estadísticas.

En primera instancia, se ejecutó una prueba de hipótesis para comprobar si efectivamente el número de empleados afectada al tiempo destinado para cambios. Para ello se tomó una muestra de 5 datos, 3 de ellos con el tiempo que tardan tres operadores en realizar un cambio de armado, y los otros 2 restantes

el tiempo que toman solo 2 operadores en máquina en realizar el cambio de armado.

Siendo la hipótesis nula que no existe diferencia entre el tiempo de cambios que realizan 2 y 3 operadores y la hipótesis alterna lo contrario. Con un nivel de confianza estadística del 95%, no se rechaza que existe una diferencia entre el tiempo que toma realizar un cambio de armado entre 3 y 2 operadores, ya que se obtuvo un valor p de 0.704 menor a 0.005.

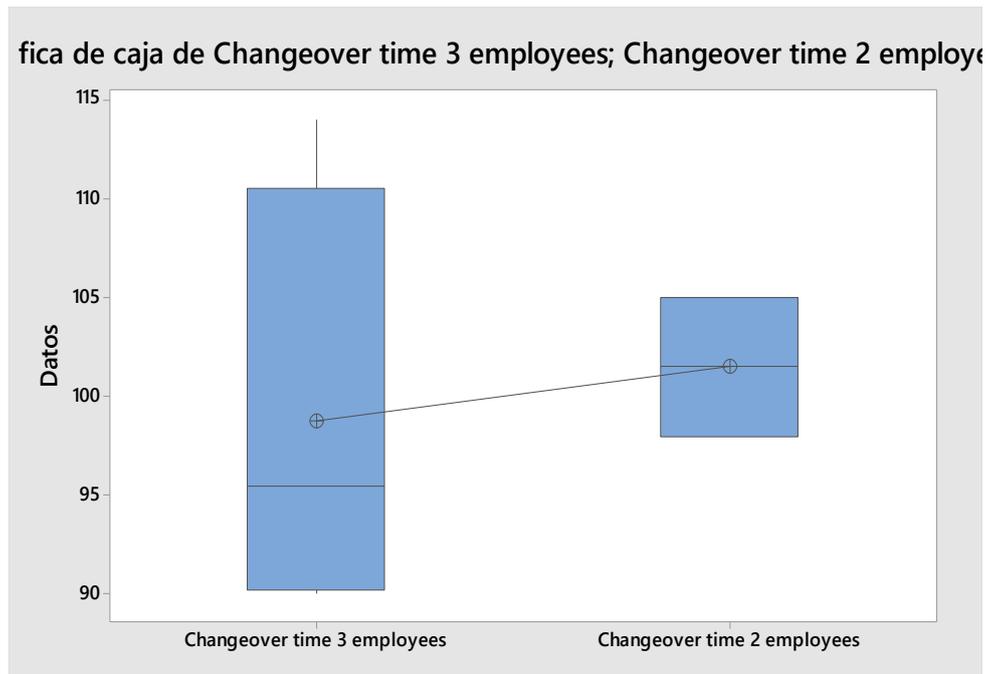
### Prueba

Hipótesis nula  $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$   
 Hipótesis alterna  $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
-0,42	3	0,704

**Figura 2.20 Resultado estudio estadístico de prueba de hipótesis**

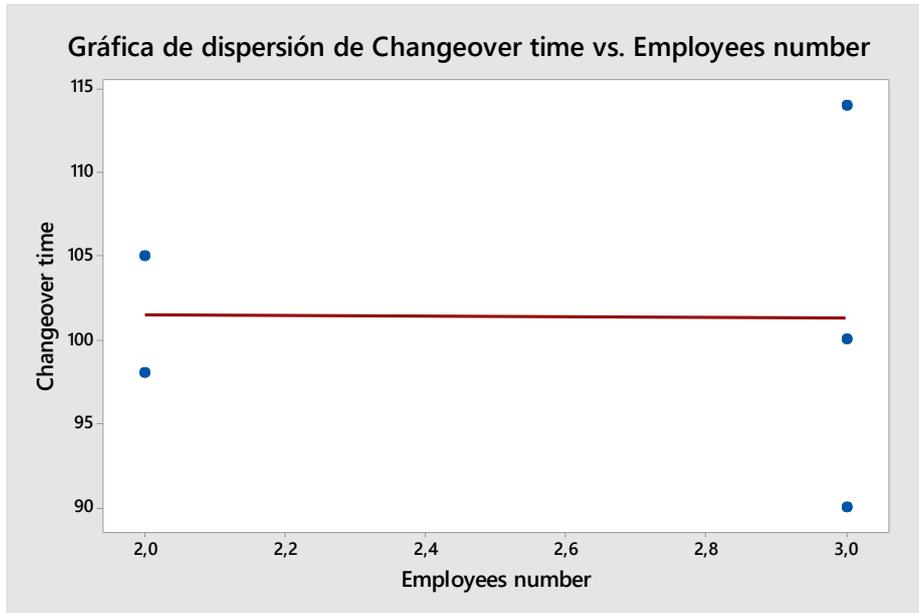
Fuente: Minitab



**Figura 2.21 Diagrama de cajas de tiempo de cambio de producto**

Fuente: Minitab

Como se puede observar en la Figura 2.21, no existe una relación estadística entre el número de trabajadores y el tiempo destinado para cambios de armado.



**Figura 2.22 Diagrama de dispersión de cambio de producto**

Fuente: Minitab

*∴ No se comprueba la existencia de esta causa.*

Una vez ejecutada la verificación de causas, se realizó con el equipo los cinco por qué de las tres causas potenciales, con el objetivo de identificar las causas raíces del problema enfocado sujeto a estudio. En la tabla 2.12 se observan los resultados:

**Tabla 2.12 5 Porqué de tiempos de cambio**

Fuente: Elaboración propia

Sonia Cevallos - María Fernanda Mieles

<b>Causa Potencial</b>	<b>Por qué?</b>	<b>Por qué?</b>	<b>Por qué?</b>	<b>Por qué?</b>	<b>Por qué?</b>
	<b>Ronda 1</b>	<b>Ronda 2</b>	<b>Ronda 3</b>	<b>Ronda 4</b>	<b>Ronda 5</b>
Faltan herramientas en el área	Operadores de otras líneas de producción del área de conformado prestan las herramientas y no siempre las devuelven.	No todas las líneas disponen de las herramientas que necesitan para trabajar.			
Existe desorden en el área	No existe un estándar establecido de qué manera el área debe siempre estar.	No se ha establecido un procedimiento que asegure mantener el área siempre limpia.			
Los operadores necesitan tener finalizadas otras actividades antes que termine su turno.	No se ha establecido un tiempo y frecuencia para ejecutar esas actividades.	Los operadores ejecutan estas actividades basándose en los parámetros de otras máquinas del área.	Los operadores no tienen definidas las actividades que deben realizar antes y durante los cambios.		

Finalmente, como resultado de los cinco por qué se lograron identificar 3 causas raíces mostradas a continuación en la tabla 2.13:

**Tabla 2.13 Causas raíces de tiempos de cambio**

Fuente: Elaboración propia

Sonia Cevallos - María Fernanda Mieles

Causas Potenciales	Causas Raíces
Tiempo prolongado buscando herramientas que hacen falta en la máquina	Las herramientas de la Slitter 2 se encuentran en otras líneas de producción
Desorden en el área	Los operadores no conocen el estado de limpieza ideal de la máquina
Los empleados realizan otras actividades no relacionadas a los cambios	Los operadores no tienen definidas las actividades que ellos deben realizar antes y durante los cambios

### Fallas que generan paradas del equipo

El proceso para obtener las causas potenciales del problema enfocado de las fallas que generas paradas del equipo se realizó con la misma metodología del primer problema enfocado.

La primera parte consistió en realizar la lluvia de ideas y la clasificación del diagrama de Pareto de las causas potenciales.



**Figura 2.23 Diagrama de Ishikawa de paradas por averías**

Fuente: Elaboración propia

Sonia Cevallos - María Fernanda Mieles

A partir de la información del diagrama de Ishikawa observada en la figura 2.23 se realizó la matriz de causa y efecto para determinar las causas potenciales con mayor influencia en la variable respuesta.

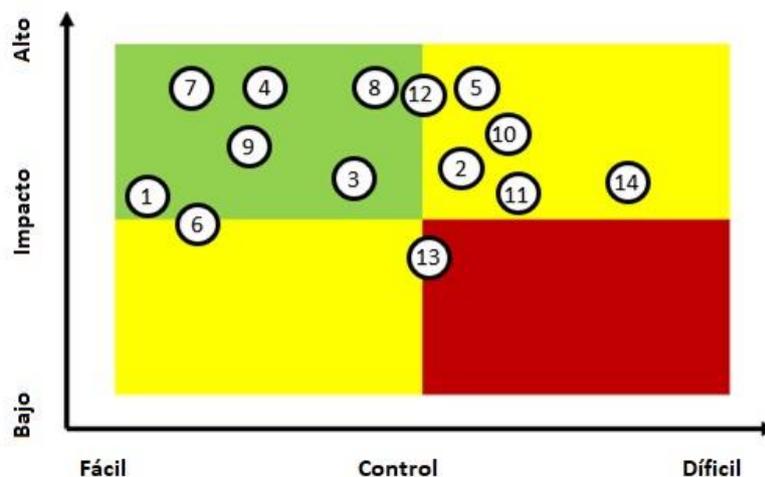
**Tabla 2.14 Causas potenciales de averías**

Fuente: Elaboración propia

Sonia Cevallos - María Fernanda Mieles

2	Falta de limpieza	X2	3	9	9	9	3	9	9	5,08%	5,08%
4	Falta de conocimiento de las operaciones básicas de mantenimiento	X4	1	3	9	9	9	9	9	5,08%	10,17%
5	La sifter 2 esta fuera de estandar	X5	1	1	3	9	9	9	9	5,08%	15,25%
6	Las inspecciones no son efectivas	X6	3	1	9	9	9	9	9	5,08%	20,34%
18	Entrenamientos preventivos atrasados	X18	9	9	9	9	1	9	9	5,08%	25,42%
16	El plan de mantenimiento no está funcionando	X16	9	9	9	9	1	9	9	5,08%	30,51%
12	Los operadores no comunican a tiempo las fallas que observan	X12	3	3	9	9	9	9	9	5,08%	35,59%
20	Falta de conocimiento de los técnicos	X20	3	3	9	9	9	9	9	5,08%	40,68%
23	Los checklists no son llenados al inicio del turno	X23	3	3	9	9	9	9	9	5,08%	45,76%
8	No hay un mecanismo formal para comunicar daños	X8	1	9	9	9	3	3	9	5,08%	50,85%
1	Los operadores realizan malas maniobras	X1	1	9	3	9	3	9	9	5,08%	55,93%
22	Los técnicos no llegan a tiempo	X22	1	9	9	9	9	9	9	5,08%	61,02%
14	Sobreutilización de la capacidad de la máquina	X14	3	9	9	9	9	9	9	5,08%	66,10%
11	Operadores de otras líneas la operan de manera incorrecta	X11	3	9	9	9	3	9	9	5,08%	71,19%
26	No hay comunicación entre operadores y técnicos	X26	3	9	3	9	9	9	9	5,08%	76,27%
15	Respuestas improvisadas en los mantenimientos	X15	3	9	9	9	3	3	3	1,69%	77,97%
21	Aprobación tardía de los respuestas	X21	1	3	3	9	3	9	3	1,69%	79,66%
7	No hay cambio de aceite periódico	X7	9	9	3	3	3	3	3	1,69%	81,36%
19	La central hidráulica se sobrecalienta	X19	9	3	9	3	1	9	9	5,08%	86,44%
10	La máquina es muy vieja	X10	1	9	3	3	3	3	3	1,69%	88,14%
27	Los sensores fallan	X27	3	9	3	3	9	9	3	1,69%	89,83%
13	No hay operadores suficientes en el área de mantenimiento	X13	1	9	3	3	3	3	3	1,69%	91,53%
29	Las bobinas dañan el cortador	X29	3	1	0	9	9	3	3	1,69%	93,22%
3	Los técnicos de mantenimiento tienen otras prioridades	X3	3	3	3	9	9	3	3	1,69%	94,92%
25	Tiempos largos de entrega de los respuestas	X25	3	3	9	3	9	9	3	1,69%	96,61%
28	Falta motivación de los técnicos	X28	3	1	9	3	3	3	3	1,69%	98,31%
9	Falta de herramientas para reparar los daños	X9	1	1	3	1	3	1	1	0,56%	98,87%
24	Falta de capacitación de los operadores	X24	3	3	1	1	1	9	1	0,56%	99,44%
17	Soporte de la administración es bajo	X17	1	3	1	9	1	3	1	0,56%	100,00%

A través del Pareto se seleccionaron las causas potenciales que tienen un impacto del 80% en la variable respuesta y se procedió a realizar la matriz de impacto vs control.



**Figura 2.24 Matriz de Impacto vs Control de causas de las averías**

Fuente: Elaboración propia

Sonia Cevallos - María Fernanda Mieles

En la figura 2.24 se observa que en el primer cuadrante se encuentran cinco causas potenciales, las cuales serán verificadas.

### Plan de verificación de causas

Posterior a la elección de las causas potenciales con mayor impacto y fácil control se realiza el plan de verificación de causas.

**Tabla 2.15 Estado de verificación**

Fuente: Elaboración propia

Sonia Cevallos - María Fernanda Mieles

Causas potenciales Xs	Teoría acerca del impacto	Cómo se verifica?	Estado
Falta de limpieza	La falta de limpieza causa daños en las partes mecánicas y eléctricas a largo y a corto plazo	GEMBA en la línea	Completo
La Slitter 2 está fuera de estándar	La línea fuera de estándar permite que la misma se dañe con más facilidad.	Observación directa	Completo
Los operadores no comunican las fallas que observan a tiempo para prevenir daños mayores	Si los operadores no comunican a tiempo las fallas que encuentran, los técnicos no podrán solucionar el problema.	Observación directa	Completo

### X1: Falta de Limpieza



**Figura 2.25 Falta de limpieza**

Fuente: Elaboración propia

Sonia Cevallos - María Fernanda Mieles

Durante una inspección realizada en la línea de Slitter, se logró evidenciar la falta de limpieza en varias secciones de esta, en la figura 2.25 se observa aceite en el piso donde se encuentran los equipos, telarañas y arañas, desorden y materiales no relacionados a la operación dentro de las máquinas, lo cual, permitió verificar que la falta de limpieza en los equipos si es una causa que genera grandes efectos en la variable respuesta, ya que puede generar deterioro y daño a las partes mecánicas y eléctricas de la línea.

## **X2: La Slitter 2 es fuera de estándar**



**Figura 2.26 Equipos fuera de estándar**

Fuente: Elaboración propia

Sonia Cevallos - María Fernanda Mieles

Mediante una inspección con los operadores de Slitter como se muestra en la figura 2.26, se identificaron varias partes y componentes de equipos con repuestos improvisados o realizados por ellos con herramientas y piezas encontradas en el área. Adicional a dicha información el jefe de mantenimiento

afirmó que varios componentes de la máquina no son originales y han sido adquiridos de otras líneas de la empresa, lo cual origina que la línea se dañe frecuentemente y con mayor facilidad.

### X5: Operadores no comunican fallas que ven para prevenir daños

Orden de trabajo	Descripción	Descripción del equipo	Asignado por	Equipo	Clase	Tipo	Estado OT	Asignado a	Creado por
47688	se ordena de corre			PC-92	E.EC	Correctiva	OT Genera	GUERRERO	GUERRERO
47681	Corrección en vibración de la máquina por el ruido			PC-92	MEC	Correctiva	OT Genera		MORAN
47577	falla 2. reparación de pieza en el motor para reparación			PC-92	MEC	Correctiva	OT Genera		MORAN
47581	falla 2. se cambia pieza de controladora de flujo			PC-92	MEC	Correctiva	OT Genera		MORAN
47585	reparación 2. se repara el cable de control			PC-92	MEC	Correctiva	OT Genera		MORAN
47578	falla 2. Se cambia cable de control de velocidad			PC-92	MEC	Correctiva	OT Genera	MORAN	MORAN
47576	Falla en el arranque de máquina			PC-92	E.EC	Correctiva	OT Genera	BLANCO	GUERRERO

Figura 2.27 Sistema D7

Fuente: Elaboración propia

Sonia Cevallos - María Fernanda Mielles

En la figura 2.27 se observan capturas de pantalla del sistema D7, sistema utilizado para la realización de órdenes de trabajo de los mantenimientos, con el mismo que se pudo evidenciar que los únicos creadores de las ordenes de trabajo son los técnicos de mantenimiento, por consiguiente, los operadores no están comunicando las fallas de los equipos.

### 2.3.2. 5 por qué

Después de verificar que las causas tienen un efecto relevante en la variable y, se utilizó la herramienta de los 5 porque para identificar la causa raíz de cada una de ellas.

**Tabla 2.16 5 Porqué de la fase análisis**

Fuente: Elaboración propia

Sonia Cevallos - María Fernanda Mieles

<b>Causa Potencial</b>	<b>Por qué?</b>	<b>Por qué?</b>	<b>Por qué?</b>	<b>Por qué?</b>	<b>Por qué?</b>
	<b>Ronda 1</b>	<b>Ronda 2</b>	<b>Ronda 3</b>	<b>Ronda 4</b>	<b>Ronda 5</b>
Falta de limpieza	Los operadores limpian el área de manera superficial	Los operadores no conocen cual es la manera correcta o que tan limpia debe quedar el área			
La Slitter está fuera de estándar	Los operadores improvisan con repuestos propios para arreglar daños	Algunos repuestos no se encuentran disponibles a tiempo	No se han identificado las partes críticas de la Slitter 2		
Los operadores no comunican a tiempo las fallas que ellos observan	Los operadores no tienen un medio formal para comunicar las averías que encuentran	La plataforma D7, software de mantenimiento no está habilitado para los operadores			

En la tabla 2.17 se encuentran los resultados de las causas raíces encontradas por cada causa potencial. Finalmente, como resultado de los cinco por qué se lograron identificar las siguientes causas raíces:

**Tabla 2.17 Resultados causas raíces**

Fuente: Elaboración propia

Sonia Cevallos - María Fernanda Mieles

<b>Causas Potenciales</b>	<b>Causas Raíces</b>
Falta de limpieza	Los operadores no conocen el estado de limpieza ideal de la máquina
La Slitter 2 se encuentra fuera de estándar	Las partes críticas de la Slitter 2 no se encuentran identificadas
Los operados no comunican a tiempo los daños que ellos observan	La plataforma D7, software de mantenimiento, no ha sido habilitado para los operadores.

# CAPÍTULO 3

## 3. Resultados y Análisis de Soluciones

### 3.1. Implementación y Control

Para el primer problema enfocado: Tiempo empleado para cambios se seleccionaron las siguientes cuatro soluciones.

- 1.- Organizar y limpiar el armario de herramientas y equipos de protección personal.
- 2.- Establecer estándares de limpieza en el área de la línea Slitter 2.
- 3.- Modificar horarios y distribución de tareas.
- 4.- Metodología SMED para reducir y estandarizar el tiempo destinado para cambios en la línea Slitter 2.

Para llevar a cabo la primera solución fue necesario programar un día de limpieza profunda a la línea, en donde participaron todo el personal operativo, administrativo y la gerencia de la compañía. La primera actividad planificada fue la selección de todos los materiales innecesarios dentro de este armario cuya funcionalidad es solo poseer herramientas y equipos de protección personal. En la siguiente imagen es posible para el lector evidenciar todos los objetos innecesarios retirados del armario.



**Figura 3.1 Selección de materiales necesarios e innecesarios**

Fuente: Elaboración propia

Sonia Cevallos - María Fernanda Mieles

Una vez separados los objetos necesarios de los innecesarios, se procedió a organizar y limpiar todas las herramientas pertenecientes a la máquina.

Los beneficios de tener las herramientas organizadas son:

- Los operadores ahorran tiempo buscando herramientas.
- Conlleva a tener un mayor control de las herramientas.

El ahorro de tiempo en búsqueda de herramientas puede ser traducido en dinero para la compañía. Actualmente, los operadores de la línea sujeta a estudio desperdician en promedio 16 minutos durante los cambios de armado de producto buscando herramientas en otras líneas del área. Conociendo que la frecuencia de cambios por día es 6 veces, el tiempo perdido promedio por movimientos innecesario en cada cambio de armado por día equivale a: 1.6 horas (96 minutos). Partiendo que la solución implementada reduce el tiempo desperdiciado buscando herramientas en un 70% (dado que los operadores deberán continuar recorriendo la distancia del armario a la máquina, es decir la solución elimina únicamente el tiempo de búsqueda de las herramientas, mas no el de recorrido) se obtiene que el 70% de 1.6 horas es 1.12 horas. Estas 1.12 horas ganadas de producción representan económicamente \$11,200.00 en cada cambio de armado.

$$\text{Beneficio económico Solución 1} = 1.12 \text{ hr} \times \frac{1 \text{ TON}}{0.048 \text{ hr}} \times \frac{\$500}{1 \text{ TON}} = \$11,666.67$$

La segunda solución llevada a cabo fue el levantamiento de estándares de limpieza para los 9 equipos de la máquina Slitter 2. Dichos estándares fueron levantados en el día programado de limpieza profunda de la máquina, en donde se enfocó al personal en que cada parte de la máquina deberá quedar en su estado de limpieza óptimo y lo importante de utilizar la limpieza de cada parte para identificar condiciones fuera de control y áreas para mejorar posteriormente.

En primera instancia se reunió a todo el personal para capacitarlos, explicarles el propósito de la actividad programada y los roles y responsabilidades de cada uno de los involucrados.

Una vez realizada la capacitación, se ejecutó la actividad programada con éxito, cada participante desempeñó cada rol eficientemente y fue posible a su vez detectar una fuente de contaminación en la sección del enrollador de flejes, la cual fue inmediatamente eliminada gracias al soporte inmediato del equipo de mantenimiento de la compañía.



**Figura 3.2 Fuente de contaminación detectada**

Fuente: Elaboración propia

Sonnia Cevallos - María Fernanda Mieles

Una vez culminado el programa de limpieza profunda para cada sección de la máquina se procedió a tomar fotografías y elaborar los estándares de limpieza de los 9 equipos de la Slitter 2. El propósito de realizar dichos estándares es diseñar un esquema visual de cómo debe permanecer el área y cuál es el procedimiento por seguir para que la sección de la máquina llegue a estar de la manera que siempre debe estar, así como designar, documentar y publicar quienes serán responsables de que cada sección de la línea permanezca siempre en óptimas condiciones.

## ESTÁNDAR DE LIMPIEZA 002 - CENTRALES HIDRÁULICAS



### PROCESO PARA APLICAR LIMPIEZA GENERAL

<b>Bloqueo necesario</b>	NO	<b>EPI's, EPP's necesarios</b>	Guantes de cuero, botas con punta de acero, casco, gafas, y orejeras	
		<b>Herramientas</b>	Trapo, escoba, recogedor de basura	
TAREA		PROCEDIMIENTO		FRECUENCIA
Limpieza general del equipo		Realice la limpieza del equipo, retire todo material extraño, el equipo debe quedar libre de polvo		<b>Diaria</b>

### PROCESO PARA APLICAR LIMPIEZA PROFUNDA

<b>Bloqueo necesario</b>	SI	<b>EPI's, EPP's necesarios</b>	Guantes de cuero, botas con punta de acero, casco, gafas, y orejeras
		<b>Herramientas</b>	Trapo, escoba, recogedor de basura, aceite hidráulico de acuerdo a carta de lubricación

TAREA	PROCEDIMIENTO	HERRAMIENTAS	FRECUENCIA
<b>Bloqueo del equipo</b>	De acuerdo a procedimiento de bloqueo	N/A	<b>Siempre</b>
<b>1. Revisión de estado de mangueras, manómetros y acoples del sistema hidráulico</b>	Revise todos los acoples, mangueras, válvulas, si encuentra alguna fuga o anomalía reporte para la reparación inmediata	N/A	<b>Diaria</b>
<b>2. Limpieza del radiador</b>	Con aire comprimido realice la limpieza del radiador de la central hidráulica	N/A	<b>Semanal</b>
<b>3. Revisión de nivel de aceite</b>	Limpie los visores de nivel de aceite, si el nivel está por debajo del visor superior complete el aceite y reporte la anomalía	N/A	<b>Semanal</b>
<b>4. Desbloqueo del equipo</b>	De acuerdo al procedimiento de bloqueo	N/A	<b>Semanal</b>
<b>Responsables:</b>	Operador líder y ayudante de línea		

**Figura 3.3 Modelo de estándar de limpieza**

Fuente: Elaboración propia

Sonnia Cevallos - María Fernanda Mieles

El control que se llevará para el cumplimiento de los estándares de limpieza es el siguiente tablero:



La tercera solución establecida fue modificar los horarios y distribución de las tareas. Dentro de las observaciones realizadas en las primeras etapas del proyecto se identificó la siguiente situación actual:

**Tabla 3.1 Situación previa en tareas**

Fuente: Elaboración propia

Sonia Cevallos - María Fernanda Mieleles

<b>Tiempos desperdiciados identificados</b>				
<b>Actividades</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Total (Min)</b>	<b>Total (Horas)</b>
Tiempo en alimentación	30	3	90	1,5
Cambio de turno	90	3	270	4,5
Cambio de armado de producto	90	6	540	9
			<b>900</b>	<b>15</b>

Estos tiempos pudieron ser ajustados con una distribución más adecuada de las tareas. Como en el caso del tiempo en alimentación, no se debe parar las corridas de producción y que todo el personal tome en conjunto los 30 minutos, la hora de destinada para alimentación debe turnarse entre el personal operativo y la producción debe continuar. Por otro lado, los cambios de turno pueden durar media hora siguiendo un estándar de actividades claves durante estos cambios cumpliendo tiempos establecidos para cada una, previamente los operadores paraban la producción una hora después para ejecutar tareas previas al cambio, de ahora en adelante dichas tareas serán desarrolladas de manera externa y finalmente con la metodología SMED se reduce el tiempo de cambio de armado de producto de 90 minutos a 50 minutos. Lo mencionado conlleva a tener el siguiente horario y distribución de tareas:

**Tabla 3.2 Cambio en la distribución de tareas**

Fuente: Elaboración propia

Sonia Cevallos - María Fernanda Mieleles

<b>Cambios en la distribución de tareas</b>				
<b>Actividades</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Total</b>	<b>Total (Horas)</b>
Tiempo en alimentación	0	3	0	0
Cambio de turno	30	3	90	1,5
Cambio de armado de producto	55	6	330	5,5
			<b>420</b>	<b>7</b>

El control de esta solución es llevar un registro de tiempos de las actividades externas que se realizan previo a los cambios de turno y armado.

Finalmente, la solución que genera un mayor impacto en la disponibilidad de la línea y que conllevó a obtener beneficios económicos a la compañía es la metodología SMED, cuya finalidad fue reducir y estandarizar el tiempo destinado para cambios en la línea Slitter 2. En el desarrollo de la metodología SMED en primera instancia se procedió a realizar observaciones y mediciones de cada una de las actividades ejecutadas durante los cambios de armado de producto y también se las identificó y separó como actividades internas y externas como se muestra en la tabla 3.3.

**Tabla 3.3 Primera fase del SMED**

Fuente: Elaboración propia

Sonia Cevallos - María Fernanda Mieles

Responsable	Actividad	Actividad	Tiempo promedio (min)
Operador 1	1.-RETIRAR REBORDES DE LA CAJA DE REBORDES Y SACARLOS DEL ÁREA	Interna	7
	2.-RETIRAR ESPACIADORES, CUCHILLAS Y LAINAS DE LA CORTADORA Y CLASIFICAR EN SU RESPECTIVO LUGAR	Interna	11,32
	3.-MEDIR, COLOCAR ESPACIADORES, CUCHILLAS Y LAINAS EN LA CORTADORA	Interna	37,18
	4.-CALIBRAR CUCHILLAS DE CORTADORA	Interna	5,18
	5.-PASAR BOBINA POR LINEA	Interna	9,54
	6.-TERMINA DE PASAR BOBINA	Interna	7,49
	<b>Total</b>		<b>77,71</b>
Operador 2	7.-PREPARAR FLEJES PARA EVACUACIÓN	Interna	12,1
	8.-RETIRAR ESPACIADORES Y DISCO SEPARADOR DEL BRAZO GUIA DEL ENROLLADOR	Interna	5,3
	9.-MEDIR, SEPARAR Y AGRUPAR SEPARADORES Y DISCOS SEPARADORES DEL BRAZO GUIA DEL ENROLLADOR	Interna	9,11
	10.- COLOCAR SEPARADORES Y DISCOS DEL BRAZO GUIA DEL ENROLLADOR	Interna	7,1
	11.-RETIRAR ESPACIADORES Y DISCO SEPARADOR DEL BRAZO GUIA DEL PASO DE FLEJE	Interna	9,47
	12.-MEDIR, SEPARAR Y AGRUPAR SEPARADORES Y DISCOS SEPARADORES PARA COLOCARSE EN EL BRAZO GUIA DEL PASO DE FLEJES	Interna	23,36
	13.- COLOCAR SEPARADORES Y DISCOS EN EL BARZO GUIA DEL PASO DE FLEJES	Interna	14,2
	<b>Total</b>		<b>80,64</b>
Operador 3	14.-CODIFICAR FLEJES	Interna	15,49
	15.-EVACUAR FLEJES	Externa	3,15
	16.- TRANSPORTAR BOBINA AL COILCAR	Interna	19,49
	17.-DESEMBALAR Y CARGAR BOBINA DE MESA EN DESBOBINADOR	Interna	4,15
	18.-PREPARAR MESA PARA COLARCAR LA SIGUIENTE BOBINA	Interna	3,51
	17.-DESEMBALAR BOBINA	Interna	1,58
	18.-COLOCAR BOBINA EN MESA	Interna	0,58
<b>Total</b>		<b>51,88</b>	

Una vez identificadas las actividades internas y externas con sus respectivos tiempos se obtuvo el siguiente análisis:

Un cambio de armado dura 210,23 minutos de los cuales 203,15 minutos son de actividades internas y 7,08 minutos de actividades externas lo cual define que la situación actual del proceso es que el 96,63% del tiempo es utilizado para

desarrollar actividades internas y 3,37% del tiempo es utilizado para actividades externas.

Posteriormente se procedió a clasificar las actividades que pueden pasar de ser actividades internas a externas. Estas fueron:

**Tabla 3.4 Segunda fase del SMED**

Fuente: Elaboración propia

Sonia Cevallos - María Fernanda Mieleles

Actividades internas a externas	Tiempo (Minutos)
Remover espaciadores, cuchillas y lainas de la cortadora y clasificarla en su respectivo lugar	11.32
Colocar espaciadores, cuchillas y lainas en la cortadora	46.24
Buscar herramientas para cambio	15.21
Codificar manualmente las bobinas	15.49
Transportar bobina al coilcar	19.49
Preparar bobinas	1.58

El resultado de este traspaso identificado es que de los 210,23 minutos utilizado en los cambios de armado de producto 109,9 minutos son utilizados para ejecutar actividades internas y 109,33 minutos para actividades externas. Lo cual se traduce que con la implementación del SMED el 48,00% de actividades son internas y 52,00% son externas.

Una vez establecidas las dos primeras fases de la metodología, se procedió a socializar la metodología con el equipo de operadores, como es posible en la siguiente Figura 3.6:

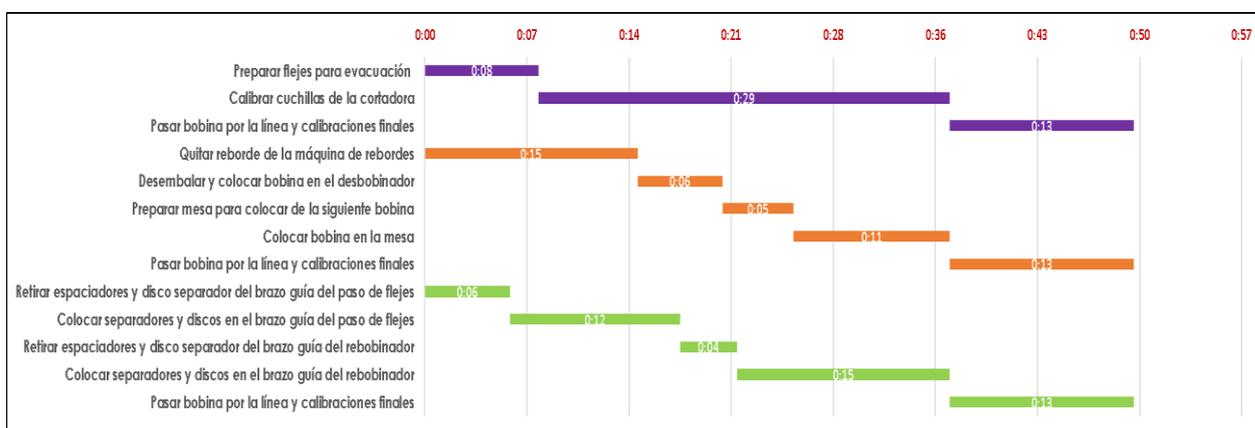


**Figura 3.6 Difusión del SMED con el equipo**

Fuente: Elaboración propia

Sonia Cevallos - María Fernanda Mieleles

El resultado de la metodología SMED fue reducir el tiempo de cambio de armado a 50 minutos. Una vez verificado el éxito del SMED, se procedió a estandarizar el proceso mediante un GANTT mostrado en la figura 3.7 y postear el mismo en máquina.



**Figura 3.7 Diagrama de GANTT del SMED**

Fuente: Elaboración propia

Sonnia Cevallos - María Fernanda Mieles

El control de esta solución está a cargo de un operador, el cual deberá cada dos veces por semana validar el cumplimiento del SMED y tomar tiempos de actividades internas y externas, las cuales serán posteadas en máquina para compararlas entre turnos.

Para el segundo problema enfocado la solución fue desarrollar una herramienta para dar seguimiento y observar la frecuencia de daños de la línea Slitter 2. Esta herramienta permite ingresar el registro de averías, dicho ingreso se guarda en una base de datos mediante Macros de Excel. Dicha base de datos se encuentra directamente conectada a un dashboard. En este dashboard es posible observar todas las averías de todos los equipos en función al tipo de mantenimiento que se le debe dar y el estado de este, que puede ser abierto, cerrado o vencido. Este dashboard ayudará a llevar un registro formal de las averías de la máquina y mejorará significativamente la comunicación entre el departamento de producción y mantenimiento. A continuación, se explica a detalle la herramienta que se desarrolló:

En la Figura 3.8 se muestra el diseño del dashboard:

TOTAL SLITTER 2					
RATING	CERRADO	ABIERTO	VENCIDO	TOTAL	% DE CIERRE
PREVENTIVO	0	0	0	0	0%
CORRECTIVO INMEDIATO	0	2	2	2	0%
CORRECTIVO PLANIFICADO	0	0	0	0	0%
<b>TOTAL</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0%</b>
	CERRADO	ABIERTO	VENCIDO	TOTAL	% CIERRE
Mecánico	0	0	0	0	0%
Eléctrico	0	2	2	2	0%
Hidráulico	0	0	0	0	0%
Neumático	0	0	0	0	0%
Matrickería	0	0	0	0	0%
<b>TOTAL</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0%</b>
NOTIFICACION	CERRADO	ABIERTO	VENCIDO	TOTAL	% DE CIERRE
TPM	0	1	1	1	0%
Inspección de Mantenimiento	0	1	1	1	0%
Reporte de producción	0	0	0	0	0%
Otros	0	0	0	0	0%
<b>TOTAL</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0%</b>

**Figura 3.8 Diseño de la herramienta**

Fuente: Elaboración propia

Sonia Cevallos - María Fernanda Mieleles

Para mantener el Dashboard sostenible en el tiempo se establecieron llevar tres tipos de controles. El primer control es tener reuniones semanales para revisar lo presentado en el dashboard, además se llevará un registro del comportamiento mensual de dos indicadores claves de rendimiento: Porcentaje de Disponibilidad y Frecuencia de Averías, y este comportamiento será analizado en las reuniones de jefatura de la compañía.

## 3.2. Resultados

### 3.2.1. Resultados CTQ

**Tabla 3. 5 Resultados CTQ**

Fuente: Elaboración propia

Sonia Cevallos - María Fernanda Mieleles

CTQ	Situación previa	Situación actual
Cambio de producto	90 minutos	50 minutos
Cambio de turno	90 minutos	30 minutos
Averías	60%	<60 %

### 3.2.2. Resultados CTQ Sostenibilidad

**Tabla 3.6 Resultados CTQ Sostenibilidad**

Fuente: Elaboración propia

Sonia Cevallos - María Fernanda Mieles

CTQ SOSTENIBILIDAD	Reducción a	Ahorro mensual
Sobretiempo fines de semana	0.00%	\$1,532.05
Consumo de energía los fines de semana	0.00%	\$230.01

Es decir, la compañía incurría un costo mensual por no cumplir el plan de producción de \$1,762.06, por lo tanto, con la mejora propuesta la compañía logra reducir sus costos y ahorrar \$21,144.71 al año.

El sobretiempo y consumos de energía se reduce al 0.00% ya que con la disponibilidad alcanzada la demanda de toneladas promedio de la línea (4000 Toneladas) se puede lograr terminar de lunes a viernes.

### Beneficios económicos del SMED

**Tabla 3.7 Beneficios económicos del SMED**

Fuente: Elaboración propia

Sonia Cevallos - María Fernanda Mieles

Situación	Tiempo de cambios (minutos)	
Antes	90	
Después	50	
Minutos ganados en producción por cambio		40 minutos=0.67 horas
TON /hr		21,28
Precio de la Tonelada de flejes de acero		\$500
Toneladas que pueden producirse en las horas ganadas de producción		14,26
Beneficio económico por cambio		<b>\$ 7,130</b>

Analizando los resultados obtenidos directamente en la variable respuesta sujeta a análisis, se pudo incrementar con las soluciones previamente explicadas el porcentaje de disponibilidad promedio de la línea Slitter 2 de 37,35% a 61,73%, lo cual comprueba el cumplimiento del objetivo general del proyecto.

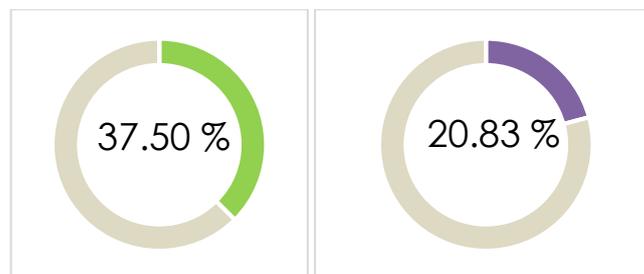


**Figura 3.9 Resultados en la disponibilidad**

Fuente: Elaboración propia

Sonia Cevallos - María Fernanda Mieles

En los cambios de productos se logró conseguir el siguiente resultado. En las primeras fases del proyecto los cambios de producto generaban un impacto negativo en tiempo de paradas a la disponibilidad del 37,50%. Con los cambios de la máquina estos cambios actualmente afectan en un 20,83%.



**Figura 3.10 Resultados de cambio de producto**

Fuente: Elaboración propia

Sonia Cevallos - María Fernanda Mieles

En los cambios de turnos se logró conseguir el siguiente resultado mostrado en figura 3.11. En las primeras fases del proyecto, los cambios de turno generaban un impacto negativo en tiempo de paradas a la disponibilidad del 18,75%. Con los cambios de la máquina estos cambios actualmente afectan en un 6,25% en la variable respuesta.

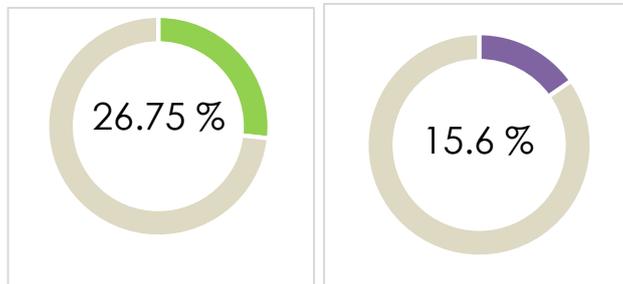


**Figura 3.11 Resultados de cambio de turno**

Fuente: Elaboración propia

Sonia Cevallos - María Fernanda Mieles

Finalmente en averías, con el sostenibilidad de las soluciones y el cumplimiento esticto de los controles sugeridos a la compañía se logrará conseguir a largo plazo que las averías afecten a la disponibilidad en un 15.6%



**Figura 3.12 Resultados de averías**

Fuente: Elaboración propia

Sonia Cevallos- María Fernanda Mieles

# CAPÍTULO 4

## 4.1. Conclusiones

- Se evidenció que las causas que más afectan a la disponibilidad de la máquina son los cambios de armado de producto y las averías.
- Mediante la metodología SMED se redujo el tiempo de cambio de armado de producto a 50 minutos.
- Mantener los controles sugeridos en cada solución permitirá que la máquina mantenga una disponibilidad del 61%.
- La implementación de las soluciones permite a la compañía ganar 4 horas de producción por cambio, lo cual en cantidad monetario se traduce a una ganancia de \$7,130.
- El cambio de producto afectaba previamente la disponibilidad en un 31,50%, una vez implementadas las soluciones fue posible reducir ese porcentaje a 20,83%.
- Los cambios de turno afectaban la disponibilidad en un 18,75%, con las soluciones el impacto en la disponibilidad será de tan solo 6,25%.
- Las soluciones implementadas también contribuyen a que el plan de producción pueda ser completado en el tiempo establecido, por lo cual el sobretiempo de trabajo por fines de semana y el consumo de energía se reduce a 0%, lo cual representa una ganancia para la compañía de \$21,144.72 al año.
- El proyecto se desarrollaron herramientas de comunicación y monitoreo de los indicadores claves de rendimiento tanto para el departamento de producción y mantenimiento.
- La metodología DMAIC permitió identificar los problemas que afectan la disponibilidad de la máquina SLITTER 2 y las soluciones para atacar las causas raíces de los problemas enfocados.

## **4.2 Recomendaciones**

- Cumplir y llevar el control debido de todas las soluciones establecidas, ya que los mismos permiten prevenir y detectar anomalías.
- Se sugiere a la organización evaluar la factibilidad de incorporar en el proceso de producción de la Slitter 2 un brazo secundario tanto en el templado como en el rebobinador, para así ganar más minutos de producción en los cambios de armado de producto.

# BIBLIOGRAFÍA

Antony, J., Singh Bhuller, A., Kumar, M., Mendibil, K., & Montgomery, D. C. (2012). Application of Six Sigma DMAIC methodology in a transactional environment. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 29(1), 31-53.

Benjamin, S. J., Marathamuthu, M. S., & Murugaiah, U. (2015). The use of 5-WHYs technique to eliminate OEE's speed loss in a manufacturing firm. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 21(4), 419-435.

Chapman, C. D. (2005). Clean house with lean 5S. *Quality progress*, 38(6), 27-32.

Correa, F. G. (2007). Manufactura esbelta (lean manufacturing). Principales herramientas. *Revista Raites*, 1(2), 85-112.

Costa, E. S. M. D., Sousa, R. M., Bragança, S., & Alves, A. C. (2013). An industrial application of the SMED methodology and other Lean production tools.

Gutiérrez Pulido, H., Gutiérrez González, P., Garibay López, C., & Díaz Caldera, L. (2014). Análisis multivariado y QFD como herramientas para escuchar la voz del cliente y mejorar la calidad del servicio. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 22(1), 62-73.

Hindle, A., Ernst, N. A., Godfrey, M. W., & Mylopoulos, J. (2011, May). Automated topic naming to support cross-project analysis of software maintenance activities. In *Proceedings of the 8th Working Conference on Mining Software Repositories* (pp. 163-172). ACM.

Hindle, A., Ernst, N. A., Godfrey, M. W., & Mylopoulos, J. (2011, May). Automated topic naming to support cross-project analysis of software maintenance activities. In *Proceedings of the 8th Working Conference on Mining Software Repositories* (pp. 163-172). ACM.

McIntosh, R. I., Culley, S. J., Mileham, A. R., & Owen, G. W. (2000). A critical evaluation of Shingo's' SMED'(Single Minute Exchange of Die) methodology. *International journal of production research*, 38(11), 2377-2395.

McIntosh, R., Owen, G., Culley, S., & Mileham, T. (2007). Changeover improvement: reinterpreting Shingo's "SMED" methodology. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 54(1), 98-111.

Rasmusson, D. (2006). *SIPOC picture book: A visual guide to SIPOC/DMAIC relationship*. Oriel Incorporated.

Sales, M. (2009). Diagrama de pareto. *Recuperado el, 15.*