

**Escuela Superior Politécnica del Litoral**

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

Aumento de la eficiencia en un proceso de fabricación de rejillas continuas en una  
fábrica que elabora baterías para vehículos

INGE-2749

**Proyecto Integrador**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero Industrial**

Presentado por:

Nicolás Andrés Ribadeneira Coronel

Nipson Arturo Jiménez Vélez

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

## Dedicatoria

---

A Dios por ser siempre mi guía y pilar en la vida; a mi papá Wolfio Ribadeneira, mi mejor amigo, quién siempre me transmitió su amor, sus conocimientos y me motivó a cumplir mis sueños y ahora desde el cielo es la fortaleza que me inspira día a día, “Papi ya soy Ingeniero de la ESPOL”; a mi mamá Rosita cuya guía y amor incondicional ha sido la base de cada uno de mis logros; a mis hermanos Rafael y Gabriel compañeros de vida cuyo apoyo incondicional y su confianza en mí ha sido mi motor durante esta etapa; a mi familia por su apoyo constante y enseñanzas; a mi novia Ana Paula por ser la motivación diaria a dar lo mejor de mí en cada momento ; a mis amigos, que considero hermanos, por impulsarme siempre a alcanzar mis metas.

Nicolás Andrés Ribadeneira Coronel

## Dedicatoria

---

Dedico este trabajo a Dios, por ser mi luz y fortaleza en todo momento; a mis padres, por su amor, sacrificios y enseñanzas que me han guiado siempre; a mis hermanas, por su apoyo incondicional y compañía inquebrantable; y a mis amigos, por su aliento, paciencia y motivación en este camino. A todos ustedes, mi más profunda gratitud y cariño.

Nipson Arturo Jiménez Vélez

## Agradecimiento

---

Nuestro más sincero agradecimiento a los profesores que fueron parte de este proceso de formación, a nuestra tutora María Laura Retamales por ser nuestra guía en la elaboración de este proyecto, a los compañeros que fueron parte de este aprendizaje y han sido un gran apoyo durante estos años de estudio y especialmente a la ESPOL por abrirnos las puertas hacia nuestra vida profesional.

## Declaración Expresa

---

Nosotros NICOLÁS ANDRÉS RIBADENEIRA CORONEL, NIPSON ARTURO JIMÉNEZ VÉLEZ acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

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

Guayaquil, 9 de octubre del 2024.



Nicolás Andrés

Ribadeneira Coronel



Nipson Arturo Jiménez

Vélez

## **Evaluadores**

María Denise Rodríguez Zurita, PhD.

Profesor de Materia

Msc. María Laura Retamales G.

Tutor de proyecto

## RESUMEN

En el presente proyecto se tiene como objetivo realizar un incremento en la primera línea de producción de una empresa dedicada a la fabricación de baterías de plomo para vehículos. El proyecto tuvo un enfoque en la línea de rejillas continuas y el desarrollo fue mediante la metodología DMAIC (Definir, medir, analizar, mejorar y controlar). Para proceder con una correcta aplicación se investigó a profundidad la empresa, las necesidades del cliente, proyectos implementados anteriormente en la línea de producción de rejillas o en las líneas de producción posteriores y datos históricos de la compañía. Con esta información se realizó un estudio estadístico de la normalidad y capacidad del proceso, se estudiaron los motivos que afectaban a la eficiencia y se hallaron las causas raíz de las paradas no programadas en la línea de producción. Se llevaron a cabo reuniones con los supervisores del área y con los operadores para atacar estas paradas no programadas y así proponer soluciones que tengan un gran impacto. Posteriormente se plantearon 5 soluciones para reducir el tiempo de las paradas no programadas que fueron las siguientes: implementar un filtro en el sistema ERP de la empresa para controlar la vida útil de la flauta que inyecta el plomo líquido, diseñar dos modelos de platina para el flujo del tipo de gas correspondiente hacia los quemadores, reestructurar el procedimiento de limpieza de la zapata por obstrucción de plomo, actualizar el instructivo de trabajo para la limpieza de cepillos y flautas de aire de las estaciones de rodillos y automatizar el encendido del sistema de limpieza de estaciones de la línea.

Una vez implementadas estas soluciones se incrementó la media de la eficiencia en la línea en sus dos primeras semanas de aplicación pasando de 72,1% a 78,8% y además generando un beneficio ambiental de reducción de desperdicios del 18% que a su vez disminuye el consumo energético y de agua en la línea.

Palabras clave: DMAIC, eficiencia, paradas no programadas.

## ***ABSTRACT***

*The objective of this project is to achieve an increase in the first production line of a company dedicated to manufacturing lead-acid batteries for vehicles. The project focused on the continuous grid line and was developed using the DMAIC (Define, measure, analyze, improve and control) methodology. To ensure proper implementation, an in-depth investigation was conducted into the company, customer needs, previously implemented projects in the grid production line or subsequent production lines, and the company's historical data. With this information, a statistical study of process normality and capability was carried out, the factors affecting efficiency were analyzed, and the root causes of unscheduled stoppages in the production line were identified.*

*Meetings were held with area supervisors and operators to address these unplanned stoppages and propose high-impact solutions. Subsequently, five solutions were proposed to reduce the duration of unplanned stoppages: implementing a filter in the company's ERP system to control the lifespan of the flute that injects liquid lead, designing two plate models to regulate the gas flow to the burners, restructuring the lead obstruction cleaning procedure for the shoe, updating the work instructions for cleaning brushes and air flutes in the roller stations, and automating the startup of the cleaning system at the stations.*

*Once these solutions were implemented, the average efficiency of the line increased during the first two weeks of application, rising from 72.1% to 78.8%. Additionally, an environmental benefit was achieved by reducing waste by 18,41%, which in turn decreases energy and water consumption in the line.*

***Keywords:*** DMAIC, efficiency, unscheduled stoppages.

# Índice General

RESUMEN .....	7
<i>ABSTRACT</i> .....	8
Abreviaturas.....	13
ÍNDICE DE FIGURAS .....	14
ÍNDICE DE TABLAS.....	16
Capítulo 1 .....	1
1.1 Introducción .....	2
1.2 Descripción del problema .....	2
1.3 Justificación del Problema .....	3
1.4 Definición del problema .....	4
1.5 Alcance del proyecto .....	4
1.5.1 Necesidades del cliente:.....	6
1.6 Objetivos.....	6
1.6.1 Objetivo general .....	6
1.6.2 Objetivos específicos .....	7
1.7 Marco teórico .....	7
1.7.1 Metodología DMAIC .....	7
Capítulo 2 .....	9
2.1 Metodología. ....	10
2.2 Medición.....	10

2.3	Plan de recolección de datos .....	12
2.3.1	Confiabilidad de los datos.....	13
2.3.1.1	Número de rejillas continuas producidas .....	13
2.3.1.2	Paradas no programadas y tiempo planificado de producción.....	14
2.3.1.3	Rejillas defectuosas producidas.....	16
2.3.2	Análisis de capacidad .....	18
2.4	Causas potenciales.....	22
2.5	Problema enfocado .....	24
2.6	Análisis .....	25
2.6.1	Lluvia de ideas .....	25
2.6.2	Diagrama de Ishikawa .....	27
2.6.2.1	Limpieza de flautas/zapatas: .....	27
2.6.2.2	Cambio de carrete:.....	28
2.6.2.3	Calibración de simetría/ancho:.....	28
2.6.2.4	Crisol (temperatura):.....	29
2.6.3	Matriz de causa y efecto .....	29
2.7	Plan de verificación de causas .....	35
2.7.1	Tiempo de uso prolongado de la flauta.....	36
2.7.2	Plomo en los agujeros de la zapata.....	37
2.7.3	La calibración se ajusta de acuerdo con las habilidades del operador .....	39
2.7.4	Inspección de calidad (cambio de carrete).....	40
2.7.5	Residuo en los rodillos.....	41

2.7.6	Desalineación de rodillo de simetría .....	42
2.7.7	Mala lectura de termocuplas .....	43
2.8	Verificación de causas .....	44
2.8.1	Análisis de los 5 por qué? .....	44
2.8.2	Lista de causas raíz: .....	46
2.9	Mejora.....	47
2.9.1	Soluciones potenciales alineadas a su causa raíz. ....	48
2.10	Plan de implementación.....	49
2.10.1	Proceso de implementación: Solución 1 .....	50
2.10.2	Proceso de implementación: Solución 2 .....	50
2.10.3	Proceso de implementación: Solución 3 .....	51
2.10.4	Proceso de implementación: Solución 4 .....	53
2.10.5	Proceso de implementación: Solución 5 .....	54
	Capítulo 3 .....	55
3.1	Resultados .....	56
3.1.1	Solución 1 .....	56
3.1.2	Solución 2 .....	56
3.1.3	Solución 3 .....	57
3.1.4	Solución 4 .....	59
3.2	Prueba de normalidad .....	59
3.3	Análisis de capacidad .....	61
3.4	Sostenibilidad del proyecto (Triple Bottom Line) .....	62

3.4.1	Justificación económica .....	62
3.4.1.1	Escenario previo a mejoras .....	62
3.4.1.2	Escenario después de las mejoras .....	63
3.4.2	Justificación ambiental .....	63
3.4.3	Justificación social.....	65
3.5	Plan de control .....	65
	Capítulo 4 .....	68
4.1	Conclusiones .....	69
4.2	Recomendaciones.....	69
	Referencias .....	70
	Bibliografía.....	70

## **Abreviaturas**

DMAIC	Define, Measure, Analyze, Improve y Control
OTIDA	Operación, Transporte, Inspección, Demora y Almacenamiento
SIPOC	Supplier, Input, Process, Output, and Customer
VOC	Voice of customer

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.2.1 <i>Eficiencia semanal de rejillas</i> .....	3
Figura 1.5.1 <i>VOC</i> .....	6
Figura 2.2.1 <i>OTIDA</i> .....	11
Figura 2.2.2 <i>Clasificación de actividades</i> .....	12
Figura 2.3.1 <i>Diagrama de cajas de producción observada vs Shoplogix</i> .....	14
Figura 2.3.2 <i>Diagrama de cajas de datos observados vs Shoplogix</i> .....	16
Figura 2.3.3 <i>Capacidad de proceso para la eficiencia</i> .....	18
Figura 2.3.4 <i>Reporte general de capacidad de proceso</i> .....	19
Figura 2.3.5 <i>Rejillas perdidas por mes</i> .....	22
Figura 2.4.1 <i>Causas potenciales</i> .....	23
Figura 2.4.2 <i>Pareto de causas de paras</i> .....	24
Figura 2.6.1 <i>Ishikawa de limpieza de flauta/zapata</i> .....	27
Figura 2.6.2 <i>Ishikawa de cambio de carrete</i> .....	28
Figura 2.6.3 <i>Ishikawa de calibración de simetría/ancho</i> .....	28
Figura 2.6.4 <i>Ishikawa de crisol (temperatura)</i> .....	29
Figura 2.6.5 <i>Pareto causas representativas</i> .....	31
Figura 2.6.6 <i>Matriz Impacto-Control</i> .....	34
Figura 2.7.1 <i>Limpieza de flauta</i> .....	36
Figura 2.7.2 <i>Flauta reparada</i> .....	37
Figura 2.7.3 <i>Diagrama de cajas plomo en agujeros de la zapata</i> .....	38
Figura 2.7.4 <i>Zapata obstruida con plomo</i> .....	38
Figura 2.7.5 <i>Zapata limpia</i> .....	39
Figura 2.7.6 <i>Diagrama de cajas de habilidad de los operadores</i> .....	39
Figura 2.7.7 <i>Inspección de calidad</i> .....	40

Figura 2.7.8 <i>Residuos en rodillo conroll</i> .....	41
Figura 2.7.9 <i>Cepillo de rodillo conroll</i> .....	41
Figura 2.7.10 <i>Llaves de ajuste de rodillo de simetría</i> .....	42
Figura 2.7.11 <i>Parámetros de simetría</i> .....	42
Figura 2.7.12 <i>Diagrama de control de termocuplas</i> .....	43
Figura 2.10.1 <i>Resistencia validada por líderes de proyecto</i> .....	51
Figura 2.10.2 <i>Platina de 11.5 mm</i> .....	52
Figura 2.10.3 <i>Platina de 8 mm</i> .....	52
Figura 2.10.4 <i>Residuos en las estaciones CONROLL</i> .....	53
Figura 3.1.1 <i>Instructivo de trabajo actualizado</i> .....	59
Figura 3.2.1 <i>Prueba de Normalidad de proceso mejorado</i> .....	59
Figura 3.2.2 <i>Gráfico de probabilidad de eficiencia en proceso mejorado</i> .....	60
Figura 3.2.3 <i>Cartas de control proceso mejorado</i> .....	61
Figura 3.3.1 <i>Capacidad de proceso luego de las mejoras</i> .....	62
Figura 3.4.1 <i>Desperdicio de rejillas antes y después de las implementaciones</i> .....	64

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.4.1 <i>Herramienta 3W+2H</i> .....	4
Tabla 1.5.1 <i>Matriz SIPOC</i> .....	5
Tabla 2.3.1 <i>Plan de recolección de datos</i> .....	13
Tabla 2.3.2 <i>Validación de datos de producción</i> .....	14
Tabla 2.3.3 <i>Prueba t de datos observados vs Shoplogix</i> .....	15
Tabla 2.3.4 <i>Datos scrap observados vs Shoplogix</i> .....	17
Tabla 2.3.5 <i>Especificaciones por tipo de rejilla</i> .....	17
Tabla 2.3.6 <i>Reporte producción Agosto, Septiembre y Octubre 2024</i> .....	19
Tabla 2.3.7 <i>Unidades perdidas por paradas no programadas</i> .....	20
Tabla 2.3.8 <i>Comparación de perdidas por tipo</i> .....	21
Tabla 2.4.1 <i>Eficiencia alcanzable</i> .....	23
Tabla 2.5.1 <i>Problema enfocado</i> .....	25
Tabla 2.6.1 <i>Lluvia de ideas limpieza de flauta/zapatatas</i> .....	26
Tabla 2.6.2 <i>Lluvia de ideas para cambio de carrete</i> .....	26
Tabla 2.6.3 <i>Lluvia de ideas para calibración simetría/ancho</i> .....	26
Tabla 2.6.4 <i>Lluvia de ideas para crisol</i> .....	26
Tabla 2.6.5 <i>Matriz de causa y efecto</i> .....	29
Tabla 2.6.6 <i>Puntuaciones por tipo de causa</i> .....	30
Tabla 2.6.7 <i>Tipo de parada y posible causa</i> .....	32
Tabla 2.6.8 <i>Causas con calificación de control e impacto</i> .....	33
Tabla 2.7.1 <i>Plan de verificación de causas</i> .....	35
Tabla 2.8.1 <i>Análisis de 5 por qué?</i> .....	45
Tabla 2.8.2 <i>Causas raíz y soluciones potenciales</i> .....	46
Tabla 2.9.1 <i>Clasificación de soluciones potenciales</i> .....	47

Tabla 2.9.2 <i>Causas raíz alineadas a su solución potencial</i> .....	48
Tabla 2.10.1 <i>Plan de implementación</i> .....	50
Tabla 3.1.1 <i>Tiempo requerido para derretir el plomo de cada resistencia</i> .....	56
Tabla 3.1.2 <i>Ahorro de tiempo en limpieza de flauta/zapata</i> .....	57
Tabla 3.1.3 <i>Comparación escenarios</i> .....	57
Tabla 3.1.4 <i>Promedio de tiempo antes</i> .....	58
Tabla 3.1.5 <i>Promedio de tiempo luego de implementación</i> .....	58
Tabla 3.4.1 <i>Prueba t realizada para desperdicio después de implementar mejoras</i> .....	64
Tabla 3.4.2 <i>Horas de capacitación para el indicador social</i> .....	65
Tabla 3.5.1 <i>Plan de control</i> .....	66

# Capítulo 1

## **1.1 Introducción**

Desde de década de 1950 se fabrican baterías de plomo para vehículos en el Ecuador y con el pasar de los años esta industria ha experimentado un crecimiento exponencial debido a la demanda de automóviles que año tras año incrementa, por lo que se requiere que los procesos dentro de las plantas encargadas de fabricar este producto sean eficientes y versátiles para poder abastecer la misma y cumplir los requerimientos del cliente (Lema Osorio, Remache Sasig, Saltos Taipe, & García Quiroz, 2023).

Este tipo de baterías es el más comúnmente utilizado, ya que genera la corriente necesaria para arrancar motores de vehículos, manteniendo un costo accesible para el consumidor. Su componente principal son las rejillas de plomo, tanto positivas como negativas, las cuales pasan por un proceso de oxidación y se les adicionan electrolitos, permitiendo así el almacenamiento de corriente eléctrica que circula a través de sus placas (de Alba Padilla & Muñoz, 2017).

Esta industria es de gran importancia para varios los sectores del país ya que el transporte de personas y productos contribuye al desarrollo económico y social del país, y necesita que las industrias manufactureras de este producto sean eficientes. Por esto el objetivo de este proyecto será analizar posibles causas que esten impidiendo lograr una alta eficiencia y recomendar estrategias para incrementarla mediante la aplicación de metodología DMAIC (Definir, medir, analizar, mejorar y controlar) en su línea de producción de rejillas de plomo.

## **1.2 Descripción del problema**

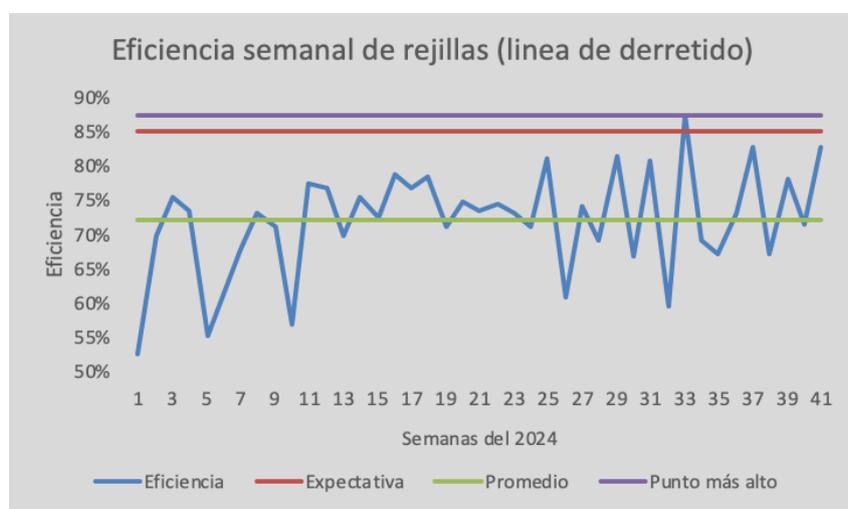
En este proyecto se va a trabajar de la mano con una empresa de producción de baterías para vehículos reconocida en el mercado, donde se identificó que su línea de elaboración de rejillas continuas de plomo está experimentando una baja eficiencia comparado al resto de líneas

siguientes del proceso de fabricación de baterías. Este problema genera elevados tiempos de paradas no programadas y también alta cantidad de desperdicio de rejillas por defectos de calidad. Se busca elevar la eficiencia de esta línea de producción para disminuir las paradas, el reproceso y desecho de materiales.

Se estableció como referencia para el desarrollo del proyecto una serie de tiempo que abarca desde la semana 1 hasta la 44 del año 2024. En la Figura 1.2.1 se evidencian los valores registrados por el sistema ERP de la empresa (máximos y mínimos) dentro de ese periodo de tiempo.

**Figura 1.2.1**

*Eficiencia semanal de rejillas*



### 1.3 Justificación del Problema

Es importante resolver este problema ya que esta fábrica, además de producir rejillas para sus baterías, es subcontratada por la competencia y los abastece de este producto. Se requiere que específicamente esta línea sea ágil y versátil para poder cumplir con la demanda y garantizar la competitividad y sostenibilidad de la planta. Por consiguiente la resolución de este problema

conlleva a la optimización de procesos, disminución de paradas no programadas, reducción de producto defectuoso e incrementa la productividad.

#### 1.4 Definición del problema

Desde el 1 de enero de 2024, la línea de producción de rejillas continuas ha experimentado una baja eficiencia, alcanzando un promedio de 72%. Estos niveles de eficiencia no cumplen el objetivo de la planta que es de 85% (Tabla 1.4.1.).

**Tabla 1.4.1**

*Herramienta 3W+2H*

3W+2H	
¿Qué?	Baja eficiencia en el proceso de producción de rejillas continuas
¿Dónde?	Línea de rejillas continuas – “Rejilladora Concast”
¿Cuándo?	Desde enero 2024
¿Qué tanto?	Una eficiencia semanal promedio de 72%
¿Cómo lo sé?	La compañía espera una eficiencia promedio de 85%.

#### 1.5 Alcance del proyecto

Considerando las limitaciones de tiempo y recursos disponibles para el desarrollo del proyecto, y con el objetivo de enfocar adecuadamente la solución del problema para alcanzar los resultados deseados, se define el alcance del proyecto utilizando la herramienta SIPOC (acrónimo en inglés de Supplier, Input, Process, Output, and Customer). Esta herramienta facilita una visión general del proceso a abordar, identificando tanto las entradas necesarias como las salidas esperadas, lo que permite establecer claramente las restricciones del proyecto. (Tabla 1.5.1)

**Tabla 1.5.1***Matriz SIPOC*

Proveedor	Entradas	Proceso	Salidas	Cliente
Almacén de materiales	Lingotes de plomo	Concast	Rejilla continua	Lavadora de ultrasonidos
Almacén de materiales	Aceite vegetal (Wheel Lub/Wisura)		Aguas residuales	
Almacén de materiales	Refrigerante		Residuos continuos de la rejilla	
CONCAST	Residuos continuos de la red			
Tanques de almacenamiento	LPG/LNG			
Planta de generación de nitrógeno	Nitrogeno			
Almacén de materiales	Detergente líquido	Lavado	Rejilla continua sin impurezas	Estaciones de conroll
CONCAST	Rejilla continua		Aguas residuales (PTAR)	
Planta de agua desmineralizada	Agua desmineralizada			
Lavadora de ultrasonidos	Rejilla continua sin impurezas	Estaciones de Conroll	Rejilla continua compactada	Bobinado
Conroll 2	Rejilla continua compactada	Bobinado	Rejilla continua compactada	Máquina de empastado
Estación de bobinado	Bobina			

*Nota. Datos tomados de entrevista con supervisor de planta*

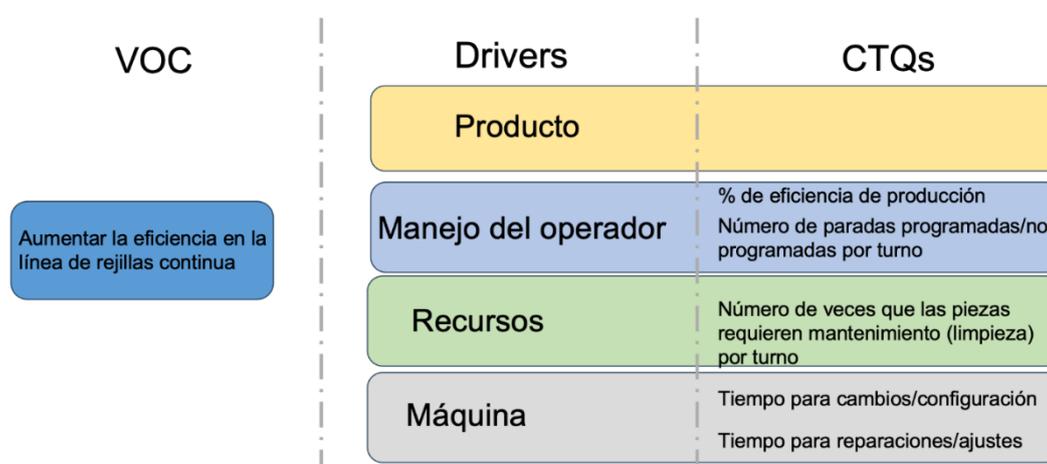
El diagrama SIPOC revela que el proyecto se centra en el proceso de formación de rejillas a partir de lingotes de plomo. Este proceso consiste en fundir los lingotes de plomo, a los cuales se añaden ciertos elementos, para luego pasar a través de un molde que da forma a las rejillas. Posteriormente, estas atraviesan diferentes máquinas que ajustan sus dimensiones conforme a un estándar de calidad previamente definido, finalizando con su almacenamiento en un carrete, listas para ser transferidas a la siguiente etapa: el empastado.

### 1.5.1 Necesidades del cliente:

Se realizó un Voice of Customer (VOC) para entender las necesidades del cliente y poder plantear el CTQ tree (Critical to Quality tree), que se presenta en la Figura 1.5.1.

**Figura 1.5.1**

VOC



Con esta información se pudo realizar también los indicadores para el Triple Bottom Line

$$Y = \frac{\text{Rejillas producidas por turno}(\text{unidades}) - \text{rejillas que no cumplen con calidad}(\text{unidades})}{\text{Tasa de producción} \left( \frac{\text{unidades}}{\text{horas}} \right) * \text{Horas planeadas para producción}(\text{horas})} * 100 \quad (1)$$

$$\text{Desperdicio de rejillas por turno} \left( \frac{\text{Rejillas}}{\text{hora}} \right) = \left( \frac{\text{Rejillas aptas por turno}}{\text{Producción planeada}} \right) \quad (2)$$

$$\text{Tasa de entrenamiento efectiva}(\%) = \frac{\text{Número de empleados entrenados con mejora}}{\text{Total de empleados entrenados}} * 100 \quad (3)$$

## 1.6 Objetivos

### 1.6.1 Objetivo general

Incrementar la eficiencia de la línea de fabricación de rejillas continuas desde el 72% al 80% hasta Enero de 2025, mediante la implementación de un Proyecto DMAIC de mejora.

### ***1.6.2 Objetivos específicos***

1. Analizar los diferentes factores que contribuyen a la baja eficiencia de la línea de fabricación de rejillas continuas para identificar las causas raíz del problema.
2. Implementar herramientas de mejora continua y soluciones técnicas en la línea de fabricación de rejillas continuas para atacar las causas raíz e incrementar el rendimiento general.
3. Establecer procesos de control en la línea de fabricación de rejillas continuas para monitorear el progreso y asegurar que la eficiencia objetivo de 80% sea consistente.

## **1.7 Marco teórico**

### ***1.7.1 Metodología DMAIC***

La metodología Seis Sigma una iniciativa a nivel organizacional diseñada para lograr cero defectos y reducir las variaciones en las industrias manufactureras y de procesos. Esto ayuda a las organizaciones a reevaluar sus procesos, eliminar cuellos de botella y ofrecer una calidad constante. Mediante la revisión y el ajuste continuo de cualquier proceso empresarial existente, la técnica de Seis Sigma contribuye a su mejora. Seis Sigma utiliza un enfoque de cinco pasos conocido como DMAIC para lograrlo (definir oportunidades, medir el rendimiento, analizar oportunidades, mejorar el rendimiento y controlar el rendimiento). La metodología DMAIC de la iniciativa Seis Sigma sirve como hoja de ruta para la mejora continua. Los profesionales de Seis Sigma evalúan los procesos empresariales y detectan oportunidades de mejora (Mittal, et al., 2023).

La metodología de proyectos DMAIC consta de cinco tal como lo mencionan Ranade, Reddy, Koppal, Paithankar, & Shevale:

- **Definir:** Se conforma el equipo de trabajo y se asignan roles dentro del proyecto. Además, se establece el alcance, se identifican las expectativas de los clientes y se define el objetivo final.
- **Medir:** Se analizan los aspectos clave del proceso actual, recopilando datos relevantes y calculando su capacidad para determinar su desempeño.
- **Analizar:** Se estudian los datos obtenidos para identificar relaciones causa-efecto, asegurando que se consideren todos los factores relevantes. El objetivo principal es encontrar la causa raíz del problema en cuestión.
- **Mejorar:** A partir del análisis de datos, se optimiza el proceso utilizando herramientas como el diseño de experimentos. Se realizan pruebas piloto para evaluar la efectividad de las mejoras y verificar su impacto en el rendimiento del proceso.
- **Controlar:** Se implementan mecanismos de control para garantizar que el proceso se mantenga dentro de los estándares establecidos, evitando desviaciones antes de que generen defectos. Se emplean herramientas como el control estadístico del proceso, tableros de producción y metodologías visuales para monitorear continuamente el desempeño del sistema.

## Capítulo 2

## **2.1 Metodología.**

Para abordar de manera estructurada el problema definido en el Capítulo 1, se aplicó la metodología DMAIC, que consta de las fases de Definición, Medición, Análisis, Mejora, Implementación y Control. Dado que el problema ya fue definido en el capítulo anterior, a continuación, se describen las actividades realizadas en las fases posteriores, junto con sus respectivos elementos.

En la etapa de Medición se identifican y verifican los elementos necesarios para comprender en detalle el comportamiento de las variables independientes y dependientes relacionadas con el problema. La etapa de Análisis se centra en identificar las causas raíz del problema. Finalmente, las etapas de Mejora, Implementación y Control detallan las soluciones implementadas para resolver el problema, así como las medidas de control establecidas para garantizar la sostenibilidad de las mejoras realizadas.

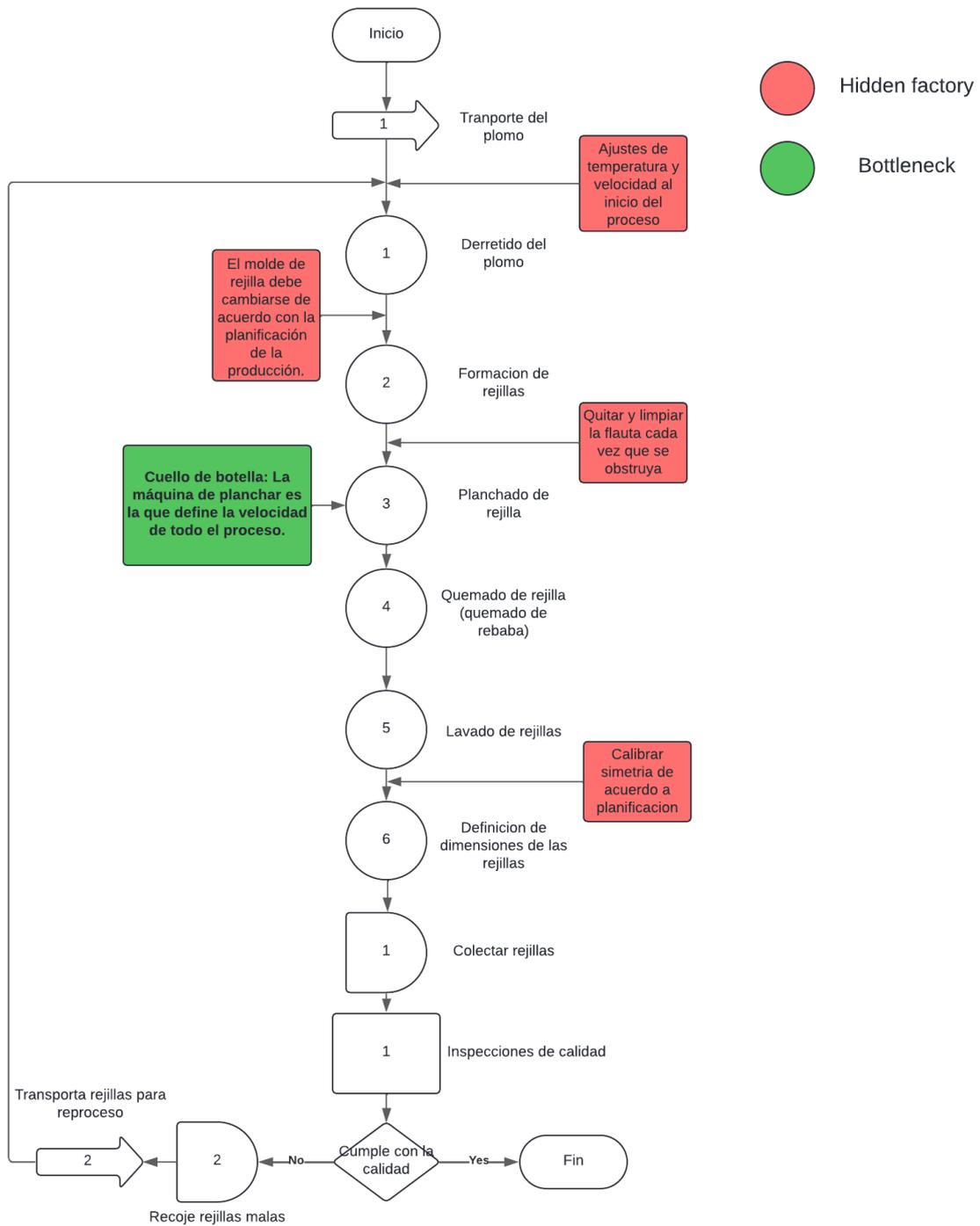
## **2.2 Medición**

Tras definir el problema a abordar, junto con su objetivo, alcance y variable de respuesta, se recopiló información sobre el proceso de derretido del plomo para formación de las rejillas.

Para esto se hizo un diagrama donde se detalla el tipo de proceso que se realiza para obtener las rejillas (Figura 2.2.1).

Figura 2.2.1

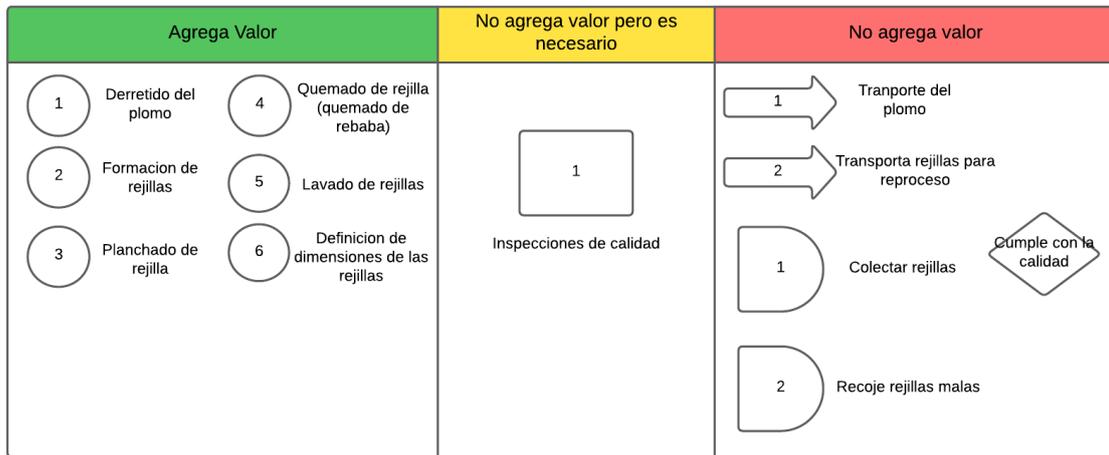
OTIDA



Seguido de esto se separaron las actividades que agregan valor, no agregan valor pero son necesarias y las que no agregan valor como se visualizar en la Figura 2.2.2.

**Figura 2.2.2**

*Clasificación de actividades*



Teniendo un total de 6 actividades que agregan valor, 1 que no agrega valor, pero es necesaria y 5 que no agregan valor.

**2.3 Plan de recolección de datos**

Para recopilar información sobre las variables relevantes del problema, se diseña un plan de recolección de datos estructurado (Tabla 2.3.1), con objetivos claros y responsables asignados. Este plan se centra en medir las variables de respuesta, las variables dependientes y las posibles restricciones que puedan influir en el análisis.

**Tabla 2.3.1***Plan de recolección de datos*

¿Qué?						¿Cuándo?	¿Dónde?	¿Cómo?	¿Por qué?	¿Quién?
Variable	Significado operacional	Unidad de medida	Tipo de dato	Tamaño de la muestra	Factores de estratificación	Fecha	Lugar de trabajo	Método de recolección	Uso futuro	Persona a cargo
X1	Producción de rejillas continuas	Unidades	Discreto	No es necesario	Turno, operador	Desde 01/Ene/2024	Rejilla continua	Registro de datos manual del operador	Datos de eficiencia del proceso CONCAST	Nicolás Ribadeneira - Nipson Jiménez
X2	Número de rejillas continuas fuera de especificaciones producidas	Unidades			Turno, operario, motivo de inconformidad			Sistema de recopilación de datos (Shoplogix)		
X3	Tiempo de producción planificado	Horas	Continuo		Turno, tipo de mezcla, operador de mezcla y operador de máquina de encolado					
X4	Número de capacitaciones sobre herramientas de mejora continua para los operadores de la línea de "compaste"	Número de capacitaciones/me s	Discreto	No es necesario	No es necesario	Desde 28/Oct/2024	Rejilla continua	Historial de formación	Indicador Social de Triple Resultado	Nicolás Ribadeneira - Nipson Jiménez
X5	Agua reutilizada de la lavadora por ultrasonidos	Litros	Continuo	No es necesario	Turno, operador	Desde 28/Oct/2024	Rejilla continua	Datos de la empresa recopilados de los operadores	Indicador ambiental Triple Bottom Line	

**2.3.1 Confiabilidad de los datos**

Una vez establecidos los datos que se necesitaban, se procedió a hacer la toma y validación de estos. Con el fin de demostrar si eran confiables, se realizó análisis estadístico y GEMBA para comparar los datos tomados en la planta versus los datos que se recolectaba en el software de la empresa llamado Shoplogix.

**2.3.1.1 Número de rejillas continuas producidas**

En la Tabla 2.3.2 se evidencia la comparación entre los datos registrados por el operador y los datos validados mediante la observación de la línea. Adicional en la Figura 2.3.1 se compara estos datos de producción para su respectiva validación.

**Tabla 2.3.2***Validación de datos de producción*

Fecha	Valor observado en la línea continua de rejillas	Valor registrado por el operador	Turno	Tipo de rejilla
11/11/2024	9520	9520	3	HD35
12/11/2024	11252	11252	1	L35
14/11/2024	12194	12194	1	M35
14/11/2024	13500	13500	2	M35
15/11/2024	12741	12741	1	M35
15/11/2024	9254	9254	2	M35

**Figura 2.3.1***Diagrama de cajas de producción observada vs Shoplogix*

### 2.3.1.2 Paradas no programadas y tiempo planificado de producción

Se realizó un análisis estadístico con esta información utilizando una prueba t donde las hipótesis eran las siguientes:

H0: No hay diferencia significativa entre los valores observados en la línea de producción de rejillas continuas y la información registrada por el operador en Shoplogix

H1: Hay diferencia significativa entre los valores observados en la línea de producción de rejillas continuas y la información registrada por el operador en Shoplogix (Tabla 2.3.3).

**Tabla 2.3.3**

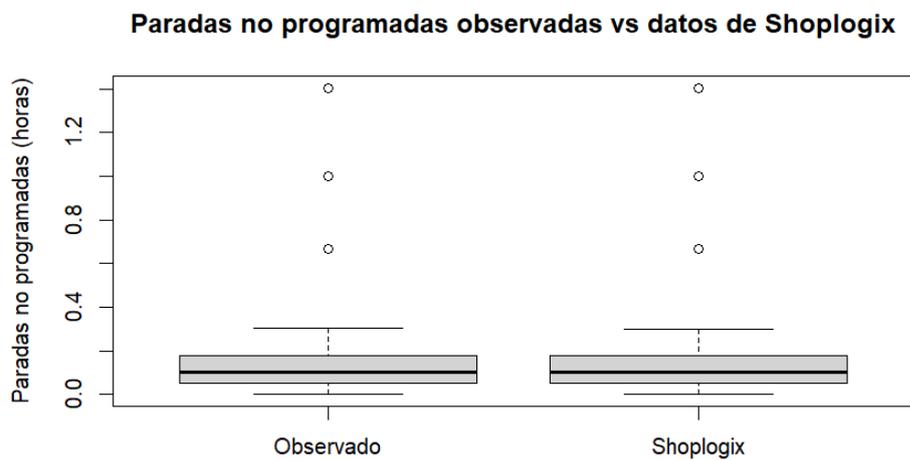
*Prueba t de datos observados vs Shoplogix*

t-Test: Paired Two Sample for Means		
	<i>Observed</i>	<i>Shoplogix</i>
Mean	0,24573684	0,24565835
Variance	0,14004054	0,14006723
Observations	19	19
Pearson Correlation	0,99999619	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	18	
t Stat	0,33122317	
P(T<=t) one-tail	0,37215043	
t Critical one-tail	1,73406361	
P(T<=t) two-tail	0,74430086	
t Critical two-tail	2,10092204	

Los resultados de la prueba t para datos pareados indicaron que no hubo una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de la Variable 1 y la Variable 2. El valor p calculado de 0.7443 fue mucho mayor que el nivel de significancia convencional de 0.05, lo que sugirió que no se rechazó la hipótesis nula. Tal como se evidencia en la figura 2.3.2.

**Figura 2.3.2**

*Diagrama de cajas de datos observados vs Shoplogix*



### 2.3.1.3 Rejillas defectuosas producidas

Los datos registrados en el ERP coincidieron con el proceso en tiempo real. Cuando los operadores identificaron rejillas defectuosas que no cumplían con las especificaciones (defectuosas o “scrap”), las pesaron en una balanza, que subió automáticamente las unidades equivalentes de rejillas al sistema. Esto garantizó datos confiables, excepto en los casos donde la balanza falló o estaba mal calibrada (Tabla 2.3.4).

**Tabla 2.3.4***Datos scrap observados vs Shoplogix*

Fecha	Turno	Total de horas	Scrap registrado por los operadores (Unidades)	Scrap observado (Unidades)	Tipo de rejilla
11/11/24	3	6,16	449,63	449,63	HD35
12/11/24	1	2,74	388,0	388,0	L35
12/11/24	1	4,01	310,0	311,0	L35
12/11/24	2	7,86	650,0	650,0	L35
12/11/24	3	0,22	324,0	324,0	L35
14/11/24	1	6,33	311,36	311,36	M35

**Tabla 2.3.5***Especificaciones por tipo de rejilla*

Tipo de Rejilla	Peso Rejilla Individual ± 2 (g)
U30	23,2
F30	30
L30	29
M30B	31
M30	36
M30S	36
HD28	42
U35CC	25,9
L30T	28
M30T	32
H30T	35
L30D	27
M30D	30
H30D	32,5

### 2.3.2 Análisis de capacidad

Se hizo un análisis de capacidad y normalidad en Minitab para evaluar si el proceso es capaz de cumplir con la especificación de eficiencia del 85%. Se concluye que el proceso actual no es capaz dando un Cpk de -0,35 y debido a que la mayoría de los datos no entran en el límite inferior esperado que es de 85 como lo muestra la figura 2.3.3 y 2.3.4.

**Figura 2.3.3**

*Capacidad de proceso para la eficiencia*

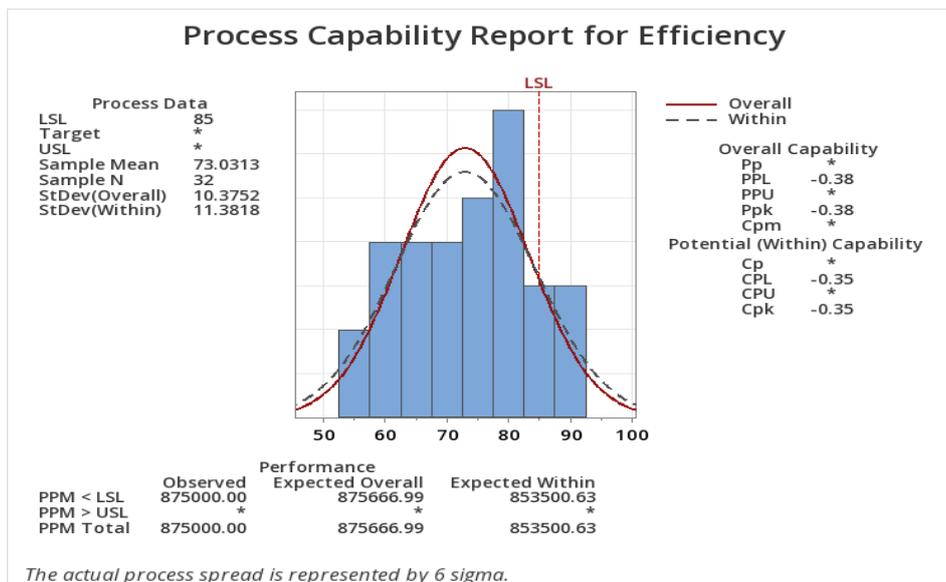
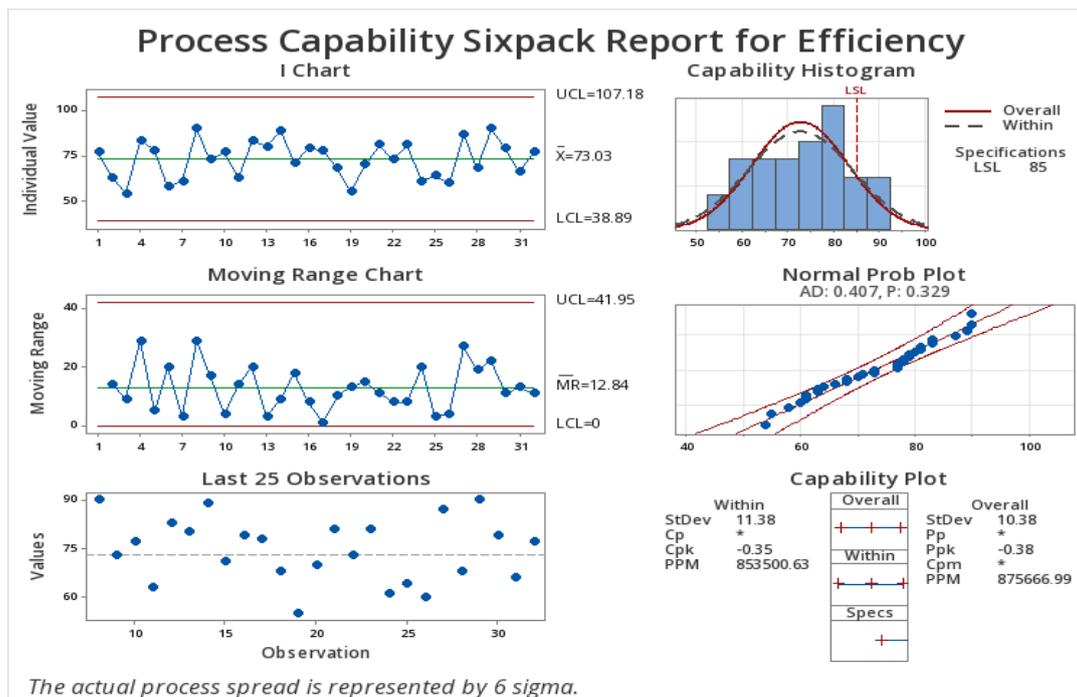


Figura 2.3.4

Reporte general de capacidad de proceso



Una vez demostrado que existe problemas en la línea, lo siguiente que se hizo fue analizar donde había mayores pérdidas. Por lo que se consideraron los siguientes cálculos que muestran la cantidad de rejillas perdidas por desperdicio (calidad) versus las rejillas perdidas por paras no programadas durante los meses de agosto, septiembre y octubre en la tabla 2.3.6.

Tabla 2.3.6

Reporte producción Agosto, Septiembre y Octubre 2024

	Agosto	Septiembre	Octubre
Horas planificadas	329,82	315,84	371,79
Unidades totales producidas	6.192.755	5.988.669	6.802.777

Unidades perdidas (desperdicio)	95.992	236.841	121.203
Unidades buenas	6.096.763	5.751.828	6.681.574
Unidades esperadas	7.797.005	7.466.443	8.789.067

Las unidades esperadas para esta tabla se sacaron haciendo la multiplicación entre la tasa de producción y las horas planificadas para la producción. La siguiente tabla muestra las unidades que se perdieron (no se lograron hacer) por paradas no programadas (Tabla 2.3.7).

**Tabla 2.3.7**

*Unidades perdidas por paradas no programadas*

	Agosto	Septiembre	Octubre
Tiempo perdido por paradas no programadas (horas)	43,22	47,37	52,3
Rejillas perdidas por paradas no programadas (unidades)	1.021.721	1.119.827	1.236.372
Tasa de producción (unidades/hora)		23.640	

La siguiente fórmula muestra cómo se sacaron las rejillas perdidas por paradas no programadas

$$\text{Rejillas perdidas (unidades)} = \text{Tiempo de paradas no programadas (horas)} * \text{Tasa de producción} \left( \frac{\text{unidades}}{\text{hora}} \right) \quad (4)$$

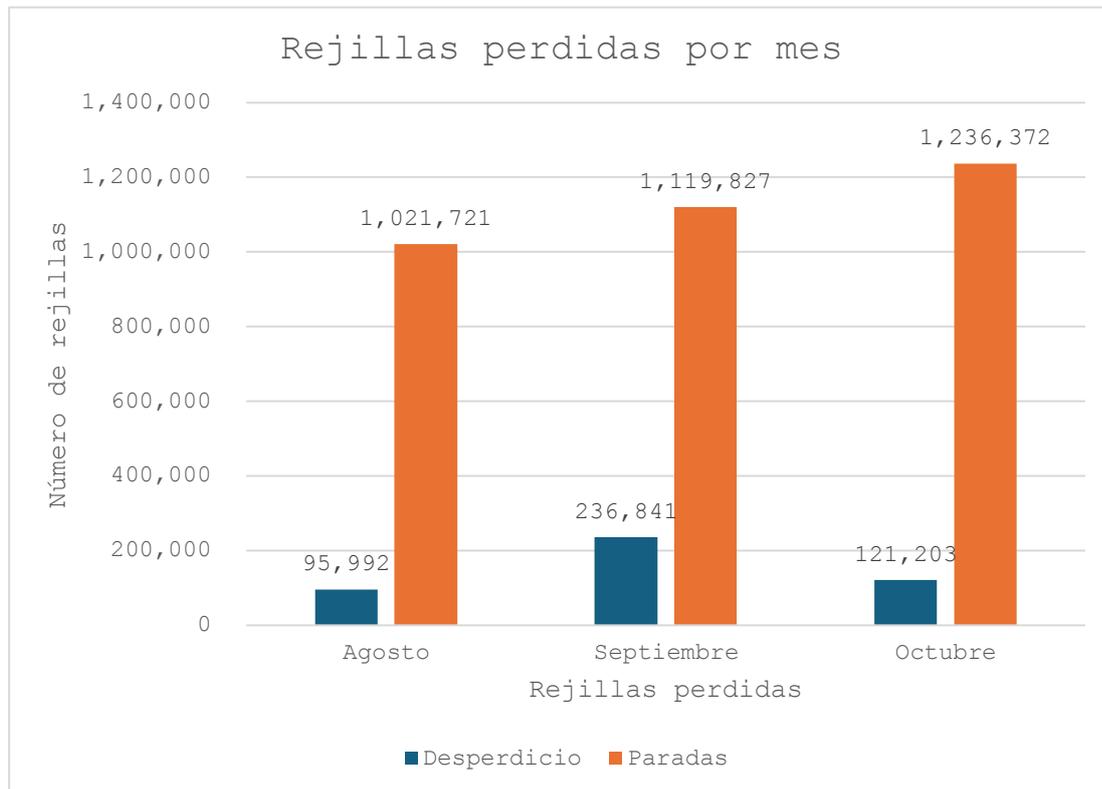
Con estos datos se logró hacer una tabla final para comparar las pérdidas por desperdicio y pérdidas por paradas, para luego plantarlas en un diagrama de barras para tener una mejor visión de la diferencia (Tabla 2.3.8).

**Tabla 2.3.8**

*Comparación de pérdidas por tipo*

Unidades perdidas por desperdicio (calidad) vs pérdidas por paradas no programadas		
Mes	Desperdicio (unidades)	Paradas (unidades)
Agosto	95.992	1.021.721
Septiembre	236.841	1.119.827
Octubre	121.203	1.236.372

En la figura 2.3.5 se evidencian las pérdidas de rejillas por calidad y por paradas.

**Figura 2.3.5***Rejillas perdidas por mes*

## 2.4 Causas potenciales

Una vez que se demostró que hay más pérdidas por paradas no programadas que por calidad, se procedió a hacer un Pareto sobre los tipos de paradas que más ocurriesen dentro del lapso de un mes (Desde el 7 de octubre al 7 de noviembre), dando como resultado que las más representativas fueron Parada menor y Avería como se muestra en la figura 2.4.1.

**Figura 2.4.1***Causas potenciales*

También en la tabla 2.4.1 se demuestra que el objetivo del proyecto no se ve comprometido al trabajar solo con estos dos tipos de paradas. Se tomó una semana del mes de octubre para ser analizada, en donde se prueba que se pudo haber llegado a obtener una eficiencia hasta del 90%, resolviendo las paradas no programadas del tipo Parada menor y Avería.

**Tabla 2.4.1***Eficiencia alcanzable*

Del 22 al 30 de octubre de 2024			
Tiempo perdido debido a paradas y averías menores	Unidades buenas producidas	Horas planificadas para la producción	Unidades esperadas (horas planificadas x tasa de producción)
13,37	2195249,507	117,2609698	2772049,326
Eficiencia real (unidades producidas buenas/unidades esperadas)			
79,19%			

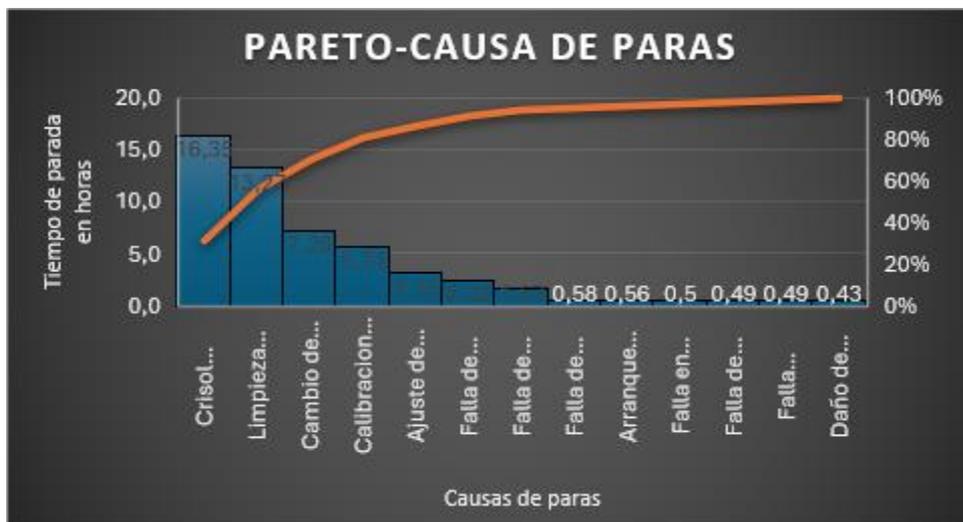
Unidades faltantes debido a paradas y averías menores (tiempo perdido X tasa de producción)	Unidades posibles (sin paradas)	Tasa de producción (unidades por hora)	Possible eficiencia
316016,319	2511266	23640	90,59%

Esto indicó que el proyecto si podía seguir ese camino para ser analizado a detalle.

Mediante lo planteado anteriormente se hizo un diagrama de Pareto de las causas de los tipos de paras mencionadas. Estas causas se sacaron del Shoplogix donde el operario en turno marca el tipo de causa de la parada. Para esta grafica se consideraron datos desde el mes de octubre hasta el 7 de noviembre (Figura 2.4.2).

**Figura 2.4.2**

*Pareto de causas de paras*



Gracias a este grafico se logró sacar las causas que representan el mayor número de horas en parada.

## 2.5 Problema enfocado

Se obtuvieron 4 problemas enfocados a ser analizados como muestra en la tabla 2.5.1.

**Tabla 2.5.1***Problema enfocado*

5W+1H	Razón 1	Razón 2	Razón 3	Razón 4
QUÉ	Limpieza de flautas/zapatatas	Crisol (temperatura)	Cambio de carrete	Calibración de simetría/ancho
DÓNDE	En la línea de fundición de rejillas			
CUÁNDO	Del 7 de octubre al 7 de noviembre			
POR QUÉ	Paro menor	Avería	Paro menor	
QUIÉN	El operador no influye			
CUÁNTO	12.3h	11.58h	6.37h	5.42h

## 2.6 Análisis

Para el análisis de los 4 problemas enfocados se usaron varias herramientas como la lluvia de ideas, diagrama de Ishikawa, matriz de causas-efecto, diagrama de impacto-control y los 5 porqués para lograr llegar a la causa raíz de cada problema.

### 2.6.1 Lluvia de ideas

En la lluvia de ideas se tuvo la participación de los operarios que trabajan en la línea y así mismo del supervisor encargado (Tabla 2.6.1, tabla 2.6.2, tabla 2.6.3 y tabla 2.6.4).

**Tabla 2.6.1***Lluvia de ideas limpieza de flauta/zapatatas*

Limpieza de flautas/zapatatas	Variación de temperatura en el Crisol
	Tiempo de uso prolongado de la flauta
	Mucho paso de aceite
	Plomo en las tuberías
	Plomo en la flauta
	Plomo en los agujeros de la zapata
	Impurezas de plomo (alto contenido de escoria)
Fallo en la resistencia de la zapata de aceite/intercambiador	

**Tabla 2.6.2***Lluvia de ideas para cambio de carrete*

Cambio de carrete	Se requiere un cambio de carrete por semana de producción
-------------------	---

**Tabla 2.6.3***Lluvia de ideas para calibración simetría/ancho*

Calibración de simetría/ancho	Inspección de calidad (cambio de carrete)
	La calibración se ajusta de acuerdo con la capacidad del operador
	Hay residuos en los rodillos
	Los cepillos y las flautas de aire deben encenderse en paralelo
	Desalineación del rodillo de simetría
Falla de lectura de los sensores para el enrollado o el bobinado	

**Tabla 2.6.4***Lluvia de ideas para crisol*

Crisol (temperatura)	Cambiar de gas a natural y a GLP
	Falta de conocimiento para calibrar el quemador
	Falla al activar la compuerta de extracción

---

Ajustes manuales de la temperatura  
 Falla en el suministro de plomo  
 Mala lectura de termocuplas  
 Falla de la válvula solenoide

---

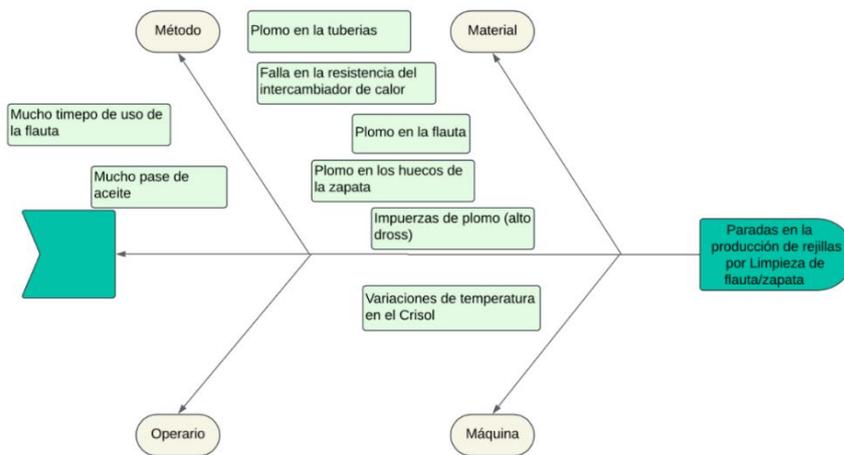
### 2.6.2 Diagrama de Ishikawa

Una vez organizadas las diferentes lluvias de ideas, se elaboraron tres diagramas de Ishikawa correspondientes a cada problema enfocado (Figura 2.6.1, figura 2.6.2 y figura 2.6.3)

#### 2.6.2.1 Limpieza de flautas/zapatatas:

Figura 2.6.1

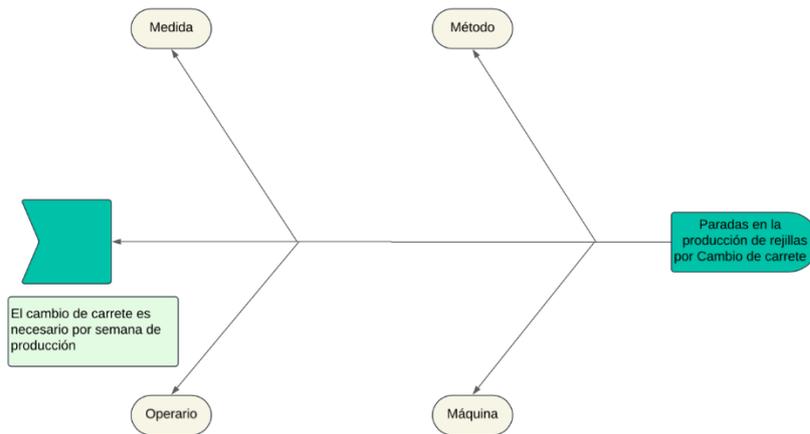
*Ishikawa de limpieza de flauta/zapata*



**2.6.2.2 Cambio de carrete:**

**Figura 2.6.2**

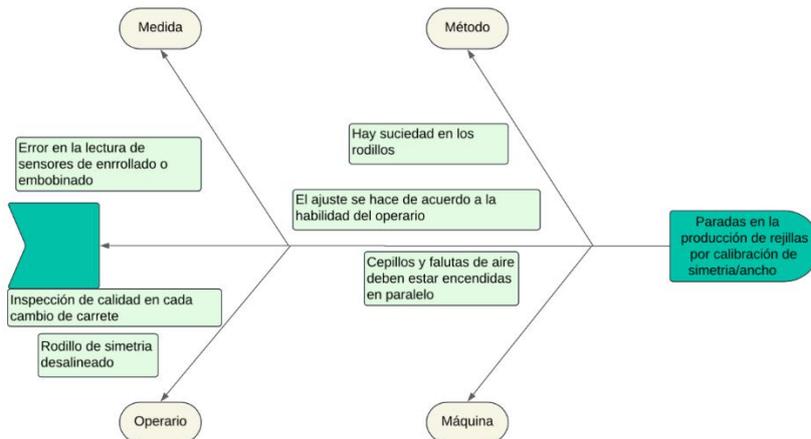
*Ishikawa de cambio de carrete*



**2.6.2.3 Calibración de simetría/ancho:**

**Figura 2.6.3**

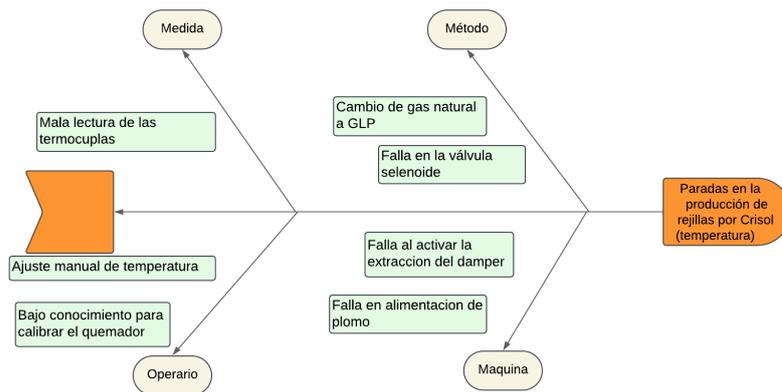
*Ishikawa de calibración de simetría/ancho*



**2.6.2.4 Crisol (temperatura):**

**Figura 2.6.4**

*Ishikawa de crisol (temperatura)*



**2.6.3 Matriz de causa y efecto**

Con el fin de darle niveles de importancia e identificar cuáles son las causas potenciales de cada problema, se realizó una reunión con el supervisor de la línea para poder ponderarlas de acuerdo con el criterio en la tabla 2.6.5.

**Tabla 2.6.5**

*Matriz de causa y efecto*

0	No dependencia
3	Baja dependencia
6	Dependencia media
9	Alta dependencia

Teniendo en consideración estos valores se procedió con la elaboración de una tabla donde cada causa este alineada a la puntuación correspondiente (Tabla 2.6.6).

Tabla 2.6.6

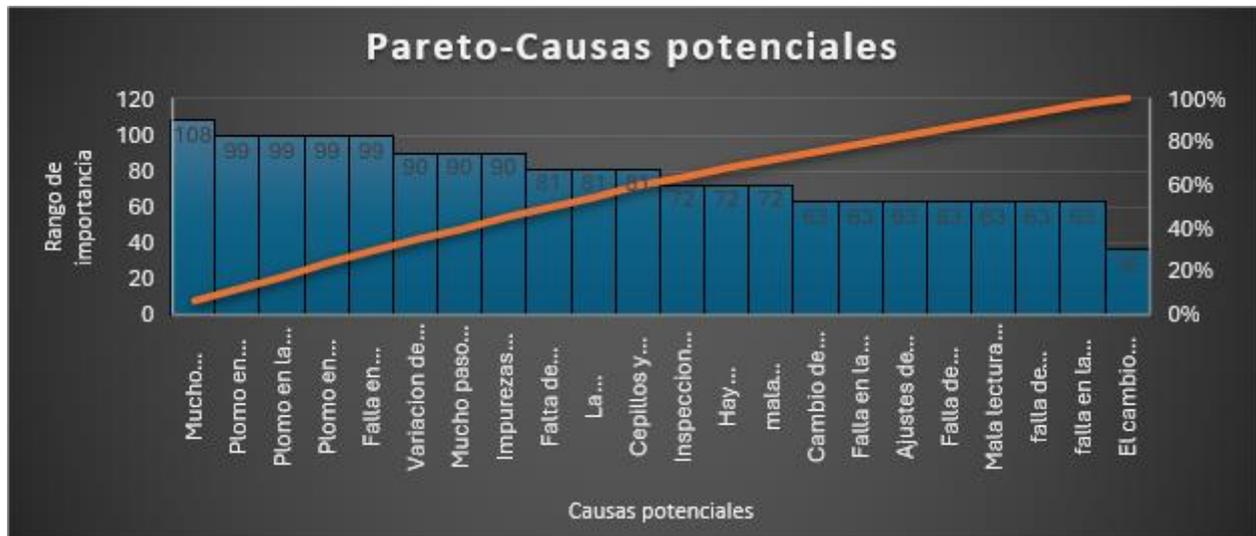
Puntuaciones por tipo de causa

		Desperdicios (calidad)	Tiempo muerto	
		3	9	TOTAL
Limpieza de flauta	Variacion de temperatura en el Crisol	3	9	90
	Mucho tiempo de uso de la flauta	9		108
	Mucho paso de aceite	3		90
	Plomo en los tubos	6		99
	Plomo en la flauta	6		99
	Plomo en los huecos de la zapata	6		99
	Impurezas de plomo (alto contenido de escoria)	3		90
	Falla en resistencia de zapata/intercambiador de aceite	6		99
Crisol (temperatura)	Cambio de gas a natural a GLP	3	6	63
	Falta de conocimiento para calibrar quemador	9		81
	Falla en la activacion del damper de extraccion	3		63
	Ajustes de temperatura manual	3		63
	Falla de alimentacion de plomo	3		63
	Mala lectura de termocuplas	3		63
	Falla de electrovalvulas	3		63
Cambio de carrete	El cambio de carrete es necesario por produccion de semana	3	3	36
Calibracion simetria/ ancho	Inspeccion de calidad (cambio de carrete)	6	6	72
	La calibracion se ajusta segun la habilidad del operario	9		81
	Hay residuos en los rodillos	6		72
	Cepillos y flautas de aire se deben prender en paralelo	9		81
	Mala alineacion de rodillo de simetria	6		72
	Falla en la lectura de los sensores de control o embobinado	3		63
				1710

Para identificar las causas más representativas y tener un enfoque del problema se elaboró un diagrama de Pareto (Figura 2.6.5).

Figura 2.6.5

*Pareto causas representativas*



Se tomaron en cuenta todas las causas a excepción de la última que muestra el Pareto ya que no representa mayor importancia en comparación de las demás. Con esto se dejó de considerar el problema relacionado con el Cambio de carrete, ya que además con el supervisor se concluyó que este problema era “necesario” (Tabla 2.6.7).

**Tabla 2.6.7***Tipo de parada y posible causa*

Tipo de parada	No	Posibles causas
Limpieza de flauta/zapata	1	Tiempo de uso prolongado de la flauta
	2	Plomo en las tuberías
	3	Plomo en la flauta
	4	Plomo en los agujeros del zapato
	5	Fallo en la resistencia de la zapata de aceite/intercambiador
	6	Variación de temperatura del Crisol
	7	Mucho paso de aceite
	8	Impurezas de plomo (alto contenido de escoria)
Crisol (temperatura)	9	Falta de conocimiento para calibrar el quemador
	10	Cambiar de gas a natural y a GLP
	11	Fallo al activar la compuerta de extracción
Calibración de simetría/anchura	12	La calibración se ajusta de acuerdo con la habilidad del operario
	13	Los cepillos y las flautas de aire deben encenderse en paralelo
	14	Inspección de calidad (cambio de carrete)
	15	Hay residuos en los rodillos
	16	Desalineación del rodillo de simetría
	17	Ajustes manuales de la temperatura
	18	Mala lectura de termocuplas
	19	Falla de la válvula solenoide

	20	Falta de lectura de los sensores para el enrollado o el bobinado
--	----	--

Una vez alineado cada problema con su posible causa, se procedió con la elaboración de un Diagrama de impacto-control, de igual manera con la ayuda del supervisor para poder darle la ponderación correspondiente a cada causa y clasificarlas de acuerdo con cómo se ubican en la siguiente tabla 2.6.8.

**Tabla 2.6.8**

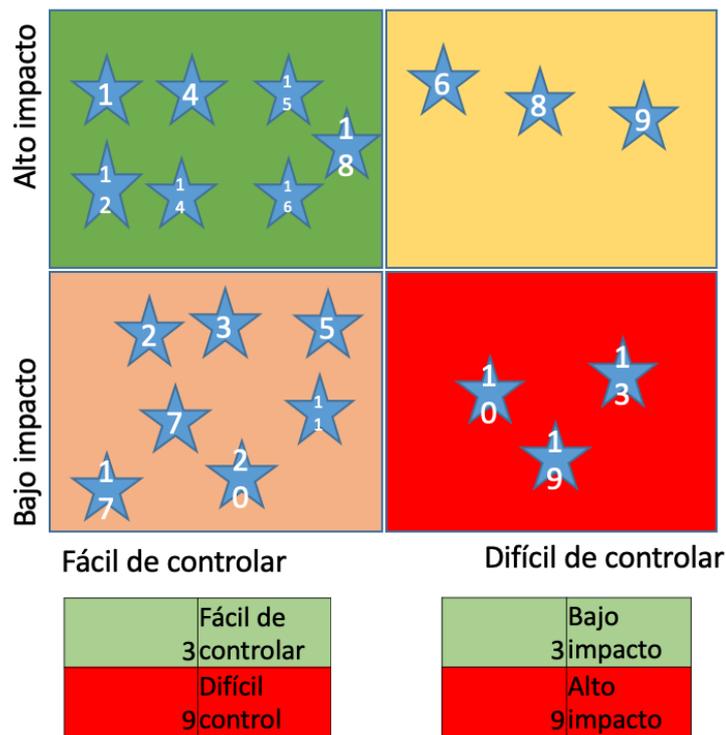
*Causas con calificación de control e impacto*

No	Causa	Control	Impacto
1	Tiempo de uso prolongado de la flauta	3	9
2	Plomo en las tuberías	3	3
3	Plomo en la flauta	3	3
4	Plomo en los agujeros del zapato	3	9
5	Fallo en la resistencia de la zapata de aceite/intercambiador	3	3
6	Variación de temperatura en la olla de plomo	9	9
7	Mucho paso de aceite	3	3
8	Impurezas de plomo (alto contenido de escoria)	9	9
9	Falta de conocimiento para calibrar el quemador	9	9
10	Cambiar de gas a natural y a GLP	9	3
11	Fallo al activar la compuerta de extracción	3	3
12	La calibración se ajusta de acuerdo con la capacidad del operador	3	9

13	Los cepillos y las flautas de aire deben encenderse en paralelo	9	3
14	Inspección de calidad (cambio de carrete)	3	9
15	Hay residuos en los rodillos	3	9
16	Desalineación del rodillo de simetría	3	9
17	Ajustes manuales de la temperatura	3	3
18	Mala lectura de termocuplas	3	9
19	Falla de la válvula solenoide	9	3
20	Falta de lectura de los sensores para el enrollado o el bobinado	3	3

Figura 2.6.6

Matriz Impacto-Control



Como se observa en la figura 2.6.6, las resultantes para ser consideradas fueron las causas número: 1, 4, 12, 14, 16 y 18. Dando un total de 6 causas potenciales para seguir analizando.

### 2.7 Plan de verificación de causas

Se utilizó el siguiente el plan de verificación de causas con el fin de obtener el impacto de estas causas en la variable de respuesta Y (Tabla 2.7.1).

**Tabla 2.7.1**

*Plan de verificación de causas*

Posibles causas	Teoría de la causa	Tipo de verificación	Estado
Tiempo de uso prolongado de la flauta	El uso prolongado disminuye la vida útil de la flauta y, por lo tanto, la hace más propensa a dañarse o necesitar cambios. Afecta aumentando el tiempo de paradas no programadas.	GEMBA y la observación directa	Significativa
Plomo en los agujeros de la zapata	Esto hace que la flauta se obstruya y por lo tanto la zapata no funcione correctamente, lo que hace que la línea se detenga para realizar la limpieza. Tiempo perdido en paradas no programadas.	Datos recopilados por GEMBA y shoplogix	Significativa
La calibración se ajusta de acuerdo con la capacidad del operador	El ajuste de acuerdo con las habilidades del operador hace que las rejillas se pierdan hasta que se logre el ajuste correcto. Pérdidas de calidad y tiempo perdido por paradas no programadas.	GEMBA, observación directa y Shoplogix	No es significativo
Inspección de calidad (cambio de carrete)	Los retrasos en la revisión generan desperdicio y tiempo de inactividad.	GEMBA y la observación directa	Significativa
Residuos en los rodillos	Afecta a las dimensiones de la red, generando residuos y paradas no programadas para solucionar el problema.	GEMBA y la observación directa	Significativa
Desalineación del rodillo de simetría	Generan desplazamiento en las orejas del panel de rejillas por lo que termina en desperdicio de rejilla y tiempo perdido al detenerse para corregir la simetría	GEMBA y observación directa.	Significativa
Mala lectura de termocuplas	Si las termocuplas no hacen una buena lectura de la temperatura del Crisol, el plomo se solidificará y obstruirá las tuberías, las zapatas y la flauta, lo que aumentará las paradas no programadas.	Observación directa y datos de Shoplogix	No es significativo

Las causas fueron verificadas mediante análisis estadísticos, sin embargo, cuando no había evidencia suficiente para declararlas como significativas o no significativas se procedió con un análisis GEMBA durante horas aleatorias durante los horarios de operación de la línea. De esta manera se podía evidenciar lo que realmente sucede durante esos tiempos de paros no programados y validar cada una de las causas.

### ***2.7.1 Tiempo de uso prolongado de la flauta***

Tal como se pudo evidenciar durante el GEMBA WALK (Figura 2.7.1 y figura 2.7.2), un tiempo prolongado de uso de la flauta influye en el deterioro de la vida útil de la misma. Esto conlleva a que el operador tenga que realizar un paro no programado muy prolongado para proceder con la limpieza de esta. Esta causa fue clasificada como significativa.

**Figura 2.7.1**

*Limpieza de flauta*



**Figura 2.7.2***Flauta reparada*

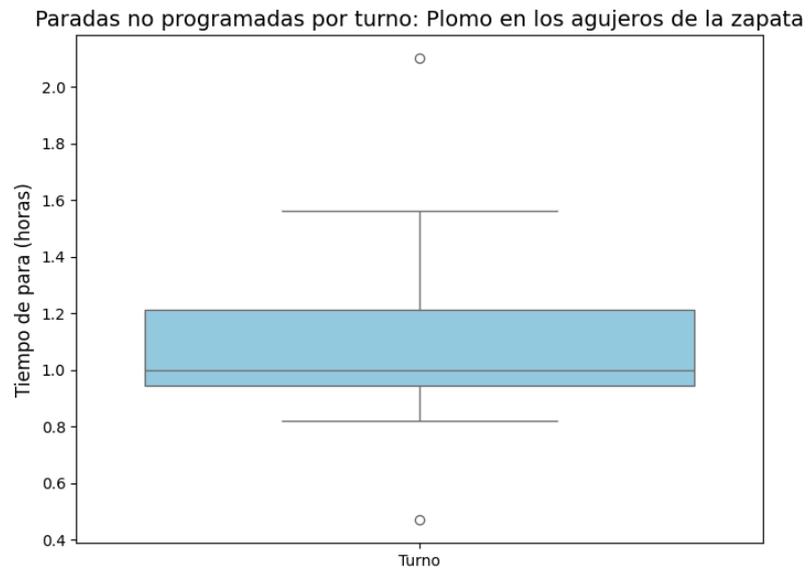
### **2.7.2 Plomo en los agujeros de la zapata**

Mediante un análisis estadístico con datos históricos de la empresa, se pudo observar que esta causa es la que más tiempo de paras no programadas produce. Esto es causado cuando el plomo se solidifica dentro de la zapata y se tapa, para solucionarlo el operador debe parar la máquina y empezar una limpieza rigurosa hasta que no quede residuo de plomo.

Como se puede observar en el siguiente grafico (Figura 2.7.3) el promedio de demoras por esta causa representa aproximadamente una media de 1 hora, que se puede extender hasta 1.6 horas y en algunos casos superior a 2 horas, por lo que se clasificó esta causa como significativa.

**Figura 2.7.3**

*Diagrama de cajas plomo en agujeros de la zapata*

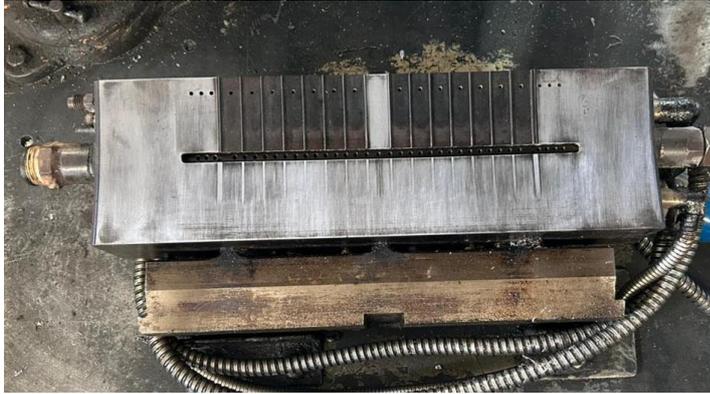


En la figura 2.7.4 y 2.7.5 se puede observar el antes y el después de la limpieza cuando la zapata se obstruye con plomo.

**Figura 2.7.4**

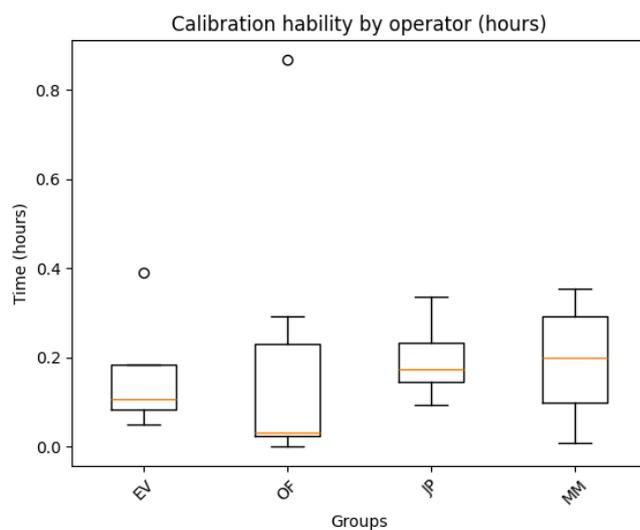
*Zapata obstruida con plomo*



**Figura 2.7.5***Zapata limpia*

### 2.7.3 La calibración se ajusta de acuerdo con las habilidades del operador

Para el análisis de esta causa se utilizaron datos históricos de diferentes turnos donde había 4 operadores diferentes encargados de la línea y se hizo una comparación de los datos (Figura 2.7.6).

**Figura 2.7.6***Diagrama de cajas de habilidad de los operadores*

Se utilizo un análisis ANOVA para comparar estos datos utilizando las siguientes hipótesis.

H0: Hay diferencias significativas entre los grupos.

H1: No hay diferencias significativas entre los grupos

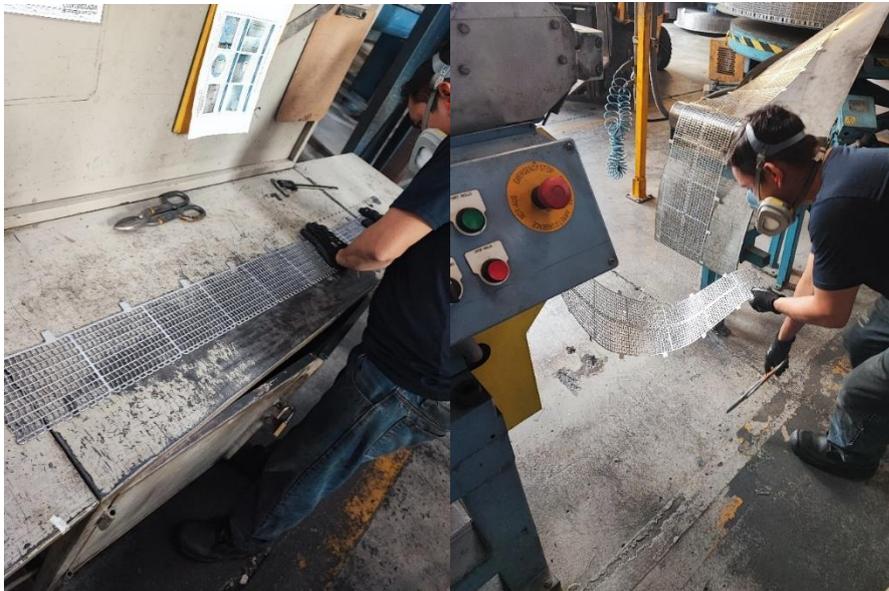
La tabla ANOVA presento un estadístico F de 0.865 y un valor p de 0.567, lo que indica que se rechaza la hipótesis nula por lo tanto esta causa es no significativa para el problema.

#### **2.7.4 Inspección de calidad (cambio de carrete)**

Cada vez que se hace el arranque de la línea o cuando toca hacer cambio de carrete en la estación de bobinado el operador tiene que hacer una verificación de que las rejillas cumplan con los parámetros establecidos dentro del rango de especificación por tipo de rejilla (Figura 2.7.7).

**Figura 2.7.7**

*Inspección de calidad*



Este procedimiento se verifico con un GEMBA WALK y se pudo comprobar que produce varias paras no programadas por día y se desecha material por lo que se clasifico como significativa.

### 2.7.5 *Residuo en los rodillos*

En las estaciones CONROLL deben mantenerse encendidos los cepillos que remueven las impurezas residuales en los rodillos, estas impurezas si no son removidas pueden dañar la calidad de las rejillas y convertirlas en scarp. Se validó esta causa mediante un GEMBA WALK y se clasifico como significativa. (Véase figura 2.7.8 y 2.7.9)

**Figura 2.7.8**

*Residuos en rodillo conroll*



**Figura 2.7.9**

*Cepillo de rodillo conroll*



### 2.7.6 Desalineación de rodillo de simetría

Se validó esta causa mediante un GEMBA WALK y se evidenció que es significativa ya que una mala calibración produce defectos posteriores de calidad en las rejillas (Figura 2.7.10 y figura 2.7.11).

#### Figura 2.7.10

*Llaves de ajuste de rodillo de simetría*



#### Figura 2.7.11

*Parámetros de simetría*

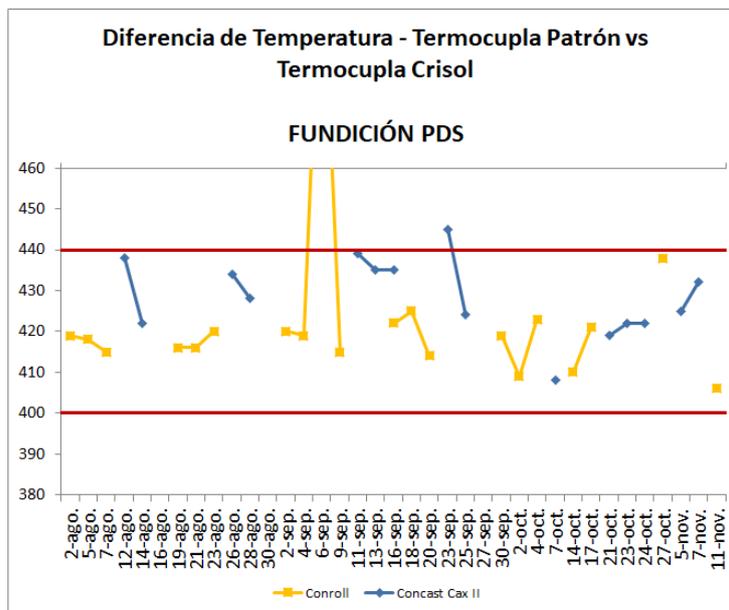


### 2.7.7 Mala lectura de termocuplas

Se validó esta causa mediante un análisis de datos históricos de la empresa donde se tuvo mediciones 3 veces por semana se la lectura de las termocuplas y una medición de parte del departamento de calidad donde se comparan ambos valores para verificar el correcto funcionamiento (Figura 2.7.12)

**Figura 2.7.12**

*Diagrama de control de termocuplas*



Los valores reflejados son muy acertados y garantiza su correcto funcionamiento, además es poco probable y atípico que se presente una falla en este medidor. Esta causa se consideró como no significativa.

## 2.8 Verificación de causas

### 2.8.1 *Análisis de los 5 por qué?*

Para lograr llegar a la/las causas de raíces de nuestros problemas se utilizó la herramienta de los 5 porqués, que en reuniones en conjunto con el supervisor se logró obtener la información de la tabla 2.8.1.

**Tabla 2.8.1***Análisis de 5 por qué?*

Causas	5 POR QUÉ?				
	1	2	3	4	5
Tiempo de uso prolongado de la flauta	no hay control de la vida útil de la flauta				
	se golpea para quitar el plomo	por impurezas o solidificación del plomo	se solidifica porque hay fallas en la temperatura del plomo	falta de conocimiento para calibrar quemador	
Tiempo de uso prolongado de la flauta	mala limpieza de la zapata	desgaste de herraminetas de limpieza	mucho tiempo de uso	falta de stock	
	solidificación del plomo	se solidifica porque hay fallas en la temperatura del plomo	falta de conocimiento para calibrar quemador		
Inspección de calidad (cambio de carrete)	hay control de calidad en cada cambio de carrete	porque existe variación con la aleación de control	la aleación se ve afectada por los diferentes cambios de temperatura	se activan flameadores durante la producción	presencia de rebabas en las rejillas
Residuos en los rodillos	el diseño de los rodillos son "moletados" (no son lisos)	deben ser así por cuestiones de calidad			
	la presión de los rodillos hace que la rejilla pierda o libere residuos	por exceso de rebaba			
Residuos en los rodillos	hay desnivel del rodillo (durante la corrida)	porque hay daño en chumaceras (conjunto de rodamientos)	daño por vida útil (no hay registro de vida útil)		
		daño en los pernos de calibración	exceso de uso		

### 2.8.2 Lista de causas raíz:

Una vez obtenidas las causas raíz de nuestro problema, se dieron posibles soluciones potenciales para cada causa raíz. Como se ve en la tabla solo hubo una causa raíz a la que no se le dio una propuesta de solución ya que no podía ser cambiado o mejorado (Tabla 2.8.2).

**Tabla 2.8.2**

*Causas raíz y soluciones potenciales*

Causas	Causas raíces	Soluciones potenciales
Tiempo de uso prolongado de la flauta	No hay control de la vida de la flauta	1. Empezar a controlar el tiempo de vida de la flauta y/o zapata (Just do it). 2. Hacer limpieza/mantenimiento preventivo para la flauta/zapata.
	Falta de conocimiento para calibrar el quemador	1. Capacitar a los operarios 2. Inspeccionar si el problema es por el quemador
Tiempo de uso prolongado de la flauta	No hay en stock	Comprar mas zapatas/flautas 2. Tener siempre una zapata/flauta limpia y lista para ser usada.
	Falta de conocimiento para calibrar el quemador	1. Capacitar a los operarios 2. Inspeccionar si el problema es por el quemador
Inspección de calidad (cambio de carrete)	Presencia de rebabas en la rejilla	1. Realizar un mejor ajuste de la temperatura en el quemador (experimento)
Residuos en los rodillos	Debe ser así por cuestiones de calidad	
	Por exceso de rebaba	1. Realizar un mejor ajuste de la temperatura en el quemador (experimento)
Residuos en los rodillos	Mucho tiempo de uso	1. Controlar el tiempo que se usa. 2. Tener uno de repuesto (de ser el caso) 3. Darle mantenimiento preventivo

## 2.9 Mejora

En esta etapa del proyecto se empezó realizando un análisis de los 5 por qué. De esta manera se pudieron fijar soluciones alcanzables y aplicables en la línea de producción, las soluciones potenciales se aterrizaron como se visualiza en la tabla 2.9.1.

**Tabla 2.9.1**

*Clasificación de soluciones potenciales*

No	Soluciones potenciales	Esfuerzo		Impacto	
		Bajo	Alto	Bajo	Alto
1	Comience a controlar el tiempo de vida de la flauta (solo hazlo)	x			x
2	Capacitar a los operadores para la calibración (Ingeniería de Mantenimiento)		x		x
3	Inspeccione el status del quemador y la salida de la llama		X		x
4	Zapatitas/flautas de respaldo para un cambio rápido		x		x
5	Realizar validación con la temperatura de limpieza de la herradura/flauta	x			x
6	Verifique las condiciones básicas y las líneas de gas del quemador al cambiar GLP o GNL		X		X
7	Controle el tiempo que se usa el rodillo de simetría (verifique las condiciones básicas del rodillo, nivelación y ajustes de pernos)	X		X	
8	Realice una limpieza semanal con rodillo y cepillo en ambas estaciones. Asegúrate de que los pinceles no	x			x

	tengan residuos. Actualización de instructivos técnicos de trabajo.				
9	Automatice el encendido de escobillas y flautas (aire comprimido)		X		x
10	Adapta un recipiente donde puedas guardar los residuos que dejan los cepillos.	X		x	

### 2.9.1 Soluciones potenciales alineadas a su causa raíz.

Las causas raíz fueron alineadas con su respectiva solución para tener un mejor detalle del impacto que se logrará tener. De esta manera quedó de la siguiente tabla 2.9.2.

**Tabla 2.9.2**

*Causas raíz alineadas a su solución potencial*

Causas	Causas raíz	Posibles soluciones
Tiempo de uso prolongado de la flauta	No hay control de la vida de la flauta	Empezar a controlar la vida útil de la flauta
Plomo en los agujeros del zapato	No hay en stock	Realizar la validación con la temperatura para la limpieza del zapato/flauta.
	Falta de conocimiento para calibrar el quemador	Verificar las condiciones básicas y las líneas de gas del quemador al cambiar GLP o GNL

Hay residuos en los rodillos	El diseño debe ser así para las expectativas de calidad	Realizar la limpieza semanal de rollos y cepillos en ambas estaciones. Asegúrate de que los pinceles no tengan residuos. Actualización de trabajo instructivo.
		Automatizar el encendido de escobillas y flautas (aire comprimido)

## 2.10 Plan de implementación

Para lograr de una manera eficiente la implementación de estas soluciones, se elaboró el siguiente plan donde se involucra la causa raíz, la solución, el encargado, los costos asociados (en dólares), fechas de implementación y el por qué implementarlo. De esta forma se garantiza una correcta y ordenada aplicación de las soluciones (Tabla 2.10.1).

**Tabla 2.10.1***Plan de implementación*

No	CAUSA RAÍZ	QUÉ	Por qué	CÓMO	QUIÉN	DÓNDE	CUÁNTO	CUANDO
1	No hay control de la vida de la flauta	Comience a controlar el tiempo de vida de la flauta (solo hazlo)	Ayuda a realizar un seguimiento de la vida útil de la flauta, para saber cuándo necesita un cambio. Reduce el riesgo de obstrucción de plomo.	Establecer un registro manual, documentar en la unidad	Líderes, supervisores y operadores de proyectos	CONCAST grid line	\$20	23/12/2024
2	Out of stock	Realice la validación con la temperatura para la limpieza del zapato/flauta.	Para agilizar la limpieza, para reducir el tiempo de paradas no programadas.	Compare el tiempo que tardan las resistencias en alcanzar la temperatura ideal para limpiar el plomo	Líderes, supervisores y operadores de proyectos	CONCAST Grid line	-	23/12/2024
3	Falta de conocimiento para calibrar el quemador	Verifique las condiciones básicas y las líneas de gas del quemador al cambiar GLP o GNL	Esto ayudará al operador a actuar y ajustar la temperatura a tiempo, con el fin de tener un mejor control de la temperatura, reduciendo el tiempo de inactividad y las rejillas defectuosas.	Prepare placas especiales por tipo de gas. Revise el quemador y las válvulas solenoides de gas. Actualizar las instrucciones de trabajo	Líderes, supervisores y operadores de proyectos	Lead pot	\$300	10/12/2024
4-5	El diseño debe ser así para las expectativas de calidad	Realice la limpieza con rodillo y cepillo en ambas estaciones antes de comenzar cada cambio. Asegúrate de que los pinceles no tengan residuos.	Ayudará a reducir el tiempo de limpieza y las rejillas de mala calidad	Actualización de WI desde el trabajo previo al arranque	Líderes de proyecto, supervisor y operador, Área de Mantenimiento	Conroll station	\$5	23/12/2024
		Automatice el encendido de escobillas y flautas (aire comprimido)	Aumenta el tiempo dedicado a la producción y ayuda a obtener rejillas de buena calidad	Programe los cepillos y las ranuras al instante cuando se encienda la máquina	Líderes de proyectos, supervisor y operador, especialista en automatización	Conroll station	\$50	ON HOLD

**2.10.1 Proceso de implementación: Solución 1**

La causa raíz de esta solución es que no se tenía control de la vida útil de la flauta, por lo que luego de conversaciones con el supervisor y el gerente de producción se logró crear un filtro de Shoplogix para tener esta información actualizada y en tiempo de real.

**2.10.2 Proceso de implementación: Solución 2**

Para solucionar el problema de que no hay más zapatas en stock que puedan reemplazar a las que se tapan con plomo al momento de su uso se hizo una actualización al proceso de limpieza de las zapatas. Primero se validó la temperatura ideal a la que el plomo se derrite y de esta forma se capacitó a los operadores y al supervisor de planta para que únicamente se utilice la

resistencia que logra alcanzar la temperatura ideal en un menor tiempo, que en este caso es la resistencia nueva (Figura 2.10.1).

### **Figura 2.10.1**

*Resistencia validada por líderes de proyecto*



De esta forma se reduce el tiempo de para no programada por no tener a disposición la zapata requerida.

### **2.10.3 Proceso de implementación: Solución 3**

La causa raíz de esta solución es la falta de conocimiento para calibrar los quemadores del crisol. Para solucionar este problema se diseñaron y fabricaron dos tipos de platinas que corresponden al tipo de gas que se esté utilizando en ese momento. Cada una de estas platinas tienen una medida de diámetro específico de 8mm y 11.5mm respectivamente (Figura 2.10.2 y figura 2.10.3). De esta forma se puede controlar el flujo del gas (Gas licuado de petróleo o gas natural) y mantener una temperatura constante dentro del crisol que evita que el plomo se solidifique cuando ingresa por las tuberías o la zapata.

**Figura 2.10.2**

*Platina de 11.5 mm*



**Figura 2.10.3**

*Platina de 8 mm*



El proceso de implementación fue el siguiente:

- Diseñar y fabricar los dos tipos de platinas con el área de ingeniería en mantenimiento.
- Revisar el tipo de gas que se va a utilizar en la jornada.
- Cambiar la platina para regular el flujo del tipo de gas respectivo.

- Almacenar la platina que no se va a utilizar.
- Revisar las válvulas solenoide.
- Capacitar a los operadores sobre los nuevos cambios.

#### ***2.10.4 Proceso de implementación: Solución 4***

La causa raíz detrás de esta solución es el diseño de los rodillos de las estaciones CONROLL, se evidenció que en los cepillos y flauta de aire que existen actualmente para limpiar los rodillos se almacena mucho residuo de rejilla (Figura 2.10.4) que daña los rodillos y también el producto en proceso. Se estableció un plan de limpieza actualizando el instructivo de trabajo previo arranque para un estándar de limpieza semanal.

**Figura 2.10.4**

*Residuos en las estaciones CONROLL*



### ***2.10.5 Proceso de implementación: Solución 5***

Los cepillos y flautas de aire ubicados en las estaciones CONROLL deben ser activados de manera manual por el operador encargado. Sin embargo, hay ocasiones donde no se los activaba en el momento requerido. Se optó por automatizar este proceso para cuidar la vida útil de los rodillos y además evitar paradas no programadas. El proceso fue el siguiente:

- Consultar disponibilidad del especialista en automatización para su aplicación.
- Limpiar los cepillos y flauta de aire de las estaciones CONROLL
- Programar el encendido automático de las flautas de aire y cepillos simultáneamente con la máquina

## Capítulo 3

### 3.1 Resultados

Las soluciones previamente explicadas fueron aprobadas por la empresa a finales de diciembre y se empezó a aplicarlas los primeros días de enero, por lo que se tomará como referencia estas fechas para en análisis de los resultados obtenidos.

#### 3.1.1 Solución 1

El impacto de esta solución será reflejado a largo plazo cuando se realicen mantenimientos preventivos o cuando se requiera adquirir una nueva flauta debido al fin de vida útil de la actual. Como el tiempo de uso de cada flauta va a ser conocido en los filtros de Shoplogix se podrá llevar un control de su estado físico.

#### 3.1.2 Solución 2

La aplicación de esta solución al estandarizarse permitirá que los operadores sigan un procedimiento al limpiar las zapatas tapadas con plomo. La resistencia más moderna reducirá los tiempos de para en un 32% aproximadamente para los siguientes 2 meses (Tabla 3.1.1 y tabla 3.2.1).

**Tabla 3.1.1**

*Tiempo requerido para derretir el plomo de cada resistencia*

	Tiempo promedio en derretir el plomo (horas)
Resistencia antigua	0,45
Resistencia nueva	0,1
Diferencia de tiempo (Antigua vs moderna)	0,35

**Tabla 3.1.2***Ahorro de tiempo en limpieza de flauta/zapata*

Datos del 7 al 25 de septiembre 2024			
Parada menor	Horas requeridas para completar actividad	Promedio reducido en horas	% de ahorro de tiempo
Limpieza de flauta/zapata	1,05	0,35	33,33%
Limpieza de flauta/zapata	1,09	0,35	32,11%
Limpieza de flauta/zapata	0,66	0,35	53,03%
Limpieza de flauta/zapata	1,08	0,35	32,41%
Limpieza de flauta/zapata	1,75	0,35	20,00%
Limpieza de flauta/zapata	1,14	0,35	30,70%
Limpieza de flauta/zapata	1,4	0,35	25,00%
			32,37%

**3.1.3 Solución 3**

La aplicación de esta solución reduce el número de paradas no programadas dentro de la línea ya que se mantiene controlada la temperatura del plomo dentro del crisol y la flauta y zapata. Además de reducir las rejillas defectuosas. También se reduce el promedio de tiempo y el número de paradas no programadas en un 56% por semana (Tabla 3.1.3, tabla 3.1.4 y tabla 3.1.5).

**Tabla 3.1.3***Comparación escenarios*

Rejillas desperdiciadas (unidades)	
Últimos 7 días de aplicación	35000

Promedio cada 5 días durante el mes	54554
Promedio de ahorro por semana	35,84%

**Tabla 3.1.4***Promedio de tiempo antes*

Fecha	Número de paradas	Total (horas)
01-09-24 to 05-09-24	4	3,78
06-09-24 to 10-09-24	4	7,06
10-09-24 to 15-09-24	1	0,35
15-09-24 to 20-09-24	3	0,47
20-09-24 to 25-09-24	5	1,26
Promedio de tiempo cada 5 días		2,59

**Tabla 3.1.5***Promedio de tiempo luego de implementación*

Fecha	Número de paradas	Total (horas)
05-01-25 to 10-01-25	4	2,24
11-01-25 to 15-01-25	0	0
Promedio de tiempo cada 5 días		1,12

### 3.1.4 Solución 4

Al actualizar el instructivo de trabajo previo arranque de la línea, los operadores tendrán que realizar esta actividad de acuerdo con el tiempo indicado (una vez por semana). De esta manera la tarea quedaría estandarizada y se previene los daños y paradas no programadas relacionadas (Figura 3.1.1).

**Figura 3.1.1**

*Instructivo de trabajo actualizado*

<b>Puesto de Trabajo</b> - Técnico Operador de Rejilladora	Fecha de Aprobación: <i>Ago.28.2024</i>			CÓDIGO CAST-PDS	
	Elaborado por: W. Morán	Aprobado por: Danny Ricaurte	Aprobado por: CPvC	Ciclo Tiempo 30,000 paneles de rejilla/2h	
<b>Nombre elemento:</b> #3 Conroll	 Seguro para el operador	 Proceso crítico	 Chequeo Calidad	 Secuencia obligatoria	
	<b>Símbolo</b>	<b>Paso #</b>	<b>Paso Principal (¿Qué?)</b>	<b>Punto Clave (¿Cómo?)</b>	<b>Razón (¿Por qué?)</b>
			Limpieza de cepillos y flauta de aire Conroll	Limpieza Semanal, realizar previo al arranque. Verificar que no queden residuos de rejilla en los cepillos y la flauta de aire no este tapada.	Prevenir daños en los rodillos o defectos por calidad en las rejillas.

### 3.2 Prueba de normalidad

Con los datos obtenidos en el mes de enero se hizo una prueba de normalidad (Figura 3.2.1).

**Figura 3.2.1**

*Prueba de Normalidad de proceso mejorado*

```

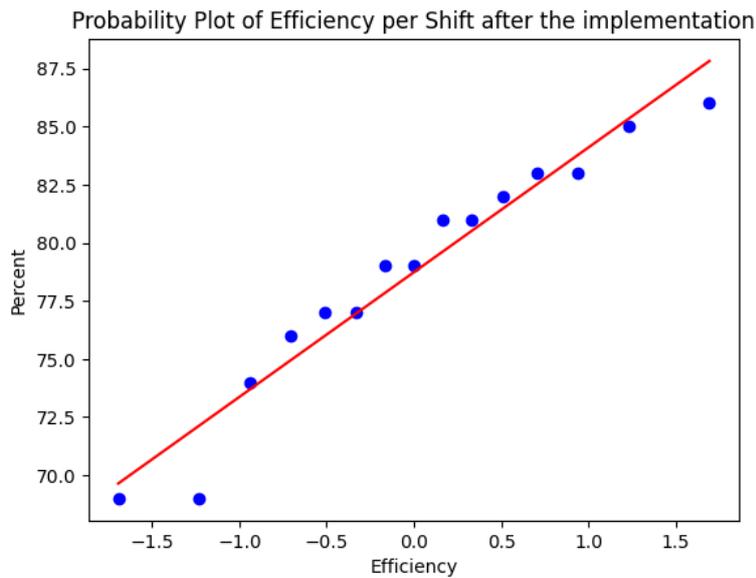
Before implementation data: Fail to reject H0 (the data are normally distributed)
After implementation data: Fail to reject H0 (the data are normally distributed)

Shapiro-Wilk Test Results:
Before - Statistic: 0.9622, p-value: 0.1100
After - Statistic: 0.9349, p-value: 0.3222
    
```

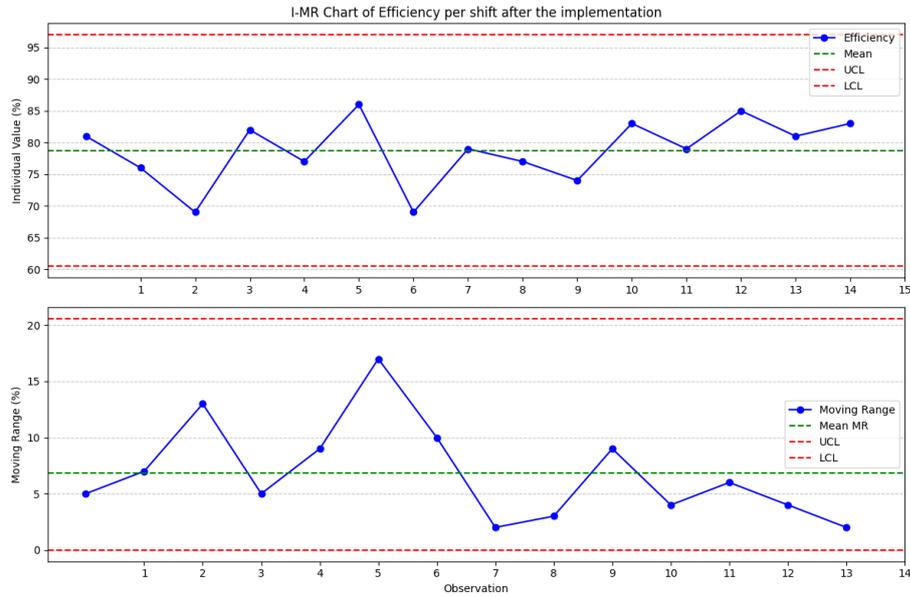
Debido a que el valor P es mayor 0.1 se concluyó que los datos están normalmente distribuidos y se corrobora con la figura 3.2.2.

### Figura 3.2.2

*Gráfico de probabilidad de eficiencia en proceso mejorado*



Se implementó el método de control estadístico de procesos utilizando cartas de control para la media y el rango móvil, cuyos resultados se presentan en la figura 3.2.3. Se evidencia que el proceso está bajo control estadístico, dado que todos los puntos se encuentran dentro de los límites de control establecidos. Sin embargo, se observa cierta dispersión en el rango móvil, lo que sugiere la presencia de una variabilidad residual en el proceso que debe ser gestionada para mejorar su estabilidad y calidad.

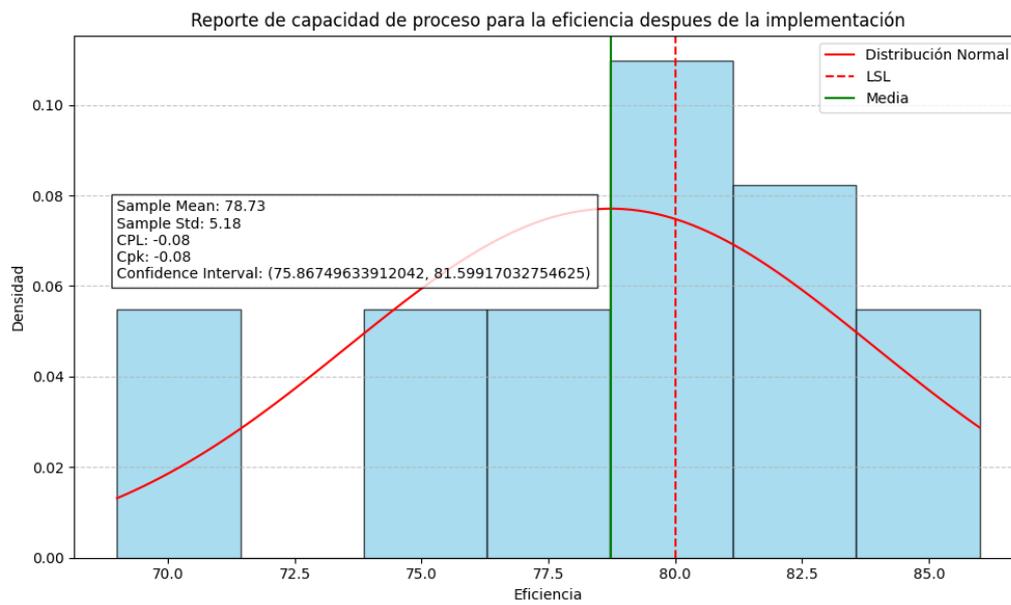
**Figura 3.2.3***Cartas de control proceso mejorado*

### 3.3 Análisis de capacidad

Para evaluar la capacidad del proceso, se empleó el índice  $C_{pk}$ , el cual determina el grado de correspondencia entre la variabilidad del proceso y las especificaciones del cliente. Se llevó a cabo un análisis de capacidad con los datos obtenidos tras la implementación de las mejoras, cuyos resultados se presentan en la figura 3.3.1 Se obtuvo un valor de  $C_{pk} = -0,08$ , lo que indica que el proceso es más estable y tiene potencial en la capacidad para cumplir con el objetivo del proyecto.

**Figura 3.3.1**

*Capacidad de proceso luego de las mejoras*



### 3.4 Sostenibilidad del proyecto (Triple Bottom Line)

Como etapa final de este proyecto, se evaluaron las condiciones económicas, sociales y ambientales tanto antes como después de su implementación, con el objetivo de analizar su impacto en estos tres aspectos.

#### 3.4.1 Justificación económica

Para esto se va a considerar el número de rejillas que se podían hacer antes en 20 horas contra el número de rejillas que se lograron hacer en el mismo tiempo después de la implementación de las soluciones, considerando una tasa de producción de 23640 unidades/hora

##### 3.4.1.1 Escenario previo a mejoras

*Rejillas producidas antes = Tasa de producción \* (Horas planificadas – horas perdidas)*

$$\text{Rejillas producidas antes} = 23640 \left( \frac{\text{unidades}}{\text{hora}} \right) * [20(\text{horas}) - 4,66(\text{horas})]$$

$$\text{Rejillas producidas antes} = 362638 \text{ unidades}$$

Esto demostró una mayor producción, ya que el tiempo dedicado a la misma es neto por lo tanto hay mayor ganancia y reducción de costos por paradas no programadas.

#### **3.4.1.2 Escenario después de las mejoras**

$$\text{Rejillas producidas ahora} = \text{Tasa de producción} * (\text{Horas planificadas} - \text{horas perdidas})$$

$$\text{Rejillas producidas ahora} = 23640 \left( \frac{\text{unidades}}{\text{hora}} \right) * [20(\text{horas}) - 0,57(\text{horas})]$$

$$\text{Rejillas producidas ahora} = 459325 \text{ unidades}$$

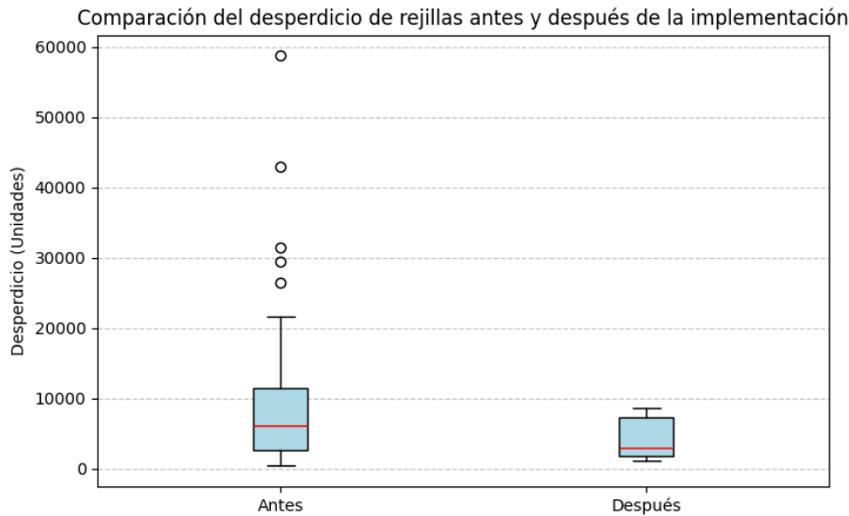
Con esto se demostró que hay mayor producción, lo cual implica mayor ganancia en el mismo tiempo.

#### **3.4.2 Justificación ambiental**

El objetivo de ese indicador fue disminuir el desperdicio de rejillas (Figura 3.4.1) ya que de esta forma se logra un ahorro de agua y energía eléctrica en la línea de rejillas continuas. A continuación, en el siguiente diagrama de cajas está representado la media de desperdicio antes y después de implementar las soluciones propuestas.

**Figura 3.4.1**

*Desperdicio de rejillas antes y después de las implementaciones*



Además, se realizó una prueba t para comprobar si la diferencia es estadísticamente significativa entre las muestras lo que arrojó los resultados representados en la tabla 3.4.1.

**Tabla 3.4.1**

*Prueba t realizada para desperdicio después de implementar mejoras*

Estadístico	Valor	Interpretación
<b>T (Estadístico t)</b>	2.5689	Mide la diferencia estandarizada entre las medias de los dos grupos. Un valor mayor indica una diferencia más pronunciada.
<b>Grados de libertad (dof)</b>	37.96	Indica el número de valores independientes que pueden variar en el análisis.
<b>Hipótesis alternativa</b>	Dos colas	La prueba evalúa si hay una diferencia significativa en cualquier dirección.
<b>Valor p (p-val)</b>	0.0143	Como es menor que 0.05, se rechaza la hipótesis nula, lo que indica una diferencia significativa entre los grupos.
<b>Intervalo de confianza (95%)</b>	[1266.47, 10685.28]	Rango en el que se encuentra la diferencia de medias con un 95% de confianza. No incluye el 0, lo que confirma la diferencia significativa.
<b>Tamaño del efecto (Cohen-d)</b>	0.5114	Un tamaño de efecto moderado, lo que indica que la diferencia tiene relevancia práctica.
<b>Factor de Bayes (BF10)</b>	3.903	Hay una evidencia moderada a favor de la hipótesis alternativa.

### 3.4.3 Justificación social

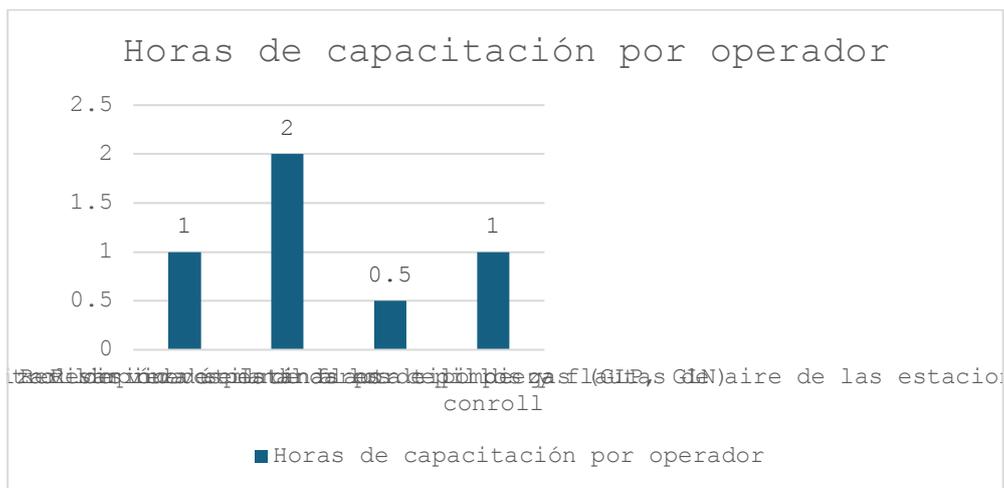
Para este apartado se buscó aumentar las horas de capacitación en temas de mejora continua impartidas al personal operativo. Se realizó la medición mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Número de capacitaciones} = \sum \text{Número de capacitaciones en herramientas de mejora continua impartidas al personal operativo}$$

Los resultados se reflejan en la tabla 3.4.2.

**Tabla 3.4.2**

*Horas de capacitación para el indicador social*



### 3.5 Plan de control

En la tabla 3.5.1 se presenta el plan de control con el que se conseguirá ejecutar cada solución y conseguir estandarizarlas para que se sigan cumpliendo a largo plazo.

**Tabla 3.5.1***Plan de control*

¿Qué	¿Quién	¿Por qué?	¿Cómo?	¿Cuándo?	¿Dónde?
Verificación de indicadores de uso de la flauta en Shoplogix	Supervisor de planta, ingeniero de procesos, ingeniero en mantenimiento	Evidenciar el tiempo de vida útil que le queda a la flauta para prevenir paradas no programadas y realizar mantenimientos preventivos cuando no esta en uso	Mediante el filtro de Shoplogix y sus indicadores de uso	3días antes de su uso planificado	Shoplogix
Formalización de las dimensiones y el diseño de las platinas por tipo de gas	Supervisor de planta, ingeniería en mantenimiento	En caso de necesitar una nueva platina planificar su elaboración para evitar paradas no programadas	Enviando una orden de elaboración al departamento de ingeniería en mantenimiento	Realizar chequeo semanal para verificar condiciones de la platina	Línea de rejillado CONCAST
Proceso de limpieza de zapata cuando esta obstruía con plomo	Operadores de línea	Disminuir el tiempo por parada no programada al limpiar la zapata y la flauta	Implementar control visual del estándar de limpieza con el procedimiento nuevo para reducir el tiempo de la parada no programada	Cada vez que se presente esta parada no programada	Línea de rejillado CONCAST

---

Estándar de limpieza para estaciones conroll	Supervisor de planta, operadores	Prevenir daños en los rodillos y producto desperdiciado	Implementar un control visual del instructivo de trabajo actualizado en las estaciones para que el operador sepa donde enfocarse al momento de hacer la limpieza.	1 vez por semana previo al arranque de la línea	Estaciones conroll
--	----------------------------------	---	---	---	--------------------

---

## Capítulo 4

#### **4.1 Conclusiones**

- Con la metodología DMAIC se logró identificar las causas raíz que afectaban a la eficiencia de la línea, gracias a esto se implementan las soluciones propuestas dando como resultado un aumento en la eficiencia del 4.6%.
- Al aplicar las soluciones propuestas se logró disminuir el número de paradas programas por temperatura, reducir el tiempo de resolver una parada por temperatura en aproximadamente 56%, aumentar el tiempo que la línea se mantiene productiva, disminuir el número de rejillas desperdiciadas cada 7 días por cuestiones de calidad en casi un 36% y reducir el retrabajo.
- Se establecieron controles para todas las soluciones aplicadas, definiendo como se harán, encargados de hacerlo y posible documentación que se deba incluir de ser necesaria, con el fin de que se cumplan y se mantengan con el tiempo.

#### **4.2 Recomendaciones**

- Se recomienda que la empresa siga usando la metodología DMAIC para futuras novedades como: nuevas averías, paradas menores, cuello de botella, etc.
- Se recomienda hacer un seguimiento de todas las causas que no se estudiaron en el proyecto.
- Se recomienda seguir el plan de control y establecer nuevos si es necesario.

## Referencias

### Bibliografía

- de Alba Padilla, C. A., & Muñoz, M. G. (2017). Estudio y fabricación de una batería ácido plomo. *Universidad Tecnológica de la Mixteca*, 1-6.
- Godina, R., Pimentel, C., Matias, J., & Silva, F. (2018). A Structural Literature Review of the Single Minute Exchange of Die: The Latest Trends. *Procedia Manufacturing*, 783-790.
- Lema Osorio, P., Remache Sasig, M., Saltos Taipei, E., & García Quiroz, J. (2023). Eficiencia de las baterías convencionales en comparación con las baterías de flujo y el impacto ambiental en el Ecuador. *Revista de investigación Talentos*, 2-7.
- Mittal, A., Gupta, P., Kumar, V., Al Owad, A., Mahlawat, S., & Singh, S. (2023). The performance improvement analysis using Six Sigma DMAIC methodology: A case study on Indian manufacturing company. *Heliyon*, 2.
- Nandakumar, N., Saleeshya, P., & Harikumar, P. (2020). Bottleneck Identification And Process Improvement By Lean Six Sigma DMAIC Methodology. *Materials Today: Proceedings*, Pages 1217-1224.
- Ranade, P. B., Reddy, G., Koppal, P., Paithankar, A., & Shevale, S. (2021). Implementation of DMAIC methodology in green sand-casting process. *Materials Today: Proceedings*, 501.