

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Aumento de la eficiencia de una línea de ensamble de baterías para vehículos

INGE-2810

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingenieros Industriales

Presentado por:

Odalis Solange Pillasagua Ponce

José Andrés Sánchez Rezavala

Guayaquil - Ecuador

Año: 2025

Dedicatoria

El presente proyecto se lo dedico a Dios que ha sido mi fortaleza, a mis papás por apoyarme a pesar de todo, a mi hermana por ser mi mayor compañía y a mis amigos que siempre han mostrado su apoyo sincero en cada paso que avanzo.

Odalís Solange Pillasagua Ponce

Dedicatoria

A mis padres, por todo su sacrificio y confianza en estos años, y me enseñaron que las metas no son inalcanzables cuando uno se esmera.

A mis maestros, por cada enseñanza que me dieron y cada reto que me planearon para recorrer este camino y llegar a ser un profesional.

A mis compañeros, quienes me acompañaron por este camino y me brindaron todo el apoyo y amistad en cada clase.

Y, a mí mismo por no haberme rendido nunca a pesar de que hubo ocasiones en querer hacerlo, y me mantuve firme en cada paso que me acercaba a esta meta.

José Andrés Sánchez Rezavala

Declaración Expresa

Nosotros José Andres Sanchez Rezavala y Odalis Solange Pillasagua Ponce acordamos y reconocemos que:

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

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

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

Guayaquil, 27 de mayo del 2025.



Rezavala



Ponce

Evaluadores

M.Eng. Maria Fernanda López Sarzosa

Profesora

M.Sc. María Laura Retamales García

Tutora de proyecto

Resumen

El presente proyecto tuvo como objetivo incrementar la eficiencia promedio de la línea de ensamble 3 de una empresa manufacturera de batería para vehículos, utilizando herramientas de Lean Six Sigma como la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar). Este trabajo se lo realizó en conjunto con el personal de la línea, operadores, supervisores, mecánicos y gerentes, quienes apoyaron dando información clave y valiosa. Se realizaron análisis estadísticos y observaciones en el área para poder encontrar las causas raíz de cada parada menor.

Debido a la gran cantidad de referencias de baterías que se ensamblaban en la línea 3 por jornada, se encontró una gran pérdida de eficiencia durante cada cambio de referencia y calibraciones previas a la producción.

Gracias al trabajo por etapas de DMAIC se plantearon soluciones para cada causa raíz y se logró reducir los tiempos de paradas menores, tiempos de cambios y calibraciones en la línea, el cual tenía relación directa con la eficiencia. Una vez implementadas estas soluciones el promedio de la eficiencia aumentó del 64% al 71%, paralelamente logrando reducir desperdicios de la línea como las baterías no conformes.

Palabras clave: Clave: DMAIC, referencias, eficiencia.

Abstract

The objective of this project is to increase the average efficiency of assembly line 3 of a vehicle battery manufacturing company, using Lean Six Sigma tools such as the DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) methodology. This work was carried out in conjunction with the line personnel, operators, supervisors, mechanics and managers, who provided key and valuable information. Statistical analysis and observations were made in the area in order to find the root causes of each minor stoppage.

Due to the large number of battery references that are assembled on line 3 per day, there is a great loss of efficiency during each reference change and calibrations before starting production.

Thanks to DMAIC's work in stages, solutions were proposed for each root cause and it was possible to reduce the times of minor stops, changeover times and calibrations in the line, which had a direct relationship with efficiency. Once these solutions were implemented, the average efficiency increased from 64% to 71%, at the same time reducing line waste such as non-conforming batteries.

Keywords: *DMAIC, references, efficiency.*

Índice General

<i>Resumen</i>	<i>I</i>
<i>Abstract</i>	<i>II</i>
<i>Índice General</i>	<i>III</i>
<i>Índice de tablas</i>	<i>IX</i>
<i>Capítulo 1.....</i>	<i>1</i>
<i>1. Introducción.....</i>	<i>2</i>
<i>1.1. Descripción del problema.....</i>	<i>3</i>
<i>1.2. Justificación del Problema</i>	<i>3</i>
<i>1.3. Objetivos</i>	<i>4</i>
<i>1.3.1. Objetivo general.....</i>	<i>4</i>
<i>1.3.2. Objetivos específicos.....</i>	<i>4</i>
<i>1.4. Marco teórico.....</i>	<i>4</i>
<i>Capítulo 2.....</i>	<i>7</i>
<i>2. Metodología</i>	<i>8</i>
<i>2.1. Definición.....</i>	<i>8</i>
<i>2.1.1. SIPOC</i>	<i>8</i>
<i>2.1.2. VOC y Diagrama de Afinidad.....</i>	<i>9</i>
<i>2.1.3. Árbol Crítico de la Calidad</i>	<i>10</i>
<i>2.1.4. Variable de salida y la serie de tiempo.....</i>	<i>11</i>

2.1.5.	<i>Definición del Problema</i>	12
2.1.6.	<i>Triple Línea Base</i>	13
2.2.	<i>Medición</i>	15
2.2.1.	<i>Mapeo del proceso</i>	15
2.2.2.	<i>Análisis de valor del proceso</i>	21
2.2.3.	<i>Plan de recolección de datos</i>	22
2.2.4.	<i>Validación de datos</i>	23
2.2.5.	<i>Análisis de normalidad</i>	28
2.2.6.	<i>Análisis de capacidad y estabilidad</i>	28
2.2.7.	<i>Problema enfocado</i>	30
2.3.	<i>Análisis</i>	31
2.3.1.	<i>Lluvia de ideas y diagrama causa-efecto</i>	31
2.3.2.	<i>Matriz causa-efecto</i>	34
2.3.3.	<i>Matriz control-impacto</i>	37
2.3.4.	<i>Plan de verificación de causas</i>	39
2.3.5.	<i>Verificación de causas</i>	41
2.3.6.	<i>5 Porqué</i>	48
2.3.7.	<i>Soluciones potenciales</i>	50
2.4.	<i>Mejorar</i>	52
2.4.1.	<i>Plan de Implementación</i>	54

2.4.2.	<i>Proceso de Implementación</i>	55
Capítulo 3		67
3.	<i>Resultados</i>	68
3.1.	<i>Control</i>	68
3.1.1.	<i>Análisis de la variable de respuesta antes y después de la implementación</i>	68
3.1.2.	<i>Análisis de capacidad para la variable de respuesta</i>	69
3.2.	<i>Tiple botton line</i>	71
3.2.1.	<i>Variable ambiental</i>	71
3.2.2.	<i>Variable económica</i>	72
3.2.3.	<i>Variable Social</i>	72
3.3.	<i>Plan de control</i>	73
Capítulo 4		77
4.	<i>Conclusiones</i>	78
5.	<i>Recomendaciones</i>	79
Referencias		80

Índice de Figuras

Figura 1 Serie de tiempo de la eficiencia semanal de la línea de ensamble 3	12
Figura 2 OTIDA sección 1 del proceso	16
Figura 3 OTIDA sección 2 del proceso	17
Figura 4 OTIDA sección 3 del proceso	18
Figura 5 OTIDA sección 4 del proceso	19
Figura 6 OTIDA sección 5 del proceso	20
Figura 7 Diagrama de cajas de comparación de datos observados y registrados	24
Figura 8 Comparación de datos observados y registrados de desperdicios	25
Figura 9 Diagrama de cajas de tiempo de inactividad observados vs registrados	26
Figura 10 Diagrama de Pareto con tiempos de inactividad Observados	27
Figura 11 Diagrama de Pareto con tiempos de inactividad Registrados	27
Figura 12 Análisis de normalidad de los datos de eficiencia semanal.....	28
Figura 13 Análisis de estabilidad y capacidad de la eficiencia semanal.....	29
Figura 14 Diagrama de Ishikawa para la primera agrupación	32
Figura 15 Diagrama de Ishikawa para la segunda agrupación	32
Figura 16 Diagrama de Ishikawa para la tercera agrupación.....	33
Figura 17 Diagrama de Ishikawa para la cuarta agrupación.....	33
Figura 18 Diagrama de Ishikawa para la quinta agrupación.....	34
Figura 19 Diagrama de Pareto de causas	37
Figura 20 Matriz control-impacto	39
Figura 21 Diagrama de cajas del tiempo de inactividad por bajo nivel de formación o capacitación en procesos operativos	43

Figura 22 Verificación visual por falta de sustitución de burros	44
Figura 23 Diagrama de caja de tiempo de inactividad por calibración sin parámetros ni estándar definido	45
Figura 24 Diagrama de caja de tiempo de inactividad por rebabas en casquillos impiden la liberación posterior	45
Figura 25 Verificación visual del enfriamiento de goma.....	46
Figura 26 Análisis ANOVA para determinar diferencias significativas entre tipo de referencia por enfriamiento de goma	47
Figura 27 Diagrama de caja de tiempo de inactividad por enfriamiento de goma	47
Figura 28 Matriz Impacto – Esfuerzo	53
Figura 29 Paso a paso solución 1	56
Figura 30 Plantilla de nomenclatura de repuestos	56
Figura 31 Plantilla de nomenclatura de repuestos agrupados por familias.....	56
Figura 32 Paso a paso solución 2.....	57
Figura 33 Procedimiento estándar de cambio en pegado térmico.	58
Figura 34 Procedimiento estándar de calibración en soldado eléctrico.	59
Figura 35 Paso a paso solución 4.....	59
Figura 36 Formato de solicitud de repuestos para mantenimiento preventivo	60
Figura 37 Paso a paso solución 5.....	61
Figura 38 Formato de inspección de repuestos.....	62
Figura 39 Paso a paso solución 6.....	62
Figura 40 Paso a paso solución 7	63
Figura 41 Método para prueba T de dos muestras	68

Figura 42 Resultados de estadísticas descriptivas de la prueba T	68
Figura 43 Valor P para la diferencia de medias de la eficiencia semanal antes y después de la implementación.....	69
Figura 44 Diagrama de diferencia de medias para la eficiencia semanal antes y después de la implementación.....	69
Figura 45 Prueba de normalidad de los datos de eficiencia semanal después de la implementación	70
Figura 46 Carta de control I-MR de la eficiencia semanal después de la implementación	70
Figura 47 Análisis de capacidad de la eficiencia semanal después de la implementación.....	71
Figura 48 Serie de tiempo del desperdicio total en la línea 3 cada mes	72

Índice de tablas

Tabla 1 SIPOC del proceso de fabricación de la batería	9
Tabla 2 Diagrama de afinidad.....	10
Tabla 3 Árbol crítico de la calidad.....	11
Tabla 4 3W+2H para definir el problema.....	13
Tabla 5 Resumen del diagrama OTIDA	21
Tabla 6 Análisis de Valor	22
Tabla 7 Plan de recolección de datos.....	23
Tabla 8 Prueba Mann-Whitney.....	26
Tabla 9 Estructuración 1 del problema enfocado con la herramienta 5W+1H.....	30
Tabla 10 Estructuración 2 del problema enfocado con la herramienta 5W+1H.....	31
Tabla 11 Matriz causa-efecto.....	35
Tabla 12 Escala de calificación.....	37
Tabla 13	38
Tabla 14 Agrupación de causas potenciales similares.....	39
Tabla 15 Plan de validación de causas.....	40
Tabla 16 Criterio de evaluación de los operadores.....	42
Tabla 17 Datos del nivel de formación en la línea de acuerdo con su sección de trabajo	43
Tabla 18 Análisis de 5 porqués.....	48
Tabla 19 Soluciones potenciales.....	50
Tabla 20 Causas potenciales	52
Tabla 21 Soluciones Potenciales.....	53
Tabla 22 <i>Plan De Implementación</i>	54

Tabla 23 Implementación De Solución 1.....	55
Tabla 24 Implementación De Solución 2.....	57
Tabla 25 Implementación De Solución 3.....	58
Tabla 26 Implementación De Solución 4.....	59
Tabla 27 Implementación De Solución 5.....	61
Tabla 28 Implementación De Solución 6.....	62
Tabla 29 Implementación De Solución 7.....	63
Tabla 30 Datos Para Estudio De Velocidad De Línea	64
Tabla 31 Datos Para Estudio De Velocidad De Línea	65
Tabla 32 <i>Datos Para Estudio De Velocidad De Línea</i>	65
Tabla 33 <i>Velocidades Ajustadas De La Línea</i>	66
Tabla 34 <i>Tasa De Producción De Baterías En Función A La Velocidad De La Línea</i>	66
Tabla 35 Plan de control para estandarización de la nomenclatura de piezas de repuesto.	73
Tabla 36 Plan de control para el stock de seguridad para piezas de repuesto.	73
Tabla 37 Plan de control para la documentación y control de cambios y calibraciones.	74
Tabla 38 Plan de control para la alineación de repuesto y partes con mantenimientos preventivos.	74
Tabla 39 Plan de control para la inspección técnica de piezas de repuesto críticas en la recepción de materiales.	75
Tabla 40 Plan de control para alarma sonora en máquina de goma.....	75
Tabla 41 Plan de control para ajuste de velocidad de la línea basada en la capacidad de la máquina de goma.	76

Abreviaturas

AMEF	Análisis Modal de Fallos y Efectos
AV	Add Value (Agrega valor)
CTQ	Critical to Quality (Critico para la calidad)
DMAIC	Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar
NNAV	Necessary Non Add Value
NAV	Non Add Value
OTIDA	Operación, Transporte, Inspección, Demora, Almacenamiento
PHVA	Planificar, Hacer, Verificar y Actuar
SIPOC	Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers (Proveedores, entradas, Proceso, Salidas, Clientes)
VOC	Voice of Custiomer (Voz del Cliente)

Capítulo 1

1. Introducción

La industria automotriz sigue siendo parte de los sectores con mayor salida de producto a nivel mundial, y toda su cadena de suministro depende enormemente de sus componentes básicos e importantes, donde uno de ellos es la batería. Según la International Energy Agency (2023), ha ido aumentando sostenidamente la fabricación y demanda de baterías para autos impulsado principalmente tanto por el crecimiento de la demanda vehicular como también por los constantes cambios o renovaciones de vehículos personales.

Este aumento de consumo de las baterías ha obligado a los fabricantes a mejorar y optimizar lo mayor posible sus procesos de fabricación y ensamble para poder responder a tiempo la demanda que cada vez es más exigente con términos de calidad y costos.

Una de las etapas clave en el proceso de fabricación de las baterías para vehículos es su línea de ensamble, ya que aquí es donde rigen las primeras pruebas de calidad, desde el buen estado de las placas internas hasta la verificación de sellado y funcionalidad. (Jou, Wu & Tsai, 2022, p. 3).

No obstante, la ineficiencia de una línea de ensamble puede ser responsable de pérdidas de productividad, causadas por paradas menores, cuellos de botellas, cambios y calibraciones con tiempos prolongados.

Teniendo en cuenta los desafíos a los que se inclina la fabricación de baterías, este proyecto tiene como objetivo mejorar la eficiencia operativa de la línea de ensamble en una empresa de fabricación de baterías para vehículos en Guayaquil, a través de la implementación de la metodología DMAIC (Definir, medir, analizar, mejorar y controlar) del enfoque Seis Sigma.

1.1. Descripción del problema

El presente proyecto busca trabajar con la necesidad identificada de la línea de ensamble 3 de una empresa manufacturera de baterías para vehículos, cuyo problema principal es la baja eficiencia que existe durante la fabricación de las baterías.

Actualmente dicha eficiencia se encuentra en un valor promedio del 64% mensual, mientras que su meta es del 69%, el estar trabajando siempre bajo la meta establecida muestra el problema operativo de la línea de ensamble. Se busca elevar la eficiencia de la línea aplicando herramientas de la metodología Lean Sixs Sigma como DMAIC (Definir, medir, analizar, mejorar y controlar), buscando reducir paradas, eliminar desperdicios y optimizar procesos internos de la línea.

Se busca realizar el proyecto con una referencia de datos otorgados por la organización que abarca desde la semana 6 hasta la semana 21 del 2025, cuyos valores han sido registrados en la plataforma Software de manufactura.

1.2. Justificación del Problema

En la empresa, la línea de ensamble 3 es la que más tipos de baterías fabrica, a veces hasta 4 tipos de batería en un solo turno de trabajo, esto provoca muchas paradas para cambiar y ajustar los equipos para el tipo de batería que se requiere fabricar. Al buscar mejorar la eficiencia de esta línea, puede conllevar estos cambios frecuentes con mayor fluidez, facilidad y con el menor desperdicio posible, de esa manera poder aumentar la producción de baterías contribuyendo al ámbito económico, social y ambiental de la empresa.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Aumentar la eficiencia media de la línea de ensamble 3 del 64% al 69% aplicando la metodología DMAIC de Lean Six Sigma, para octubre de 2025.

1.3.2. Objetivos específicos

Recopilar y analizar datos operativos de la línea de montaje 3 para establecer una base de referencia cuantitativa.

Aplicar las herramientas de análisis DMAIC para identificar las causas raíz de la ineficiencia en el proceso de montaje de la línea 3.

Aplicar las mejoras propuestas y validarlas en el proceso utilizando los indicadores clave de eficacia operativa en la línea de montaje 3.

1.4. Marco teórico

Lean Six Sigma es una metodología de mejora continua que se enfoca en la complementación entre el Lean Manufacturing y el Six Sigma. Lean Manufacturing se enfoca en eliminar desperdicios, y el Six Sigma está orientado en la mejora de calidad y en la reducción de la variabilidad de los procesos y volverlos más eficientes.

Juntos forman un enfoque que combina las estrategias del Lean y las herramientas del Six sigma, ayudando a resaltar los procesos que son muy probables al desperdicio, alta variabilidad y defectos. Está basado en el concepto Lean de la década de 1940, establecido primeramente por Toyota para eliminar los desperdicios, seguidamente en el año 1980 se estableció las estrategias del Six Sigma por Motorola para eliminar defectos en la producción.

Una de las iniciativas del Six Sigma es la metodología DMAIC (Definir, medir, analizar, mejorar y controlar), que se implementa como un procedimiento de resolución de conflictos basados en datos que ayuda a ejecutar mejoras y optimizaciones en los procesos, diseños y productos (Montgomery, 2019). Está conformada por 5 etapas:

Definir: El cual establece el problema principal y qué se necesita para resolverlo, define el alcance, los objetivos y el enfoque que se le dará al proyecto de mejora. Involucra elementos críticos de la calidad o “CTQ” (Critical To Quality), y personal clave en el proceso como Operadores, Supervisores y Gerentes.

Medir: En esta fase se evalúa el rendimiento actual del proceso, y se determina qué datos se utilizarán para el análisis, se establece un plan de recolección de datos y medición de los indicadores claves en el área de mejora.

Analizar: Se elabora un mapa del proceso actual utilizando los datos recolectados para identificar en que parte comenzaron los problemas. Se utilizan herramientas de Six sigma como Diagramas de Pareto e Ishikawas para analizar las causas principales y plantear hipótesis sobre cómo solucionarlo.

Mejorar: Se elabora una lluvia de ideas con el equipo para encontrar soluciones que puedan implementarse con base a cada una de las causas raíz encontradas. Se utilizan herramientas como el ciclo “PHVA” (Plantear, Hacer, Verificar y Actuar) junto con el “AMEF” para anticipar posibles problemas durante las pruebas.

Controlar: En el último paso de DMAIC se establece un plan de control para los impactos continuamente de la mejora implementada, además se debe crear un plan de respuesta enfocado en acciones rápidas en el caso que la eficiencia empiece a bajar nuevamente. El tener

trazadas las acciones y mejoras realizadas para las mejoras pueden ser una herramienta muy importante para futuros proyectos de mejora, es necesario tener una adecuada documentación y control del proceso de mejora.

Capítulo 2

2. Metodología

Se utilizó la metodología DMAIC para abordar este proyecto, el cual se desarrolló paso a paso siguiendo las 5 etapas: Definición, Medición, Análisis, Mejora y Control.

2.1. Definición

En la primera etapa de definición se analizó todo el proceso de la línea de ensamble, identificando la problemática principal.

2.1.1. SIPOC

Para comenzar con el estudio del proceso de ensamble de forma detallada, se realizó un SIPOC del proceso para que brinde una visión general donde se involucren los actores y sus interacciones con el proceso, así como a su vez ver el proceso en el que se enfocará el proyecto como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1 SIPOC del proceso de fabricación de la batería

Proveedor	Entradas	Proceso	Salidas	Cliente
Proveedores de materia prima	Lingotes de plomo Moldes Rejilla	Fundición	Rejilla húmeda compactada	Empastado
Máquina de fundición y moldeo de rejilla	Rejilla húmeda compactada	Empastado	Placas secas y cortadas	Ensamblaje
Máquina empastadora	Lingotes de plomo Placas secas y cortadas Rollo de polietileno Silicona Caja de baterías Tapas de baterías	Ensamblaje	Baterías secas sin formar	Formación y carga
Línea de montaje	Baterías sin formar Electrolitos Corriente continua Sistema de control y supervisión Agua des ionizada	Formación y carga	Baterías formada y cargada	Etiquetado y embalaje
Formación y carga	Etiquetas Batería formada y cargada Seguro Insertos de protección Manuales de usuario	Etiquetado y embalaje	Baterías	Clientes mayoristas y minoristas

2.1.2. VOC y Diagrama de Afinidad

Para comenzar a definir el problema se aplica la herramienta VOC (Voice of Customer) que permite recopilar, analizar, y actuar sobre los comentarios de los clientes para mejorar el

proceso. De esta manera se entrevistó a cada uno de los involucrados en el proceso de ensamble como Operadores, Ingenieros de Proceso y Supervisor de Producción, y a su vez al Gerente de Producción siendo este nuestro cliente clave.

Con la información recopilada en el VOC se puede elaborar el diagrama de afinidad para organizar y clasificar los datos e ideas obtenidas. En ello se identificaron 3 conductores: Proceso, Calidad del Producto, Máquina, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2 *Diagrama de afinidad*

Proceso	Calidad del Producto	Máquina
• Debe mejorarse la productividad global • Menor productividad en la línea de montaje 3 que en la otra línea • Cumplir el objetivo de eficiencia de la línea de producción • Los niveles de eficiencia actuales no son aceptables	• Paradas en el control de calidad por problemas de temperatura y el soldado eléctrico • Retrabajos debido a daños en la calidad del producto durante el montaje	• Los cuellos de botella en puntos concretos de la línea de producción provocan pérdidas de tiempo • Se producen paradas menores con frecuencia • Largos tiempos de cambio y ajuste

2.1.3. Árbol Crítico de la Calidad

Para trabajar con las necesidades del cliente obtenidas en las partes anteriores, se usa el CTQ tree para convertir esa información en requisitos medibles del proceso, mostradas en la Tabla 3.

Tabla 3 *Árbol crítico de la calidad*

VOC	Drivers	CTQ
Aumento de la eficiencia en la línea de ensamble 3	Proceso	Porcentaje de eficiencia semanal (%)
		porcentaje de productividad de la línea (%)
	Calidad el producto	Tiempo de SCARP debido a defectos de calidad por semana
		Tiempo de paradas de control de calidad por turno
		Tiempo de reprocesado debido a defectos de calidad por semana
	Máquina	Tiempo de inactividad debido a cambios de referencia (min)
		Tiempo de inactividad menor (min)

2.1.4. Variable de salida y la serie de tiempo

Es fundamental identificar correctamente la variable de salida (Y), ya que esta representa el indicador clave de la eficiencia que se desea mejorar, esta permite cuantificar el problema y evaluar el impacto de las mejoras implementadas. Este indicador se relaciona directamente con la cantidad de baterías ensambladas y la cantidad de baterías fuera de especificación como se observa en la Ecuación 1.

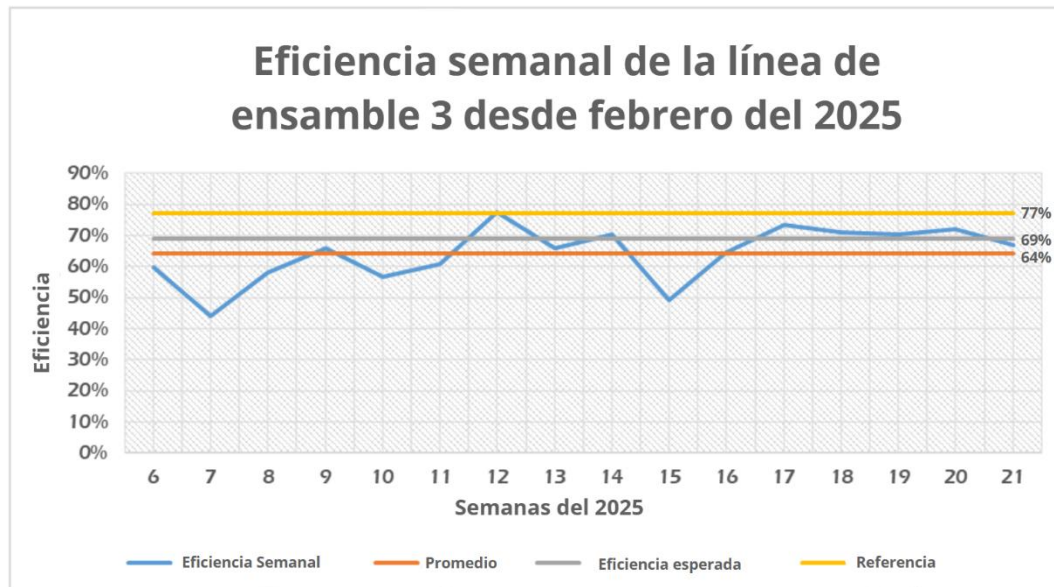
2.1.4.1. Ecuación 1: Variable de Salida (Y)

$$Y = \frac{\text{Numero de baterías ensambladas (Unidades)} - \text{Numero de baterías fuera de especificación (Unidades)}}{\text{Tasa de producción esperada} \left(\frac{\text{Unidades}}{\text{Hora}} \right) \times \text{Producción planeada por jornada (Horas)}}$$

Una vez definida la variable (Y), trabajamos con el conjunto de datos históricos de la eficiencia semanal de la línea de ensamble en un periodo determinado. Se utilizarán datos de la eficiencia semanal desde la semana 06 hasta la semana 21 del 2025 de la línea de ensamble 3.

En la serie de tiempo se puede observar que la eficiencia fluctúa con una media del 64% y un máximo del 77% en la semana 12, obteniendo un GAP total del 13% como se observa en la Figura 1. El proyecto de mejora espera reducir ese GAP a un 5% y poder alcanzar la meta deseada por el cliente.

Figura 1 Serie de tiempo de la eficiencia semanal de la línea de ensamble 3



2.1.5. Definición del Problema

Se utilizó el método de gestión 3W+2H para poder analizar y definir el problema planteando preguntas claves como: ¿Qué?, ¿Dónde?, ¿Cuándo?, ¿Qué tanto?, ¿Cómo lo sé?, como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4 $3W+2H$ para definir el problema

¿Qué?	Eficiencia más baja de la esperada
¿Dónde?	En la línea de ensamble 3
¿Cuándo?	Desde la 6ta semana del 2025
¿Qué tanto?	La eficiencia tiene un promedio del 64%
¿Cómo lo sé?	La eficiencia esperada de la línea es del 69%

Con ello se logró definir el problema con lo siguiente: “Desde la sexta semana del año 2025, la línea de ensamble 3 experimenta niveles de eficiencia por debajo de lo esperado, con una media semanal del 64%. Estos valores están por debajo de la eficiencia esperada del 69%.”

2.1.6. Triple Línea Base

Se establecieron las 3 líneas base del proyecto, enfocados para la mejora del sector Económico, Social y Ambiental de la producción de baterías, cuantificados en las Ecuaciones 2, 3, 4, respectivamente.

2.1.6.1. Ecuación 2: Variable económica

El pilar económico de nuestro proyecto se calcula mediante la fórmula de la eficiencia semanal [%], es decir, nuestra variable de respuesta “Y”. Un incremento o disminución en la eficiencia semanal de la línea repercute directamente en el ámbito económico. De esta forma, podemos relacionar estas variaciones con números de baterías que podrían ser vendidos y generar modificaciones en la utilidad o beneficio de la compañía.

La ecuación matemática que representa este beneficio es:

$$Y = \frac{\text{Numero de baterías ensambladas (Unidades)} - \text{Numero de baterías npc (Unidades)}}{\text{Tasa de producción esperada } \left(\frac{\text{Unidades}}{\text{Hora}}\right) \times \text{Producción planeada por jornada (Horas)}}$$

2.1.6.2. Ecuación 3: Variable social

El pilar social considera la capacitación en herramientas de ingeniería industrial a trabajadores de la línea de ensamble. Para este cálculo se considera que la sumatoria para la escala de valoración o rating que se otorga a cada operador es inversamente proporcional al número total de operadores, además posee una relación directa con la eficiencia dado que a medida que el nivel de capacitación incrementa, existe un incremento de la eficiencia semanal.

La fórmula para el cálculo del pilar social es la siguiente:

Nivel de capacitación =

$$\left(\frac{\sum_{i=1}^{\text{Total Operadores}} \text{Nivel de capacitación del operador } i}{\text{Número total de operadores}} \right) \times \text{Eficiencia semanal de la línea} [\%]$$

2.1.6.3. Ecuación 4: Variable ambiental

El pilar ambiental se calcula a través de una fórmula que engloba el desperdicio total generado por la línea 3, se realiza una suma del peso total de las rejillas desechadas, las baterías npc y el polvo de plomo (todo esto en kilogramos). Dado que el polvo se recolecta durante aproximadamente un mes para luego ser pesado, nuestra variable económica posee datos mensuales.

La fórmula para calcular el pilar económico es la siguiente:

Desperdicio mensual =

(#Rejillas Chatarra (units) × Peso promedio de las rejillas (kg))

+Baterías no conformes (kg) + Polvo de plomo (kg)

2.2. Medición

Esta etapa tiene como objetivo cuantificar el problema actual, realizar la validación de datos y estratificación de estos mediante análisis estadísticos y observaciones.

2.2.1. Mapeo del proceso

Se realizó el mapeo detallado del proceso utilizando un OTIDA (Observación, Toma de Tiempos, Identificación de Desperdicios y Actividades), permitiendo entender de manera visual como se realiza el proceso en la práctica desde el inicio del ensamble hasta la entrega de baterías secas, como se visualiza en la Figura 2.

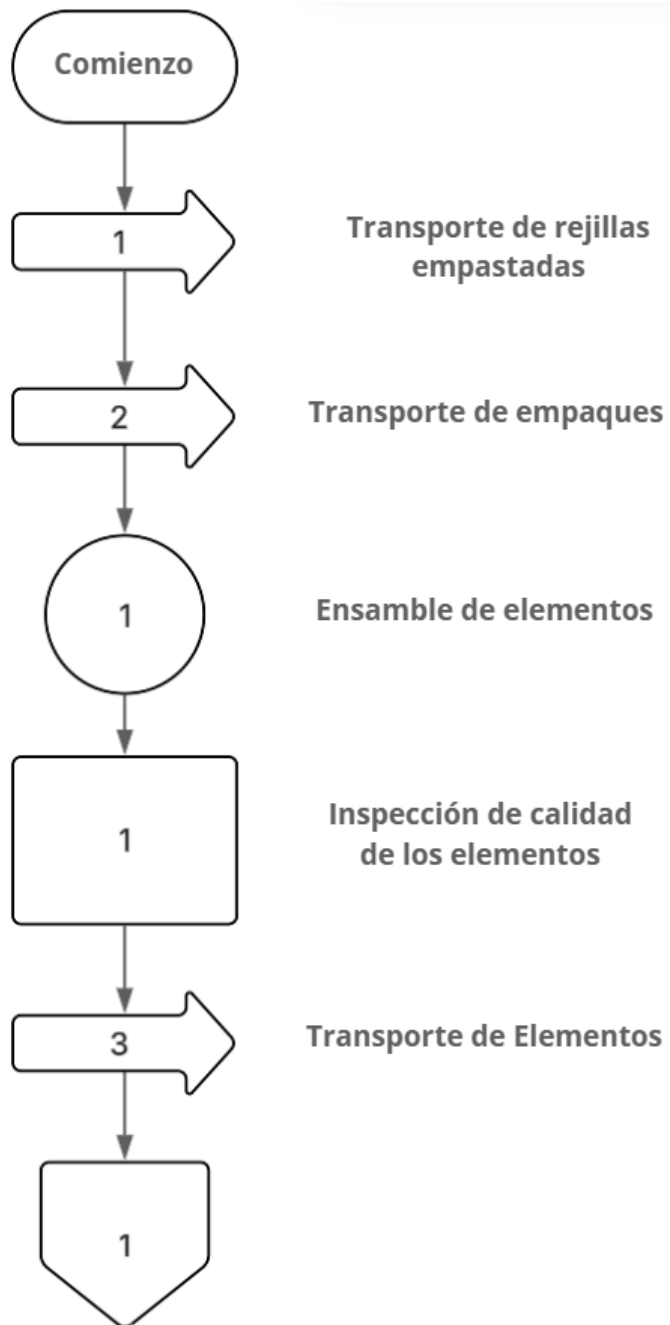
Figura 2 OTIDA sección 1 del proceso

Figura 3 OTIDA sección 2 del proceso

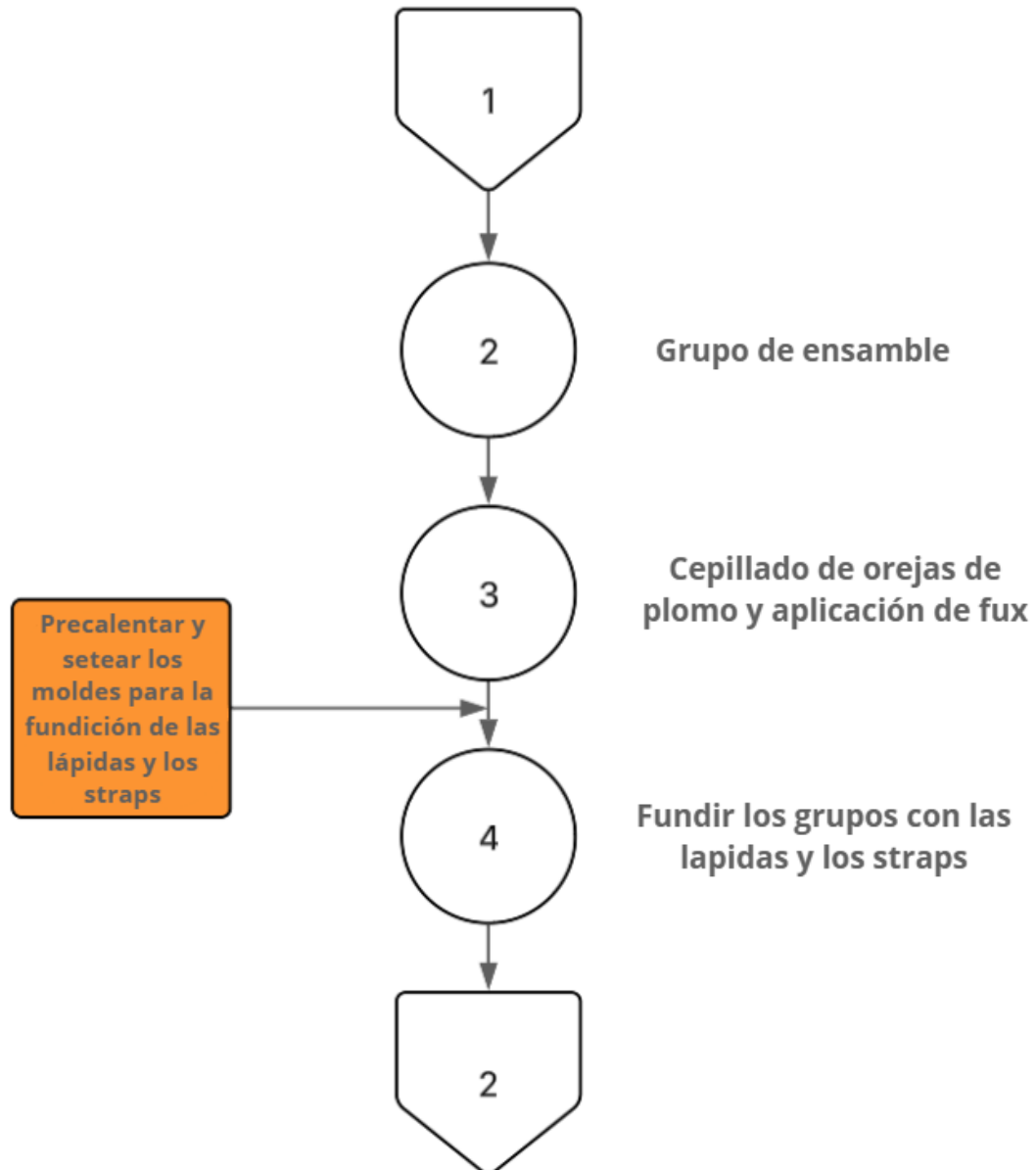


Figura 4 OTIDA sección 3 del proceso

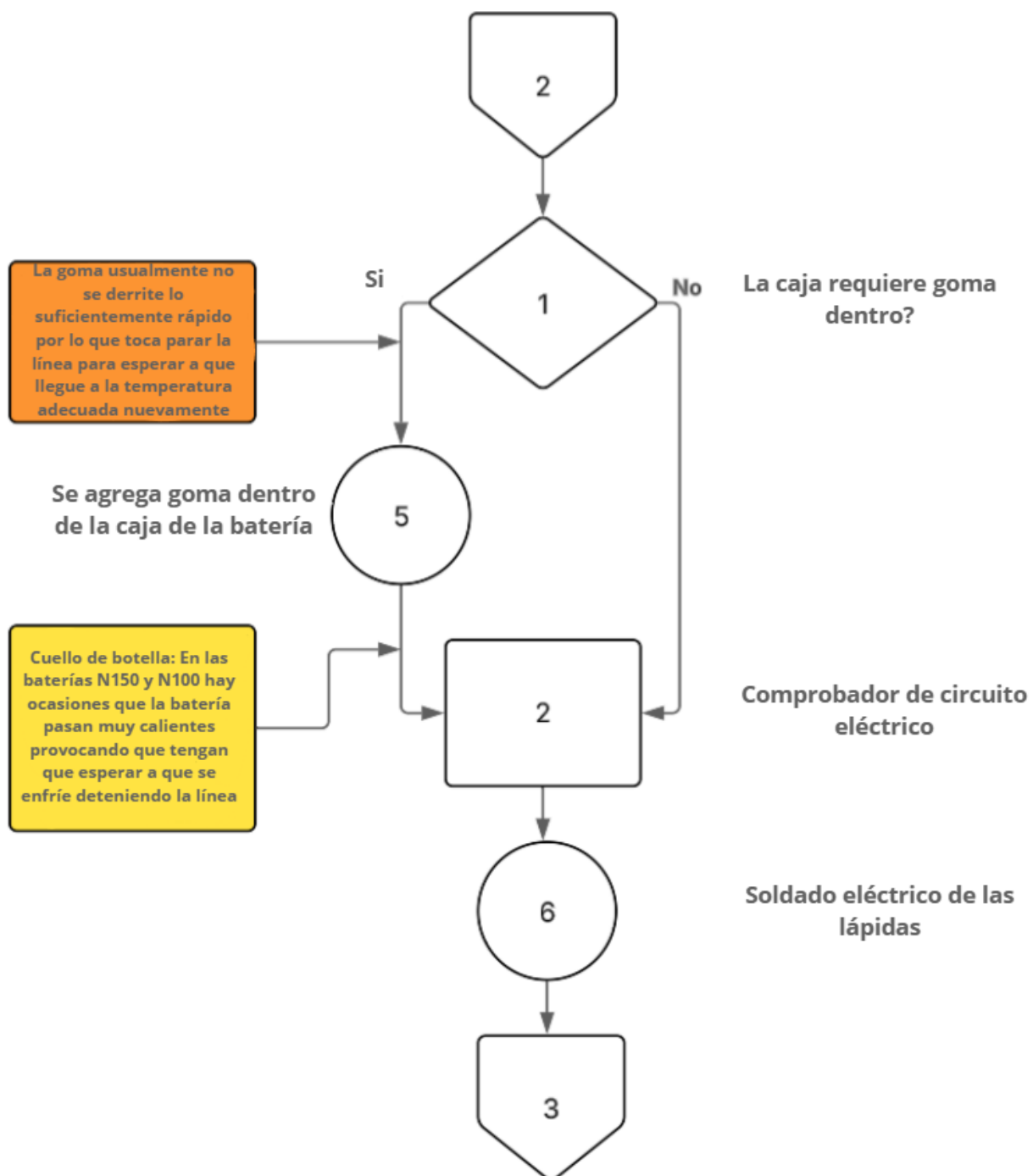


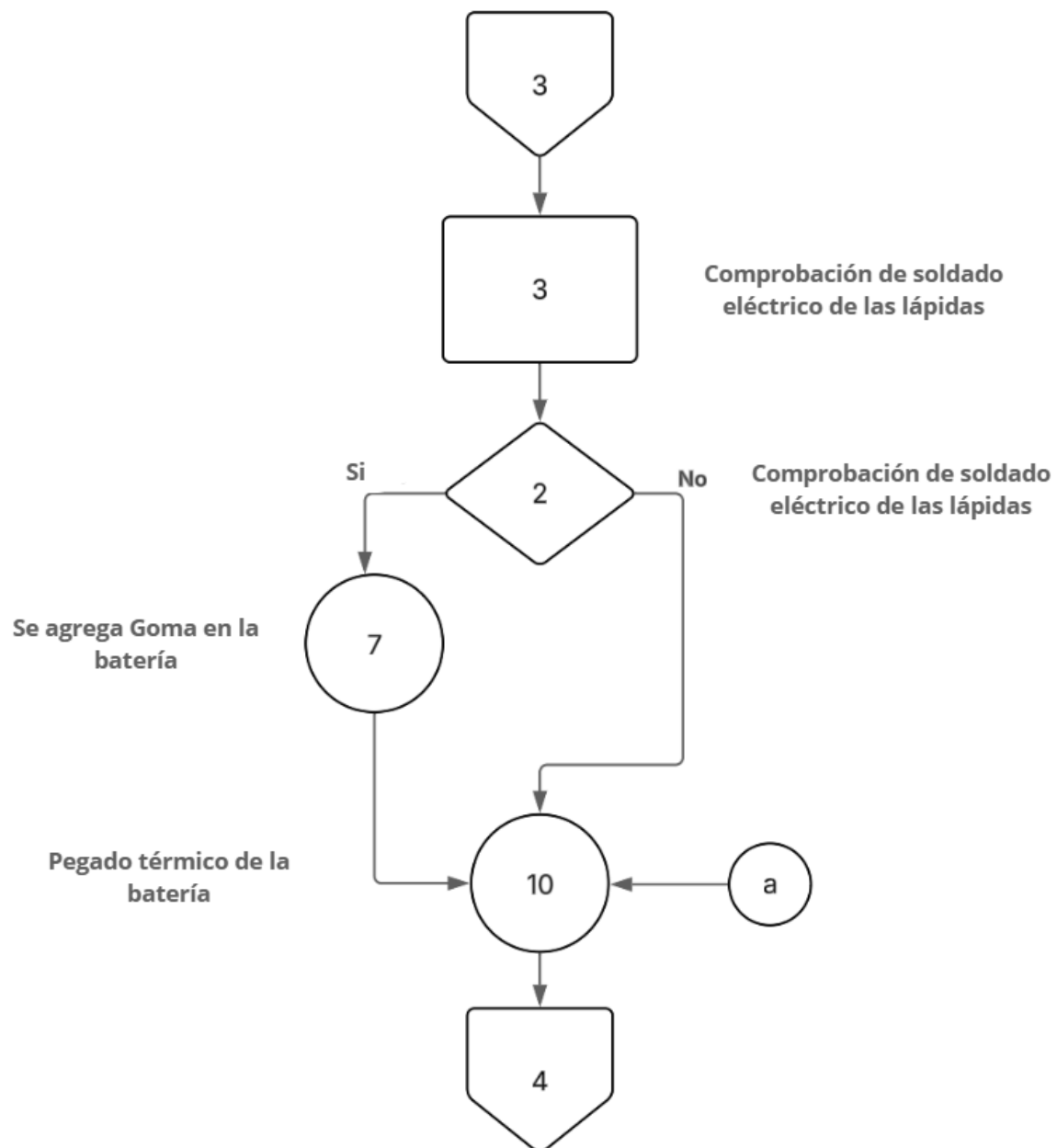
Figura 5 OTIDA sección 4 del proceso

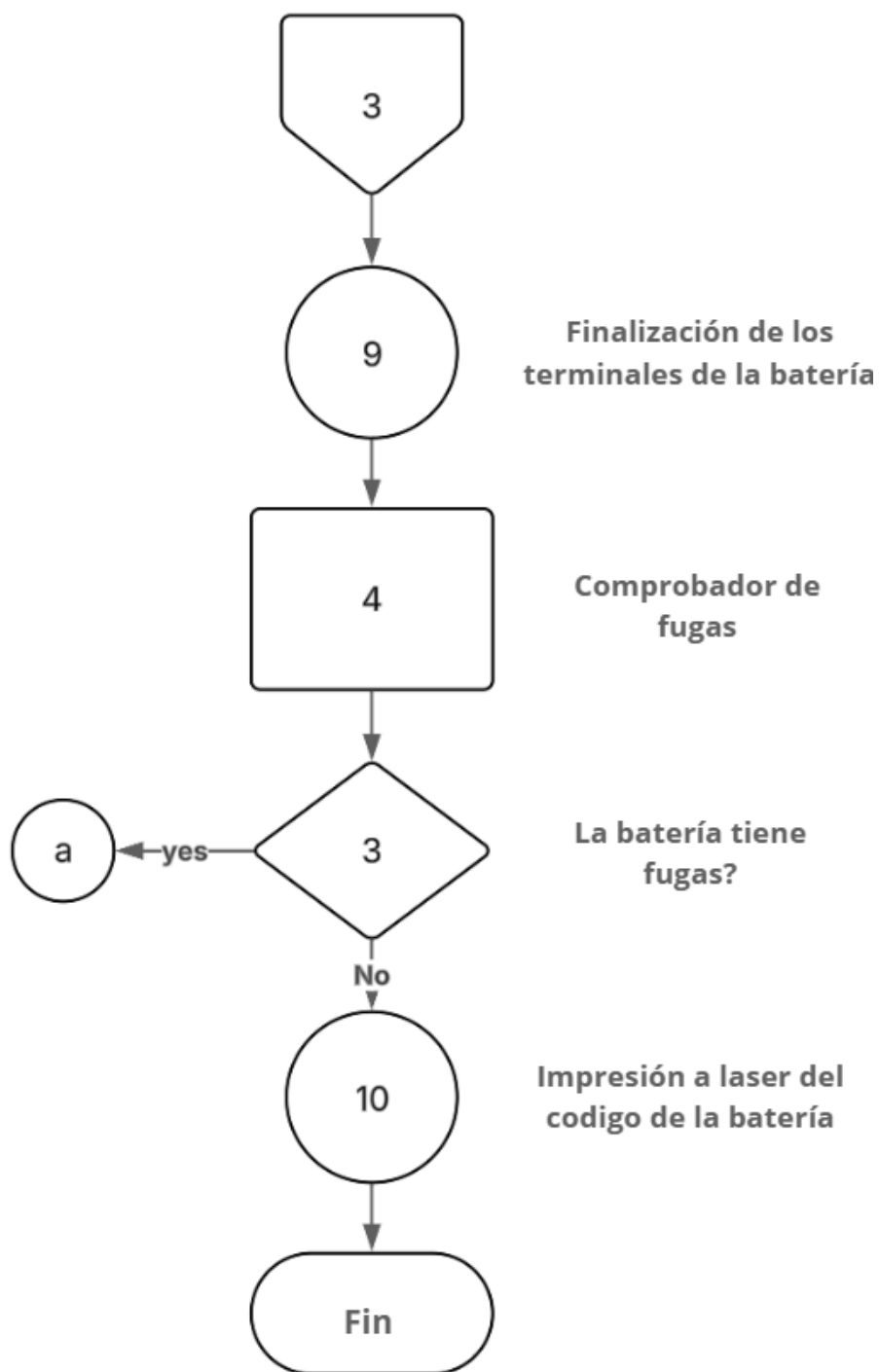
Figura 6 OTIDA sección 5 del proceso

Tabla 5 *Resumen del diagrama OTIDA*

Operación	10
Inspección	4
Decisión	3
Demora	3
Total	0

2.2.2. Análisis de valor del proceso

En esta sección se pudo analizar las secciones del proceso que agregan valor, las que no agregan valor y las que no agregan valor, pero son necesarias ilustrados en la Tabla 6.

Tabla 6 *Análisis de Valor*

Análisis de Valor	Tarea	Tipo de Tarea
AV	Agrupación de ensambles	Operación
	Cepillado de orejas y aplicación de flux	
	Fundición de los grupos con lápidas y straps	
	Aplicación de goma en las cajas	
	Soldado eléctrico de las lápidas	
	Aplicación de goma en las cajas	
	Pegado térmico de la tapa	
	Finalización de los terminales de la batería	
	Codificación laser	
NNVA	Inspección de calidad de los elementos	Inspección
	Comprobación del circuito continuo	
	Comprobación del Soldado eléctrico de las lápidas	
	Comprobador de fugas de la batería	Decisión
NVA	¿Las cajas necesitan goma dentro?	Transporte
	¿Las cajas necesitan goma dentro?	
	¿La batería tiene fugas?	
	Transporte de rejillas empastadas	
	Transporte de sobres	

2.2.3. Plan de recolección de datos

Para asegurar la validez y confiabilidad de los datos recolectados, se planteó el plan de recolección de datos para garantizar el cómo, cuándo, dónde y por quién de la información.

Tabla 7 *Plan de recolección de datos*

Descripción de la Variable	Unidad de Medida	Tipo de Dato	Tamaño de la muestra	Factores de estratificación	Estado
Número de baterías ensambladas	Unidades	Discreto	No es necesario	Tipo de referencia para ensamblar	En proceso
Número de baterías fuera de especificación ensambladas	Unidades	Discreto	No es necesario	Motivo de la no conformidad, tipo de referencia a ensamblar	En proceso
Tiempo de producción planificado	Horas	Continuo	No es necesario	Tipo de referencia para montar, tiempo de inactividad	En proceso
Número de rejillas dañadas	Unidades	Discreto	No es necesario	Tipo de referencia a montar, proporción de rechazo	En proceso
Cantidad de polvo de plomo recogido de la línea	Kg	Continuo	No es necesario	Peso recogido	En proceso
Tiempo de inactividad	Horas	Continuo	No es necesario	Tipo de referencia para ensamblar, tipo de tiempo de inactividad, motivo	En proceso
Nivel de formación	Ponderación (1-5)	Discreto	10	Operador, tipo de formación, semana	En proceso

La recolección de datos se llevó a cabo den 4 días, desde el 23 de junio hasta el 26, en ello se necesitó tanto la ayuda de los operadores mediante observaciones, así como también del supervisor de producción con datos del software de manufactura.

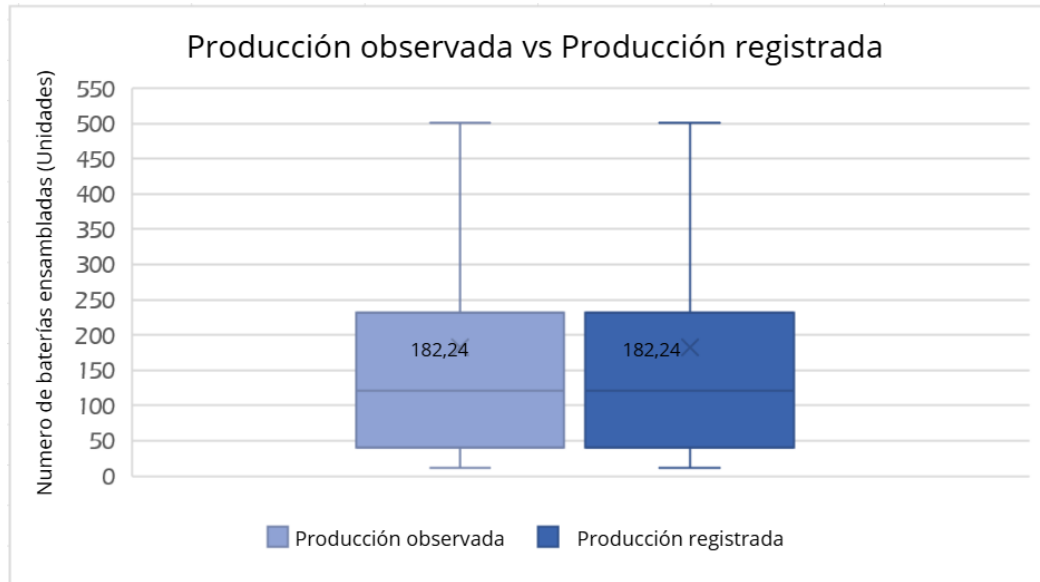
2.2.4. Validación de datos

2.2.4.1. Numero de baterías producidas

Para este análisis se solicitó la información del software de manufactura del número de baterías que se ensamblaron los 4 días de estudio, que fueron registradas en el software de

manufactura, y se hizo una comparación con el número de baterías observadas que fueron ensambladas en la línea, y como se observa en la Figura 7, no hay diferencia alguna entre estos datos observados y los datos registrados en el software de manufactura, por lo que los datos son confiables.

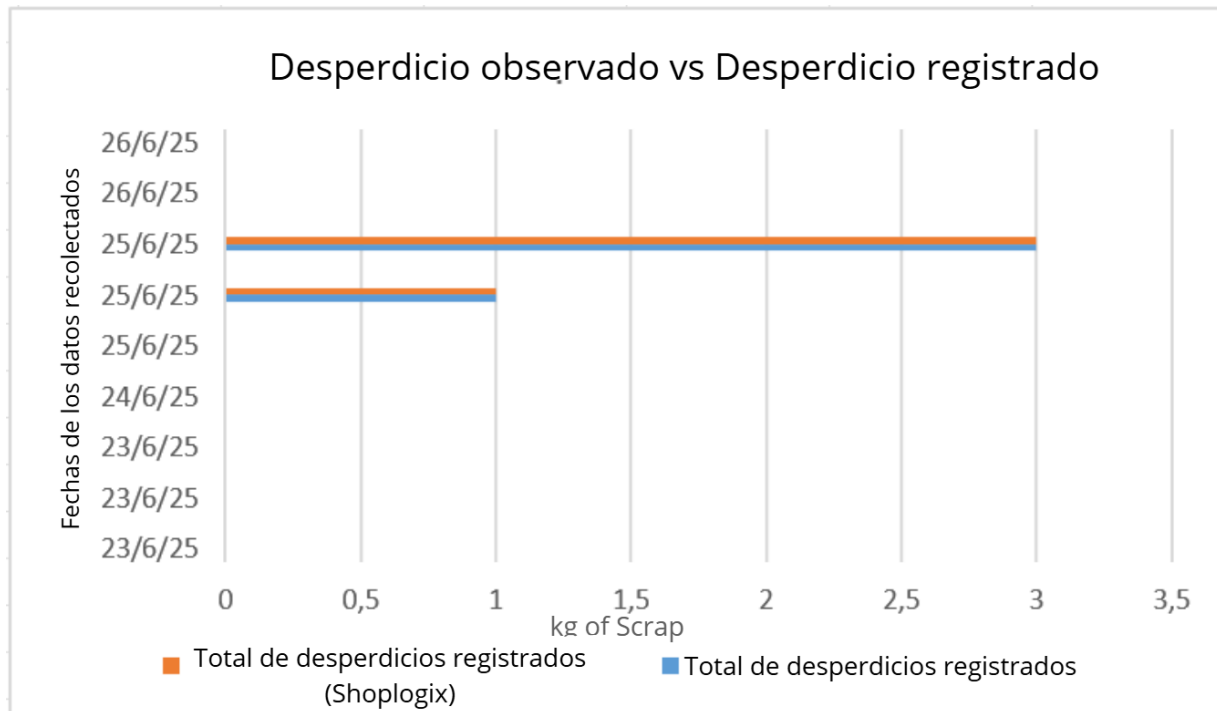
Figura 7 Diagrama de cajas de comparación de datos observados y registrados



2.2.4.2. Número de baterías fuera de especificación

Se evalúan el número de baterías fuera de especificación de igual manera con datos observados y con datos registrados en el software de manufactura para comprobar su veracidad. Como se puede ver en la Figura 8, ambos datos son iguales, por lo que se concluyó que los datos obtenidos son confiables para el estudio.

Figura 8 Comparación de datos observados y registrados de desperdicios



2.2.4.3. *Tiempos de inactividad y tiempos de producción planeados*

Para esta comprobación se realizó una prueba Mann-Whitney para comparar el grupo observado de tiempos con el grupo registrado de tiempos, arrojando un valor de P de 0.821, siendo mayor a 0.05 se concluye que los datos observados y registrados no tiene diferencia Como se observa en la Figura 9. Además, se evaluaron los tiempos de inactividad individualmente a través de un diagrama de Pareto en la Figura 9, donde se observa con más detalle que no existe diferencia alguna.

N1: Media de inactividades observadas

N2: Media de inactividades registradas

Diferencia: $N1 - N2$

Tabla 8 *Prueba Mann-Whitney*

Método	Valor-W	Valor-P
No ajustado para empates	1644.00	0.821
Ajustado para empates	1644.00	0.821

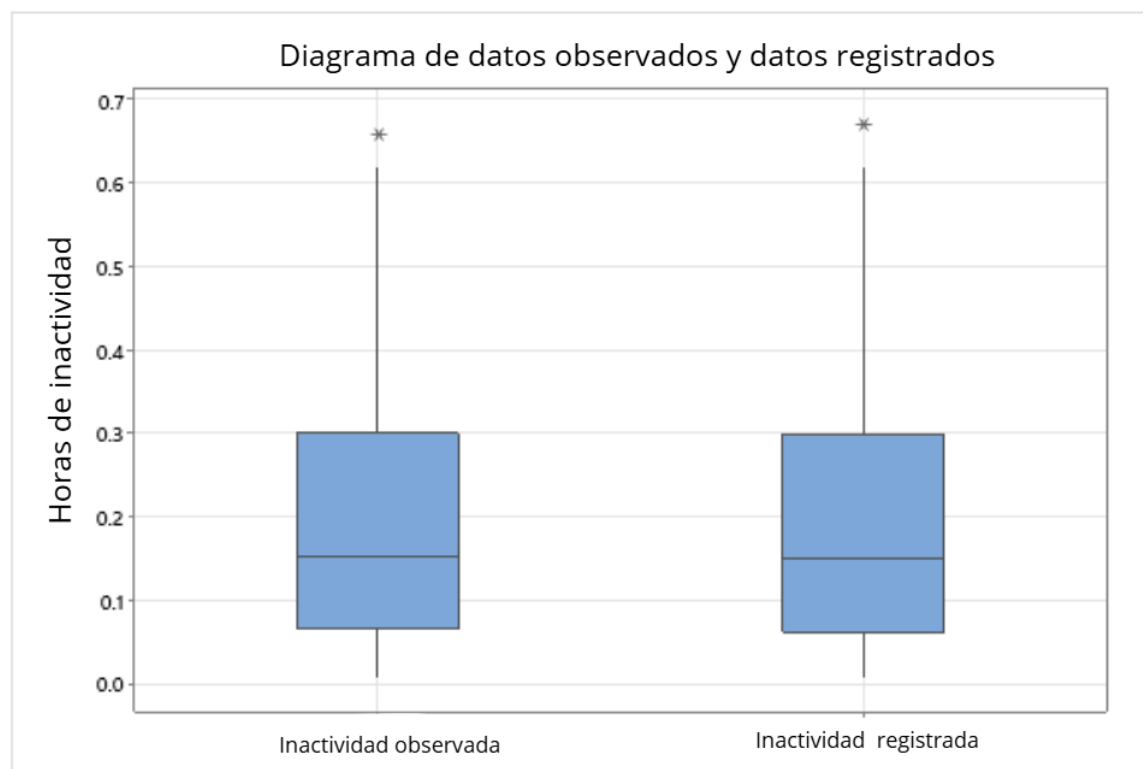
Figura 9 Diagrama de cajas de tiempo de inactividad observados vs registrados

Figura 10 Diagrama de Pareto con tiempos de inactividad Observados

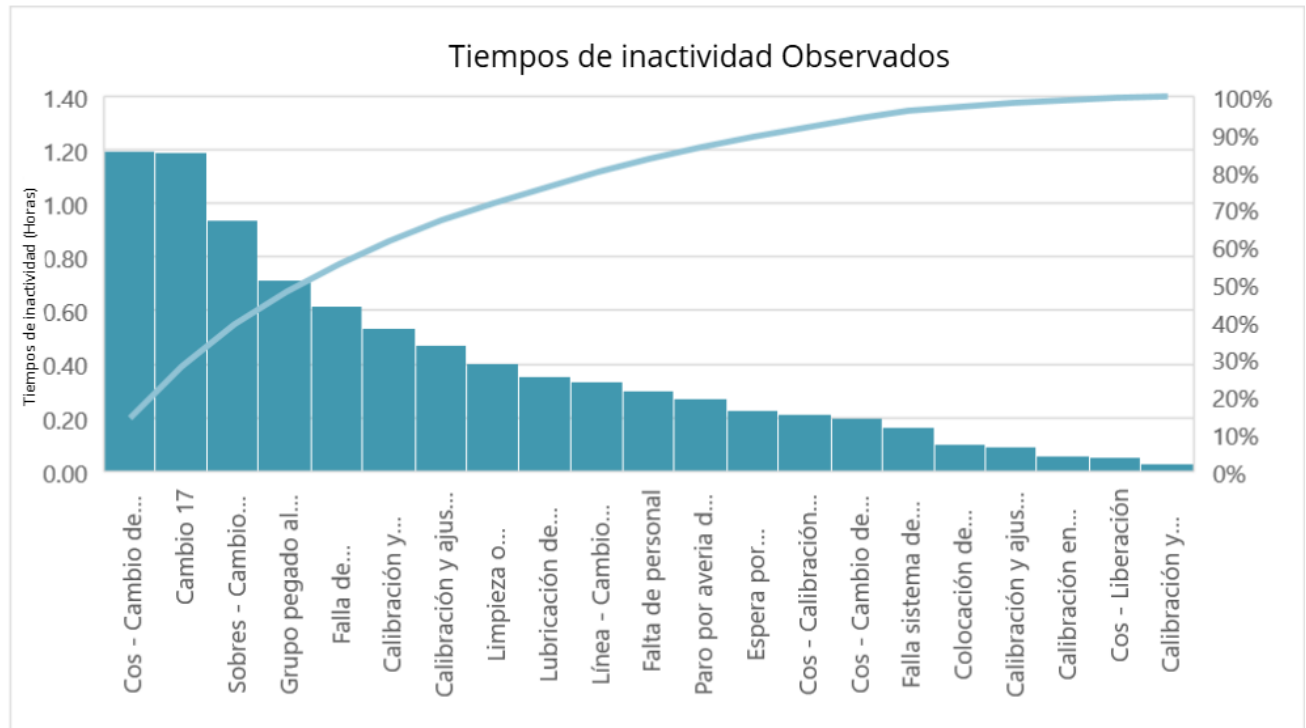
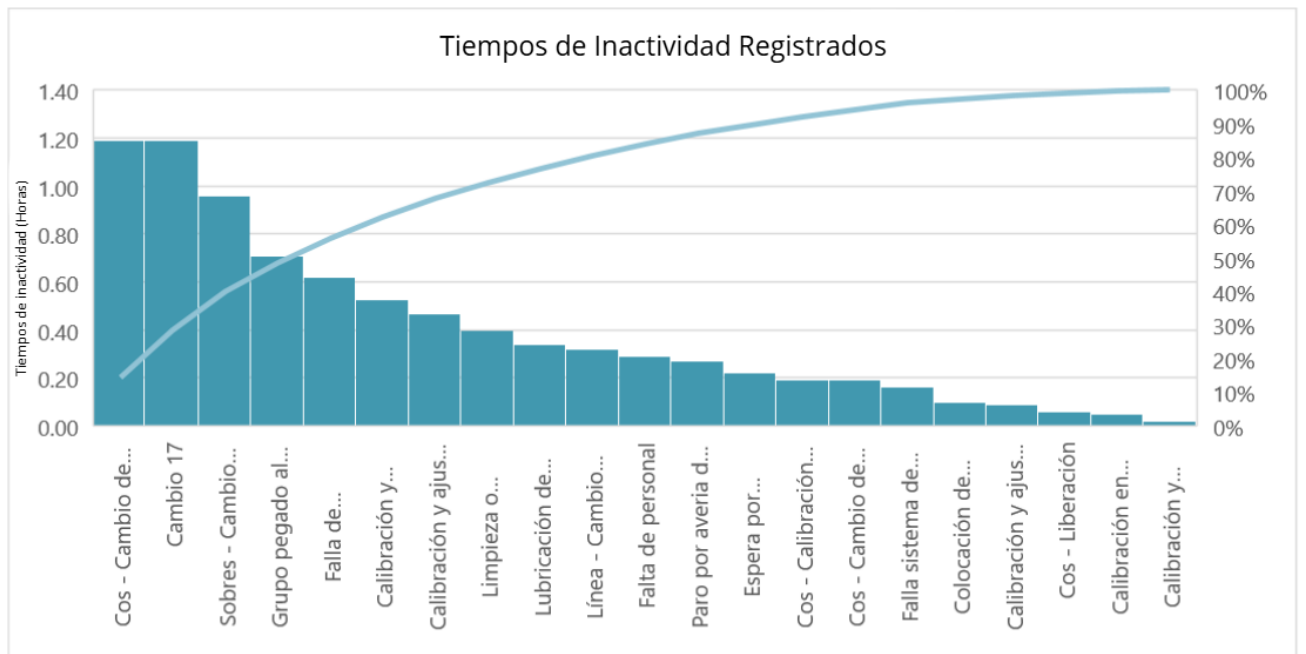


Figura 11 Diagrama de Pareto con tiempos de inactividad Registrados



2.2.5. Análisis de normalidad

En un inicio, se estudió la normalidad de los datos de eficiencia semanal del proceso con 16 valores recolectados desde la sexta semana del año 2025 hasta la semana 21 del mismo año.

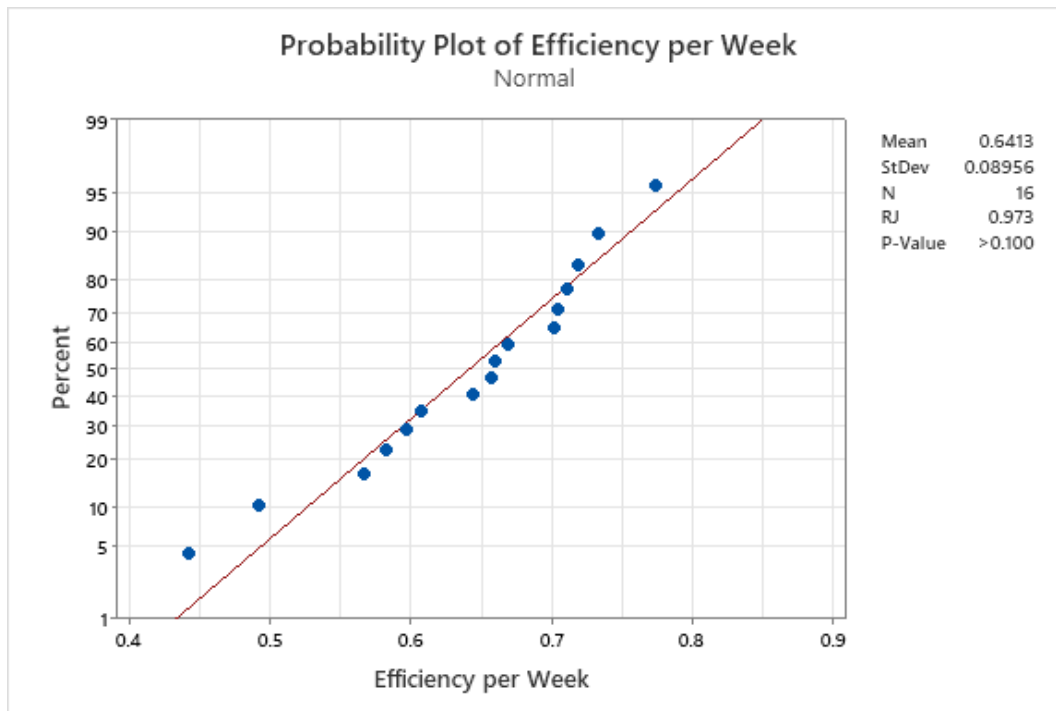
Se evaluaron las siguientes hipótesis:

H_0 : Los datos siguen una distribución normal

H_1 : Los datos no siguen una distribución normal

Con un valor p mayor a 0.1, se acepta la hipótesis nula y se garantiza la normalidad de los datos de eficiencia semanal (ver Figura 12).

Figura 12 Análisis de normalidad de los datos de eficiencia semanal

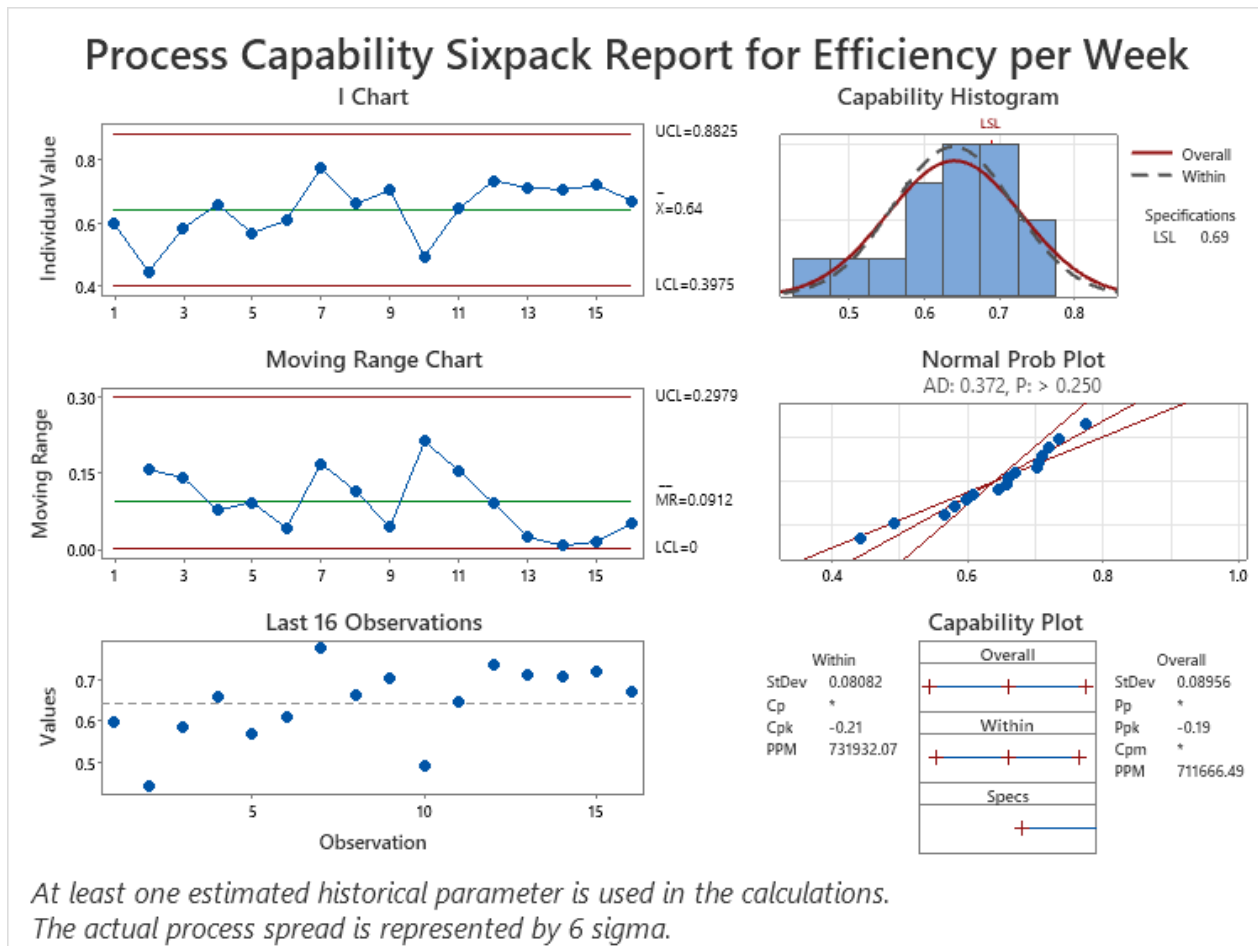


2.2.6. Análisis de capacidad y estabilidad

Una vez comprobada la normalidad de los datos de estudio se procedió a hacer un análisis de capacidad para evaluar si el proceso es capaz de cumplir con las especificaciones

mínimas de eficiencia esperadas por el cliente. Con un límite de especificación inferior de 69%, se concluye que el proceso se encuentra bajo control estadístico, sin embargo, con un Cpk de -21 no es capaz de cumplir con los requerimientos mínimos esperados. Los resultados se muestran en la Figura 13:

Figura 13 Análisis de estabilidad y capacidad de la eficiencia semanal



2.2.7. Problema enfocado

Con ayuda de la herramienta 5W + 1H, se define un problema enfocado para cada una de las 14 razones obtenidas en la estratificación.

Tabla 9 Estructuración 1 del problema enfocado con la herramienta 5W+1H

5W + 1H	Razón 1	Razón 2	Razón 3	Razón 4	Razón 5	Razón 6	Razón 7
¿Qué?	Cambio de molde COS	Colocación de goma	Calibración y ajustes en soldadura eléctrica	Calibración en Sobres-Doble	Cambio de pegado térmico	Lubricación de los botones de los moldes COS	Calibración en Sobres-Alimentador de placas negativo
¿Por qué?	Cambios	Paradas menores	Paradas menores	Paradas menores	Cambios	Paradas menores	Cambios
¿Cuánto?	18,1 horas	17,9 horas	11,0 horas	8,3 horas	7,8 horas	7.25 horas	6.16 horas
¿Cuándo?	De la semana 6 a la semana 21 del año 2025						
¿Dónde?	En la línea de ensamble 3						
¿Quién?	El problema no depende del operador						

Tabla 10 Estructuración 2 del problema enfocado con la herramienta 5W+1H

5W + 1H	Razón 8	Razón 9	Razón 10	Razón 11	Razón 12	Razón 13	Razón 14
¿Qué?	Calibrado y ajustes en la máquina de pegado térmico	Calibrado en sobres-Rodillos de selladores	Limpieza y encorchado de molde	Calibrado y ajuste de las mesas COS	Paro por Construcción manual de bornes	Calibración y ajustes en soldado Bornes	Cambio bujes/postizos COS
¿Por qué?	Cambio	Cambio	Paradas menores	Cambio	Paradas menores	Cambio	Cambio
¿Cuánto?	5,77 horas	5,62 horas	4,94 horas	4,11 horas	3,55 horas	3,21 horas	2,62 horas
¿Cuándo?	De la semana 6 a la semana 21 del año 2025						
¿Dónde?	En la línea de ensamble 3						
¿Quién?	El problema no depende del operador						

2.3. Análisis

En esta sección se enfocará en el análisis de las 14 razones de estudio con apoyo de las herramientas: lluvia de ideas, diagrama de Ishikawa o diagrama de causa-efecto, matriz causa-efecto, matriz impacto-control, análisis estadísticos, GEMBA y 5 porqués.

2.3.1. Lluvia de ideas y diagrama causa-efecto

Con el fin de hallar las causas de nuestro problema enfocado, se realizó una lluvia de ideas en la que contamos con la participación del supervisor de producción y los 11 operadores de la línea.

Con este conjunto de causas recopiladas, iniciamos la construcción del diagrama de Ishikawa para cada agrupación, donde cada causa fue clasificada de acuerdo con las 6M: método, mano de obra, medio ambiente, maquinaria, materiales y mediciones (ver Figura 14, Figura 15, Figura 16, Figura 17 y Figura 18).

Figura 14 Diagrama de Ishikawa para la primera agrupación

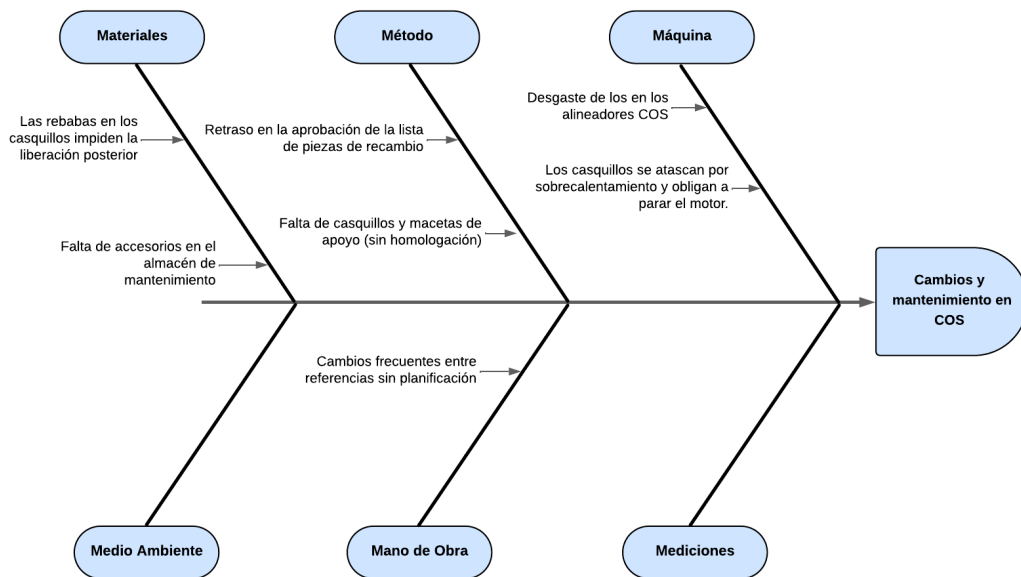


Figura 15 Diagrama de Ishikawa para la segunda agrupación

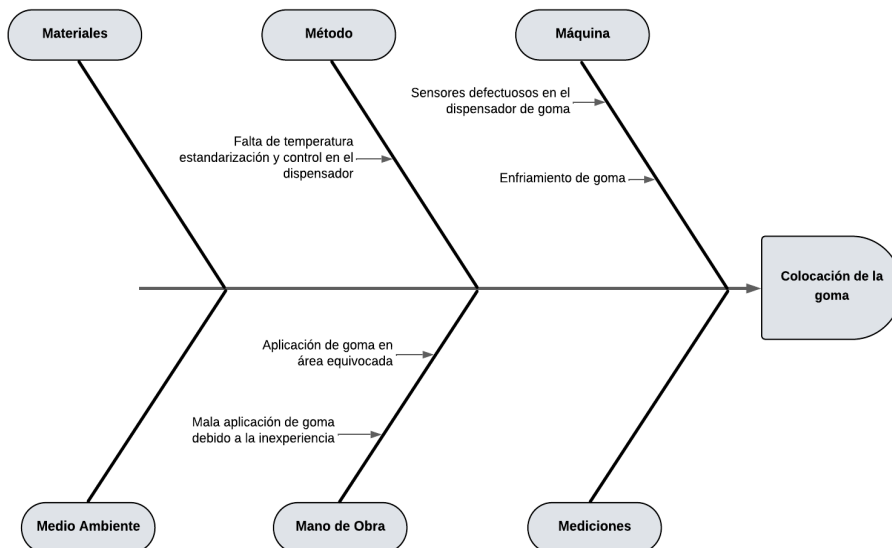


Figura 16 Diagrama de Ishikawa para la tercera agrupación

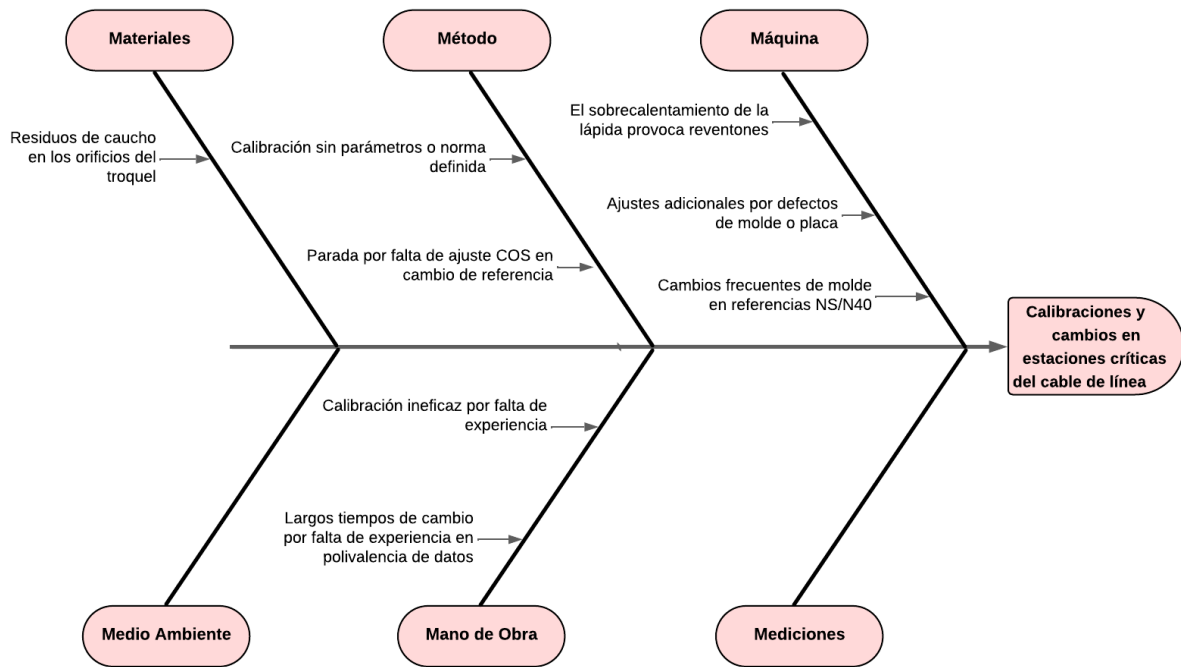


Figura 17 Diagrama de Ishikawa para la cuarta agrupación

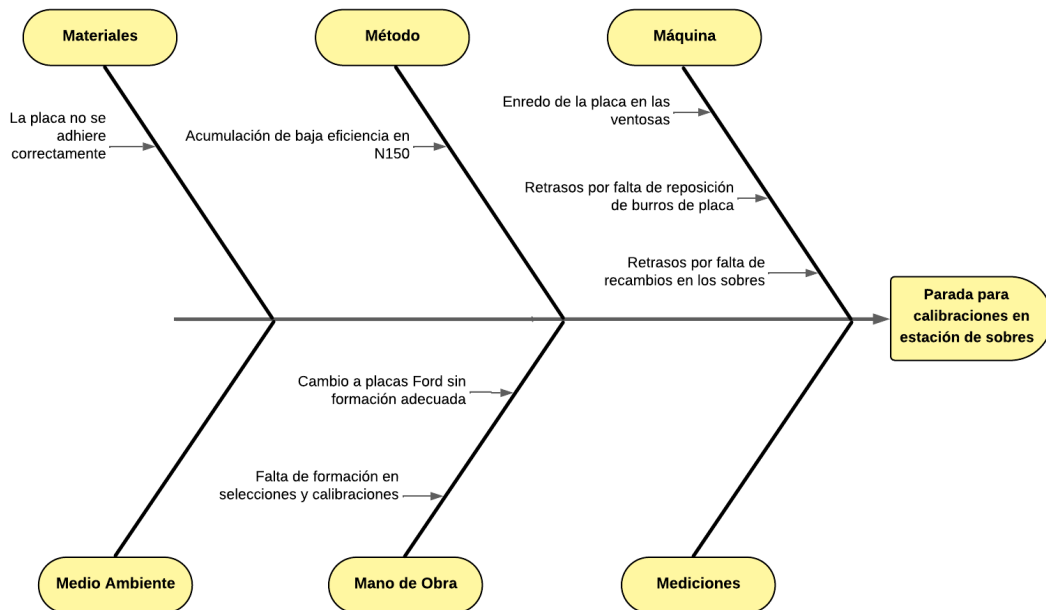
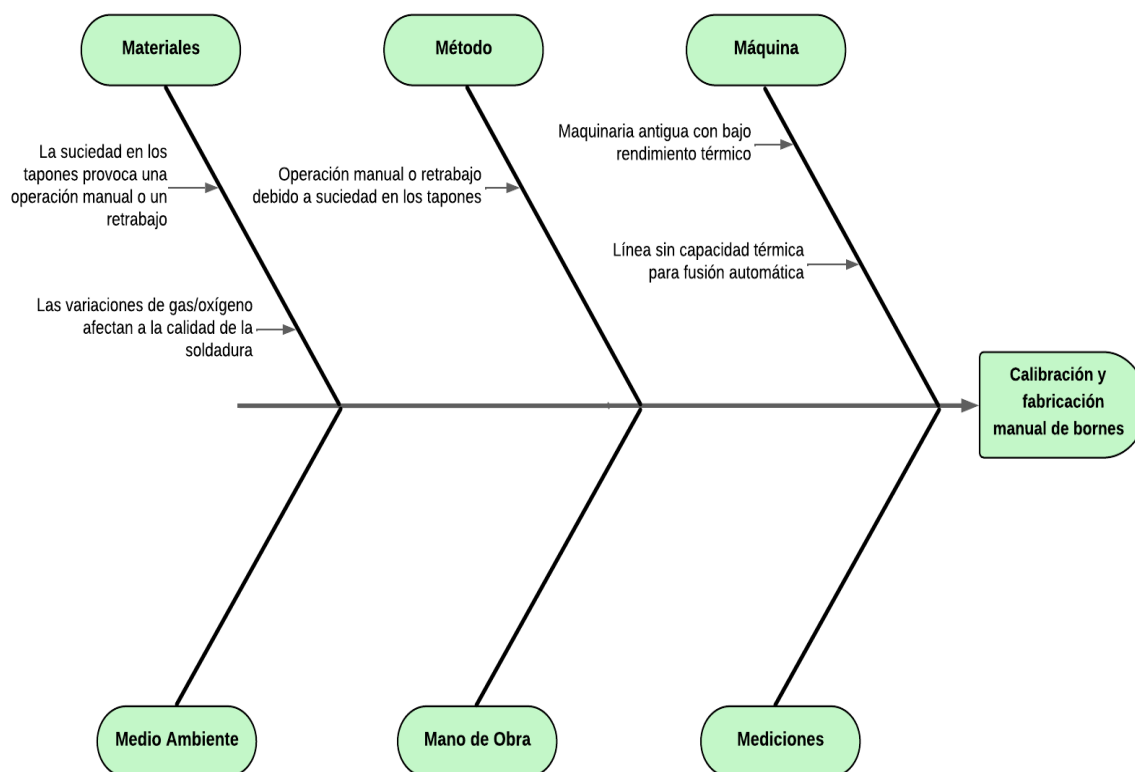


Figura 18 Diagrama de Ishikawa para la quinta agrupación



2.3.2. Matriz causa-efecto

Con las causas clasificadas de los diagramas de Ishikawa se realiza una matriz causa-efecto, en la que fueron participes el supervisor de producción y dos operadores veteranos de la línea. Una vez recopiladas todas las opiniones del personal seleccionado, se realizó una suma ponderada donde el supervisor de producción tuvo un porcentaje de 0.5 y cada operador un porcentaje de 0.25 (Ver Tabla 11).

Tabla 11 *Matriz causa-efecto*

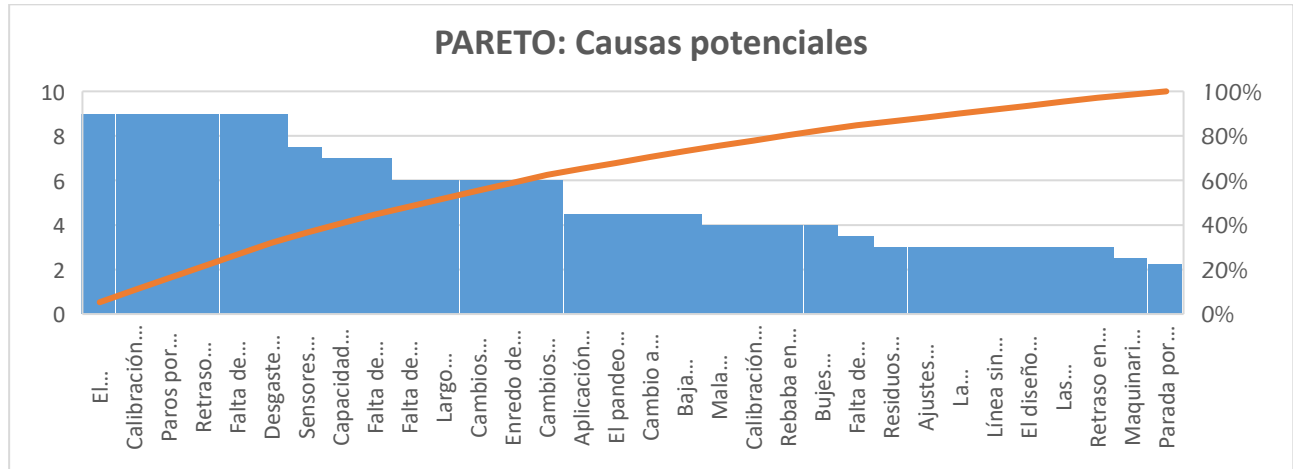
Causas	Supervisor de producción	Operador	Operador	Suma
Sensores defectuosos en el dispensador de caucho	9	9	3	7.5
Capacidad térmica insuficiente para múltiples surtidos	9	9	1	7
Aplicación deficiente de caucho debido a la inexperiencia	3	9	1	4
Aplicación de caucho en zona incorrecta	3	9	3	4.5
Falta de control estandarizado de la temperatura en el dispensador	3	9	9	6
El sobrecalentamiento de la piedra sepulcral provoca reventones	9	9	9	9
Calibración ineficaz debido a la falta de experiencia	3	9	1	4
Parada por falta de ajuste del COS en el cambio de referencia	3	3	0	2.25
Residuos de caucho en los orificios de la matriz	3	3	3	3
Ajustes adicionales debido a defectos del molde o de la placa	3	3	3	3
Tiempo de cambio prolongado debido a polivalencia no consolidada	9	3	3	6
Cambios frecuentes de molde en referencias NS/N40	3	9	9	6
Calibración sin parámetros ni estándar definido	9	9	9	9
Paros por falta de recambios en sobres	9	9	9	9
La placa no se adhiere correctamente	3	9	3	4.5
Cambio a placas Ford sin formación adecuada	3	9	3	4.5

Baja eficiencia de acumulación en N150	3	9	3	4.5
Enredo de placa en ventosas	9	3	3	6
Retraso por falta de recambio de burros de placa	9	9	9	9
Falta de formación en selecciones y calibraciones	9	9	9	9
Suciedad en tapones provoca operación manual o retrabajo	3	3	3	3
Línea sin capacidad térmica para fusión automática	3	3	3	3
Diseño de tapas impide fusión automática	3	3	3	3
Maquinaria antigua con bajo rendimiento térmico	3	3	1	2.5
Variaciones de gas/oxígeno afectan calidad de soldadura	3	3	3	3
Falta de accesorios en almacén de mantenimiento	1	9	3	3.5
Desgaste de sonotrodos en alineadores COS	9	9	9	9
Cambios frecuentes entre referencias sin planificación	9	3	3	6
Falta de bujes y potes de back- up (sin homologación)	9	9	1	7
Rebabas en casquillos impiden el post-lanzamiento	3	9	1	4
Retraso en la homologación de la lista de repuestos	3	3	3	3
Casquillos pegados por sobrecalentamiento, obligando a parar	3	9	1	4

Tabla 12 *Escala de calificación*

Escala de calificación	
Valores	Descripción
0	Sin correlación
1	Correlación baja
3	Correlación moderada
9	Correlación fuerte

Con la suma ponderada por cada causa construimos un Pareto para determinar las causas posibles, donde se reflejan las causas que generan el 80% del tiempo de inactividad en la línea (ver Figura 19).

Figura 19 Diagrama de Pareto de causas

2.3.3. Matriz control-impacto

La matriz control-impacto permitió clasificar las causas potenciales de la Tabla 13, encontradas en el Pareto anterior dependiendo de su nivel de control y su nivel de impacto (alto,

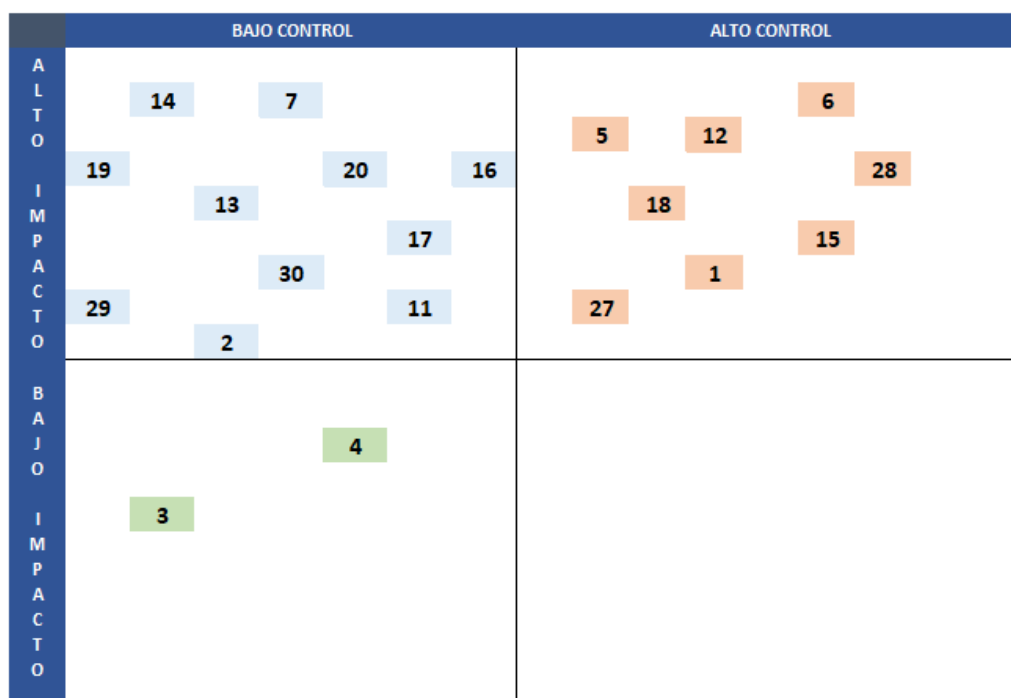
bajo). Dentro del segundo cuadrante se colocarán las causas potenciales que cuentan con un bajo control y un alto impacto (ver Figura 20).

Tabla 13

Causas potenciales

Nº	Causa Posibles
6	El sobrecalentamiento del tombstone provoca reventones
13	Calibración sin parámetros ni norma definida
14	Paros por falta de repuestos en sobres
19	Retraso por falta de reposición de burros de plato
20	Falta de formación en selecciones y calibraciones
27	Desgaste de cuernos en alineadores COS
1	Sensores defectuosos en dispensador de goma
2	Capacidad térmica insuficiente para múltiples surtidos
29	Falta de casquillos y potes de back- up (sin aprobación)
5	Falta de control estandarizado de temperatura en dispensador
11	Largo tiempo de cambio debido a polivalencia no consolidada
12	Cambios frecuentes de molde en referencias NS/N40
18	Enredo de placas en ventosa
28	Cambios frecuentes entre referencias sin planificación
4	Aplicación de caucho en área equivocada
15	El pandeo de placas no adhiere adecuadamente
16	Cambio a placas Ford sin entrenamiento adecuado
17	Baja eficiencia de acumulación en N150
3	Mala aplicación de caucho debido a inexperiencia
7	Calibración ineficaz debido a falta de experiencia
30	Rebaba en bujes impide post liberación

Figura 20 Matriz control-impacto



2.3.4. Plan de verificación de causas

Para estructurar el plan de verificación de causas, se buscó agrupar las causas similares con el fin de ajustarnos al tiempo y simplificar el estudio. Esta nueva agrupación se puede ver en la Tabla 14:

Tabla 14 Agrupación de causas potenciales similares

Agrupación	Nueva designación de Causa
14_29	Retrasos por homologaciones o mejoras de material
7_11_20_16	Bajo nivel de formación en procesos operativos
19	Retraso por falta de sustitución de burros de chapa
13	Calibración sin parámetros ni norma definida
30	Rebabas en casquillos impiden la liberación posterior
2	Capacidad térmica insuficiente para surtidos múltiples
17	Baja eficiencia de acumulación en N150

Se utilizó el plan de verificación de causas para detallar el impacto de cada causa potencial en la eficiencia semanal de la línea de ensamble y a su vez especificar el tipo de verificación con el que se ejecutará este estudio (ver Tabla 15).

Tabla 15 *Plan de validación de causas*

Causas potenciales	Teoría de la causa	Tipo de verificación	Estado
Falta de repuestos	Retrasos en la entrega de piezas de repuesto críticas, como la falta de componentes en el área de envoltentes y la ausencia de casquillos y botas de reserva en el área COS. Como consecuencia, la línea sufre paradas innecesarias que afectan directamente a la eficiencia y la continuidad operativa.	GEMBA	Significativo
Bajo nivel de formación o capacitación en procesos operativos	La falta de formación técnica en los procesos operativos es evidente en varios apartados: en la selección y calibración, donde los operarios no realizan los ajustes de soldadura eléctrica con precisión; en la unión térmica, donde la polivalencia aún no consolidada alarga los cambios; y en las calibraciones específicas en SOBRES, que son ineficaces cuando las realiza personal inexperto.	GEMBA y datos históricos	No significativo
Falta de sustitución de burros (materia prima)	La falta de disponibilidad puntual de los operadores de carretillas elevadoras genera tiempos de espera en la zona de SOBRES cuando los carros de planchas están vacíos. Esta situación interrumpe el flujo continuo de materiales, provoca paradas imprevistas y afecta directamente a la eficiencia y estabilidad del proceso de producción.	GEMBA	No significativo
Calibración sin parámetros ni estándar definido	La falta de parámetros o estándares visibles en la calibración y el ajuste de la máquina de encolado térmico obliga a realizar el proceso de forma manual y visual. Esto aumenta el tiempo de ajuste, en función de la habilidad del operario, y dificulta el mantenimiento de la precisión y los estándares requeridos.	Análisis estadístico y GEMBA	Significativo

Causas potenciales	Teoría de la causa	Tipo de verificación	Estado
Rebabas en casquillos impiden la liberación posterior	En la lubricación de las botas moldeadas COS, cuanto mayor es el tamaño del postre de la pila, mayor es la probabilidad de que se atasquen rebabas en los orificios. Esta condición dificulta el movimiento de los pasadores, provoca atascos durante el montaje de las placas y puede provocar paradas o ajustes adicionales en el proceso.	GEMBA y análisis estadístico	Significativo
Baja eficiencia por acumulación en N150	La baja eficiencia de acumulación en la producción de pilas N150 se debe a que, por su mayor tamaño, requieren más placas por unidad. La sección ENVELOPE, encargada de envolver y embalar estas placas, no funciona a la misma velocidad que la línea automática COS.	GEMBA	La causa no puede verificarse
Enfriamiento de goma	Existen limitaciones durante la colocación del caucho debido a la capacidad térmica de la máquina cuando se procesan pilas de mayor tamaño. Estas requieren un mayor volumen de caucho, lo que supera la capacidad de fusión del equipo, generando retrasos en el enfriamiento.	GEMBA y análisis estadístico	Significativo

2.3.5. Verificación de causas

2.3.5.1. Falta de repuestos

Durante la visita realizada el lunes 6 de julio al área de almacén de repuestos, se verificó la causa de falta de repuestos. Sobre todo, los operarios de la sección de Sobres enfrentan grandes dificultades al no encontrar el repuesto exacto que necesitan durante los cambios o calibraciones. Dado esto, se ven obligados a utilizar piezas similares, las cuales requieren modificaciones que permitan su uso. Esta adaptación genera un retraso adicional en los tiempos de mantenimiento, lo que repercute directamente en la eficiencia del proceso. En promedio, el tiempo de despacho registrado fue de aproximadamente 0,033 horas, sumado a esto el tiempo de

recorrido desde bodega de repuesto a la línea, además el tiempo de 2 semanas cuando no existe disponibilidad de las piezas, es decir, el tiempo asociado al pedido de piezas primordiales. De esta forma, se refuerza la significancia de esta causa.

2.3.5.2. Bajo nivel de formación o capacitación en procesos operativos

La empresa cuenta con un sistema de capacitación basado en pares que requiere cooperación entre los operadores de línea. De acuerdo con los registros, los operarios son calificados mediante un sistema de polivalencias, como se muestra en la Tabla 16.

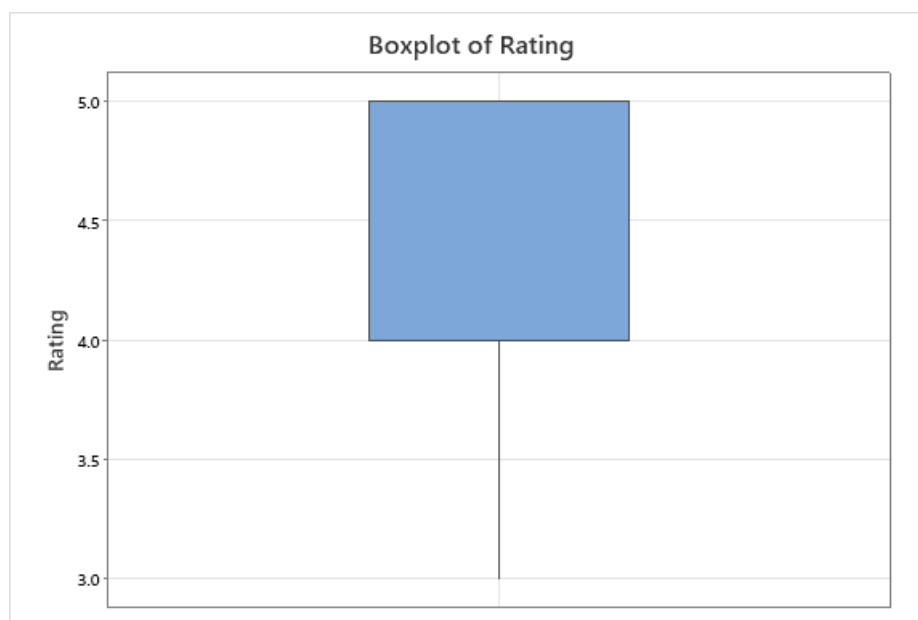
Tabla 16 *Criterio de evaluación de los operadores*

Criterios de evaluación de la polivalencia	
1	Sin conocimientos
2	Conoce los pasos
3	"Puede realizar el trabajo con calidad y seguridad, pero no en el tiempo deseado, con supervisión."
4	"Puede realizar el trabajo con calidad y seguridad en el tiempo deseado, sin supervisión".
5	Puede enseñar el trabajo

Con base a esto y a los registros históricos se pudo observar en la Tabla 17, la ponderación para cada operador de la línea de ensamble 3 de acuerdo con su sección de trabajo es considerablemente alta. Esto mismo se puede asegurar con un pequeño vistazo en el diagrama de cajas donde se muestra que el promedio de calificación de los operadores es de 4.2 (ver Figura 21).

Tabla 17 Datos del nivel de formación en la línea de acuerdo con su sección de trabajo

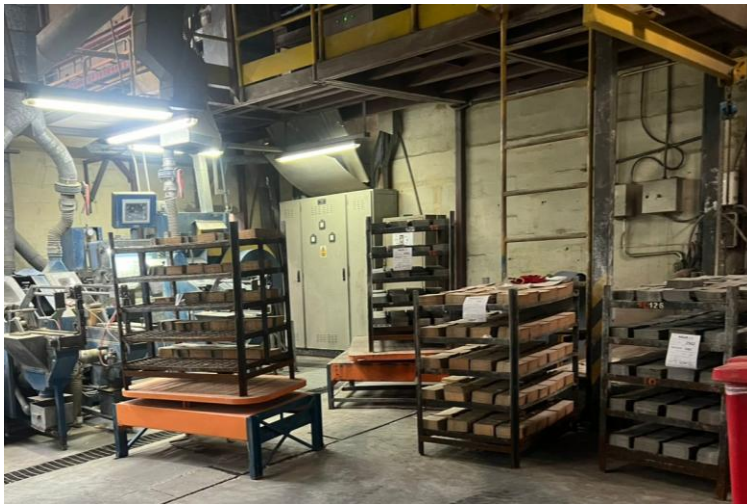
Sección	Operador	Ponderación
SOBRES	Borbor	5
	Macías	3
	Navarrete	4
	Loor	4
COS	Pisco	5
	Alvarado	4
	Quinlli	4
Ajustador	Eloy	5
LINEA	López	4
	Larosa	4
	Ponce	5

Figura 21 Diagrama de cajas del tiempo de inactividad por bajo nivel de formación o capacitación en procesos operativos

2.3.5.3. *Falta de sustitución de burros*

Durante el periodo de observación, se visualizó que los caballetes estaban completamente abastecidos con placas positivas y negativas, sin evidenciarse tiempos muertos relevantes por falta de placas semi procesadas. En consecuencia, esta causa no se considera significativa dentro del presente estudio (ver Figura 22).

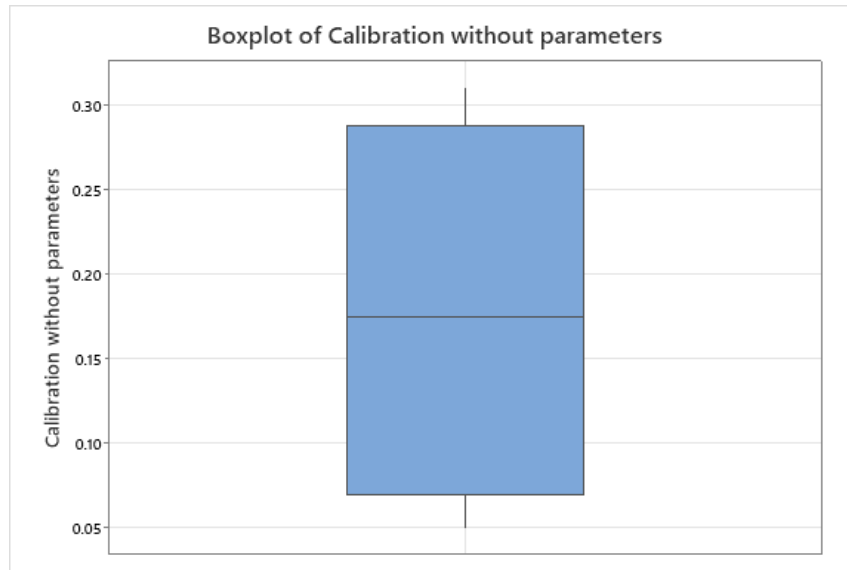
Figura 22 Verificación visual por falta de sustitución de burros



2.3.5.4. *Calibración sin parámetros ni estándar definido*

Con una media de 0,17 por semana en la línea de montaje 3, causada por un calibrado sin parámetros ni norma definida. Así pues, se concluye que la causa es significativa.

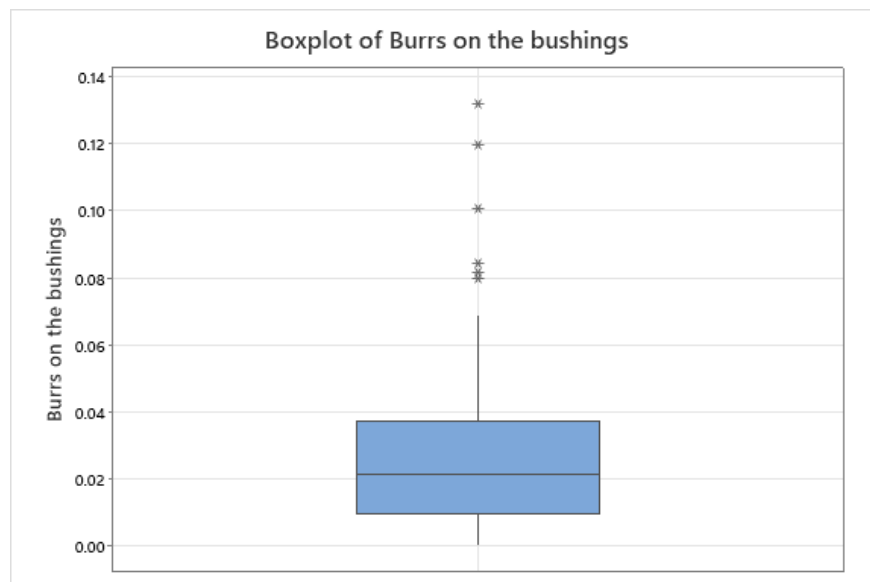
Figura 23 Diagrama de caja de tiempo de inactividad por calibración sin parámetros ni estándar definido



2.3.5.5. *Rebas en casquillos impiden la liberación posterior*

Con una media de 0,03 horas por observación y una media semanal de 6,5 horas en la línea de montaje 3, las rebabas en los casquillos impiden la liberación posterior. Así pues, se concluye que la causa es significativa.

Figura 24 Diagrama de caja de tiempo de inactividad por rebabas en casquillos impiden la liberación posterior



2.3.5.6. Baja eficiencia por acumulación en N150

No fue posible verificar esta causa debido a que la planificación de la producción no tenía contemplada esta referencia durante dos semanas, dificultando la toma de datos u observación.

2.3.5.7. Enfriamiento de goma

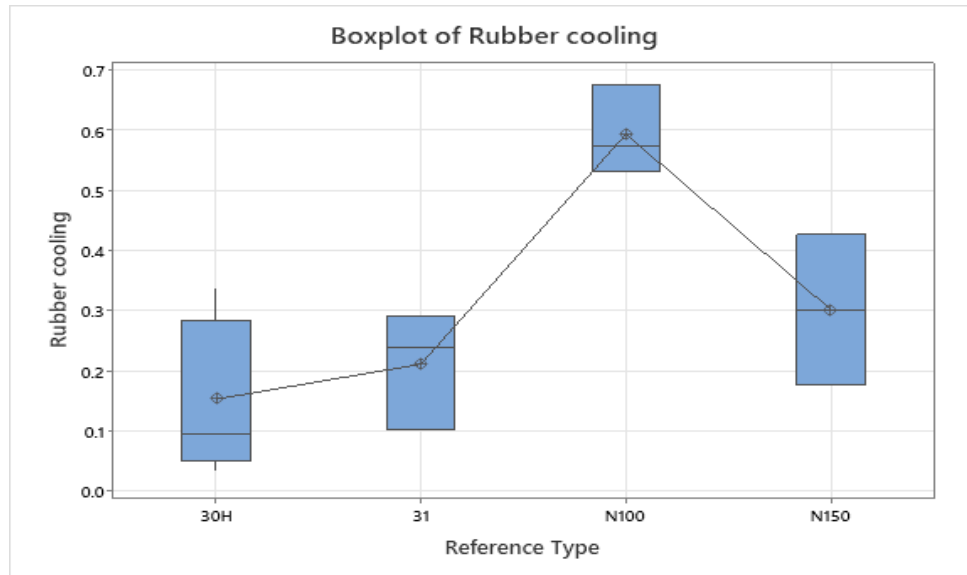
Se observó que la máquina de goma trabaja a una temperatura de 205 grados Celsius, cuando se trabaja con referencias como la N150, se producen problemas de enfriamiento. Debido a esto, es necesario esperar hasta 10 minutos para que vuelva a alcanzar la temperatura de 205 grados.

Figura 25 Verificación visual del enfriamiento de goma



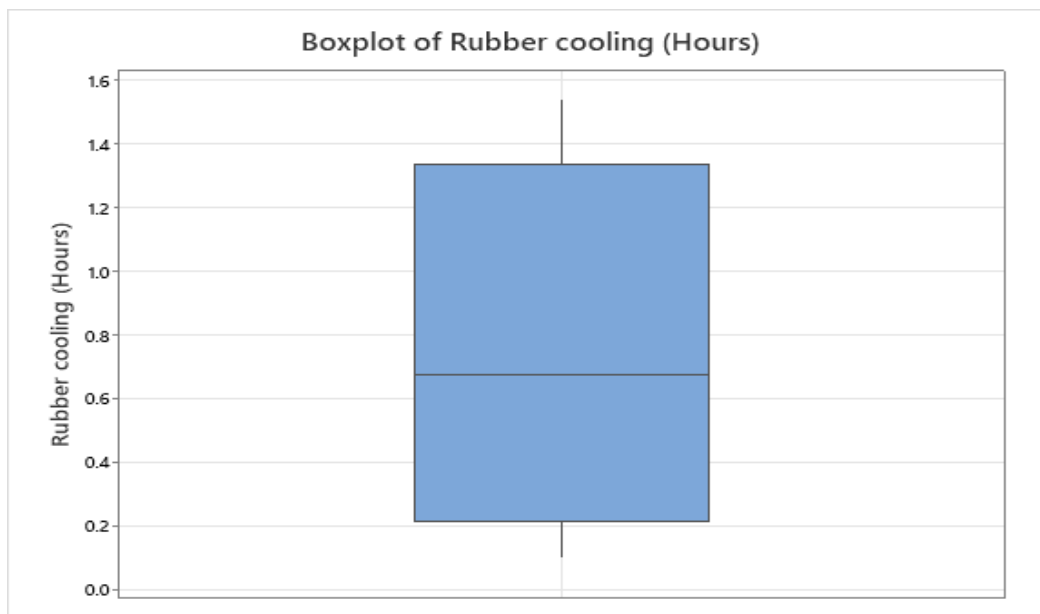
Puesto que el valor p de 0,004 es inferior a 0,05, se descarta la hipótesis nula y se demuestra que existe una diferencia significativa entre las referencias N100, N150, 30H y 31. La referencia N100 tiene la media más alta para el enfriamiento de la goma. Véase Figura 26.

Figura 26 Análisis ANOVA para determinar diferencias significativas entre tipo de referencia por enfriamiento de goma



De esta forma, con una media semanal de 0,7 horas, se puede concluir que la causa del enfriamiento del caucho es significativa para más de un tipo de referencia.

Figura 27 Diagrama de caja de tiempo de inactividad por enfriamiento de goma



2.3.6. 5 Porqué

El análisis de 5 por qué permitió conocer las causas raíz asociadas a cada causa potencial, como se muestra en la Tabla 18.

Tabla 18 *Análisis de 5 porqués*

Causes	¿POR QUÉ?				
	1	2	3	4	5
Retrasos debidos a homologaciones o retirada de piezas de recambio	El personal debe esperar la aprobación de ingeniería	Falta de agilidad al revisar el repuesto en el sistema EAM	Muchos códigos están repetidos para el mismo repuesto	No existe una estandarización de nomenclatura para los repuestos	
	Se modifican repuestos no aptos para que encajen en la maquinaria de la línea 3.	Falta de repuestos en la bodega	Demora en la compra de repuestos nuevos (locales e importados)	No hay una actualización y monitoreo habitual del stock de seguridad.	
Calibración sin parámetros ni norma definida	No existen parámetros estandarizados	Falta de actualización o registro integral	Falta de control para su actualización y conservación	Ausencia de un sistema para la documentación y control de calibraciones	
	Falta de repuestos y piezas críticas	No se cumple con el stock mínimo de los repuestos críticos para calibraciones	No existe alineación entre la gestión de repuestos y los planes de calibración y mantenimiento		
	Cada referencia requiere parámetros específicos	Hay muchos cambios de SKU	No existe un plan flexible para el manejo de la variabilidad por referencias		
Las rebabas en los casquillos impiden la	Los bujes en los moldes no se limpian correctamente	Descuidos de los operadores en la limpieza de estos	Falta de disciplina, control y método de la mano de obra en la limpieza de bujes		

liberación posterior	Las piezas de cambio no cumplen con las especificaciones	No se valida la pieza antes de aceptarla del proveedor	No existe revisión técnica en la recepción de materia prima de repuestos	
Enfriamiento por goma	La goma fría se introduce directamente en la máquina e interrumpe el flujo térmico	El sistema no permite la alimentación continua sin pérdida de temperatura	Diseño del sistema de alimentación de goma no asegura una temperatura estable	
	El equipo se alarma y nadie lo nota	La máquina no posee un sistema de notificación de alarmas fácil de reconocer (sonoro)		
	La demanda de goma supera la tasa de fusión en ciertas producciones	El sistema no posee la capacidad de fusión para ciertas producciones	Se usa el mismo sistema para todas las referencias que usan goma	No existe una segregación por referencias (volumen de producción) de acuerdo con la capacidad térmica de la máquina.

2.3.7. Soluciones potenciales

Tabla 19 *Soluciones potenciales*

Causas	Causas raíz	Soluciones potenciales
Falta de repuestos	No existe una normalización de la nomenclatura de las piezas de recambio tras la aplicación de los nuevos códigos en EAM	Crear una plantilla con nomenclatura normalizada para cada pieza de repuesto.
	No existe una actualización y un seguimiento regulares de las existencias de seguridad necesarias para las piezas de recambio.	Revisión trimestral con el departamento de ingeniería para revisar y ajustar los amortiguadores de stock de repuestos
Calibración sin parámetros ni norma definida	Ausencia de un sistema de documentación y control de las calibraciones.	Diseñar procedimientos operativos estándar (SOP) para calibraciones tras un cambio de referencia en la línea
	No hay alineación entre la gestión de las piezas de recambio y los planes de calibración y mantenimiento	Incluir repuestos críticos en el plan de mantenimiento preventivo para calibraciones.
		Implantar topes mecánicos móviles ajustables por tipo de referencia.
	No hay un plan flexible para la gestión de la variabilidad por referencias	Diseñar marcas de referencia ajustables por tipo de referencia, acompañadas de una lista de comprobación para garantizar el control de esta calibración

Las rebabas en los casquillos impiden la liberación posterior		Desarrollar un procedimiento estandarizado de limpieza de casquillos con pasos detallados que se expondrán en la zona.
	Falta de disciplina, control y método de trabajo en la limpieza de bujes	Designar un operario encargado de auditar la limpieza periódicamente.
		Diseñar una lista de comprobación de limpieza viable para el área de trabajo (especificando el operario).
	Sin revisión técnica en la recepción de materia prima para recambios	Implantar un proceso de inspección funcional de las piezas críticas antes de entrar en el almacén de repuestos.
Capacidad térmica insuficiente para múltiples surtidos		Solicitar la verificación del diámetro de la pieza a realizar con una pieza de muestra real.
	El diseño del sistema de alimentación de goma no garantiza una temperatura estable	Diseñar un sistema de precalentamiento o una tolva térmica para reducir la pérdida de temperatura a medida que se alimenta la máquina.
	La máquina no dispone de un sistema de notificación de alarma fácil de reconocer (audible)	Instale alarmas sonoras para avisar cuando la máquina se alarme y deje de calentar.
	No hay segregación por referencias (volumen de producción) en función de la capacidad térmica de la máquina.	Diseñar un sistema de aviso conectado al dispositivo principal de la línea de montaje.
		Ajustar la velocidad de la línea (para referencias específicas) a la capacidad térmica disponible de la máquina de caucho.

2.4. Mejorar

Para la etapa de mejora, se evalúan las soluciones obtenidas en la etapa anterior, usando la matriz Impacto – Esfuerzo, de esta manera con ayuda del cliente clave se evalúan cada una de las soluciones para determinar cuál de ellas tiene mayor impacto a bajo esfuerzo.

Tabla 20 *Causas potenciales*

Nº	Causa Posibles
1	Plantilla de nomenclatura de piezas de repuesto
2	Revisión mensual del buffer con Ingeniería
3	Procedimiento operativo estándar (SOP) de calibración para cambio de referencia
4	Critical spare parts in preventive maintenance
5	Topes mecánicos ajustables por referencia
6	Marcas de referencia ajustables con lista de verificación
7	Procedimiento estandarizado de limpieza de bujes
8	Auditoría de limpieza por parte del operador asignado
9	Lista de verificación para la limpieza del área de trabajo por parte del operador
10	Inspección funcional de piezas de repuesto críticas
11	Verificación del diámetro con muestra real
12	Sistema de precalentamiento o tolva térmica para caucho
13	Alarma sonora para la interrupción de la calefacción
14	Sistema de alerta en la línea de montaje principal
15	Ajuste de la velocidad de línea por capacidad térmica

Figura 28 Matriz Impacto – Esfuerzo



Tabla 21 Soluciones Potenciales

Nº	Soluciones Potenciales
1	Plantilla de nomenclatura de piezas de repuesto
2	Revisión mensual del stock de seguridad de repuestos con Ingeniería
3	Procedimiento operativo estándar (SOP) de calibración para cambio de referencia
4	Piezas de repuesto críticas en el mantenimiento preventivo
10	Inspección funcional de piezas de repuesto crítica
13	Alarmas sonoras para la interrupción de la calefacción
15	Ajuste de la velocidad de línea por capacidad térmica

2.4.1. Plan de Implementación

Para poder implementar las soluciones planteadas es necesario realizar un plan de implementación, utilizando la herramienta 5W2H, de esta manera se plantean métodos de implementación, fechas máximas, además de los costos de implementación de cada solución.

Tabla 22 Plan De Implementación

N	Causa raíz	Qué	Por qué	Cómo	Dónde	Quién	Cuánto	Cuando	Estado
1	No hay estandarización de la nomenclatura para repuestos tras nuevos códigos en el sistema	Crear una plantilla con nomenclatura estandarizada para cada repuesto	Evitar demoras por falta de claridad en la identificación de repuestos	Revisión de catálogos actuales, generación de plantilla y validación con ingeniería	Bodega de Repuestos	Lideres de Proyecto, Área de Ingeniería, Supervisor de Producción	\$40	27/07/2025-29/08/2025	Pendiente
2	No hay monitoreo regular del stock de seguridad para repuestos	Implementar revisión mensual con ingeniería para ajustar stock de repuestos	Evitar paros por falta de piezas críticas	Reunión mensual, análisis de consumo, ajuste de stock mínimo y máximo	Bodega de Repuestos	Lideres de Proyecto, Área de Ingeniería, Supervisor de Producción	\$60	27/07/2025-29/08/2025	Pendiente
3	No hay sistema para documentación y control de calibraciones	Diseñar procedimientos operativos estándar (SOP) para calibraciones	Asegurar uniformidad y trazabilidad en calibraciones	Redacción de SOP, validación con supervisor, capacitación a operarios.	Línea de producción	Lideres de Proyecto, Supervisor de Producción	\$55	27/07/2025-29/08/2025	Pendiente
4	No hay alineación entre gestión de repuestos y plan de calibración	Incluir repuestos críticos en el plan de mantenimiento preventivo	Garantizar disponibilidad de partes críticas al momento de calibrar	Identificación de piezas críticas y actualización del plan de mantenimiento	Soldado o Eléctrico / Pegado Térmico	Lideres de Proyecto, Supervisor de Producción	\$25	27/07/2025-29/08/2025	Pendiente

5	No hay revisión técnica de repuestos crítica al ingresar	Implementar inspección funcional antes del ingreso a bodega	Evitar defectos por piezas no conformes o medidas erradas.	Definir criterios de inspección, capacitar y aplicar registro	Bodega de repuestos	Lideres de Proyecto, Encargado de Bodega de materia prima	\$52.50	27/07/2025-29/08/2025	Pendiente
6	No hay alarma audible para paros de la máquina	Instalar alarmas sonoras para advertir al operario	Prevenir paros de calentamiento de la máquina de goma al comienzo de la jornada	Compra e instalación de alarmas, pruebas con operadores	Máquina de Goma	Lideres de Proyecto, Supervisor de Producción	\$495	27/07/2025-29/08/2025	Pendiente
7	No hay segregación por referencia según capacidad térmica	Ajustar velocidad de línea según capacidad térmica por referencia	Prevenir sobrecargas térmicas (enfriamiento de la goma) y asegurar calidad del producto	Estudio de capacidad térmica, pruebas por referencia y ajuste de velocidad	Línea de producción	Lideres de Proyecto, Supervisor de Producción	\$40	27/07/2025-29/08/2025	Pendiente

2.4.2. Proceso de Implementación

2.4.2.1. Solución 1: Plantilla de nomenclatura de piezas de repuesto

Tabla 23 Implementación De Solución 1

Causa raíz	¿Qué?	¿Cómo?
No existe una estandarización de la nomenclatura de las piezas de repuesto después de introducir los nuevos códigos en el sistema.	Crear una plantilla con nomenclatura estandarizada para cada pieza de repuesto utilizada en la línea de montaje 3.	Revisión de los catálogos actuales, generación de plantillas y validación con ingeniería.

Figura 29 Paso a paso solución 1

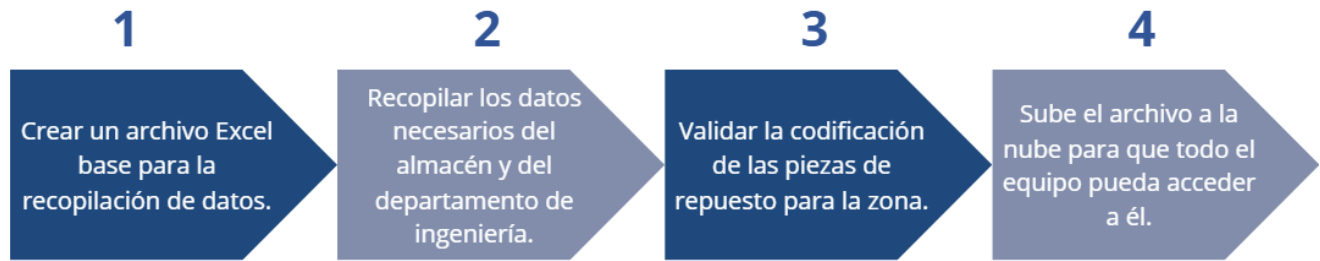


Figura 30 Plantilla de nomenclatura de repuestos

Lista de repuestos críticos de la línea de ensamble 3				
Código	Grupo	Descripción	Stock mínimo	Stock Disponible
IRABS11001	ABS	Amortiguador de caucho.		
IRALM11003	ALM	Tanque de aire 20 Litros VBAT20A1		
IRBMB62030	BMB	Válvula-230.25017		
IRCAC11001	CAC	Cable 2x22 awg instrumentacion		
IRCEP11004	CEP	Cepillo de flux ensamblado		
IRCOD11001	COD	Coding module 9550 10 a 7mic		
IRCOM11002	COM	Cable ethernet Cat 6 A		
IRCON11002	CON	Ajustador de tapones cruz		
IRCOR11007	COR	Cuchilla micro		
IRDOS11007	DOS	Conector macho		
IRECA11001	ECA	Atlas hpb 0035-043		
IRELE11002	ELE	Actuador xcsz02		
IRELT11006	ELT	Converter		
IREMP22001	EMP	Cone Weldment Ref. #012000026		
IREXP11002	EXP	Botador 3.5mm		
IREXT21001	EXT	Alum fan17-1/2 ref 2-fna904		
IRFIL11001	FIL	Bag dust 3x49 close 990911-349		
IRFRE11002	FRE	Resistencia de Frenado - 200 480 V - 910 HM - 86W - Allen Br		
IRHER11001	HER	Acampanadora		
IRHID11001	HID	American lift hydraulic 26148		
IRHMI11001	HMI	HMI Simatic KTP700 7"		
IRIAN14003	IAN	Accesorio sensor ph 2" tuerca		
IRINF21005	INF	Aspersor para riego pop up 4"		
IRLAB11001	LAB	Cables AWG#6 P y N + AWG#14 P y N 13M carga Bitrode		

Figura 31 Plantilla de nomenclatura de repuestos agrupados por familias

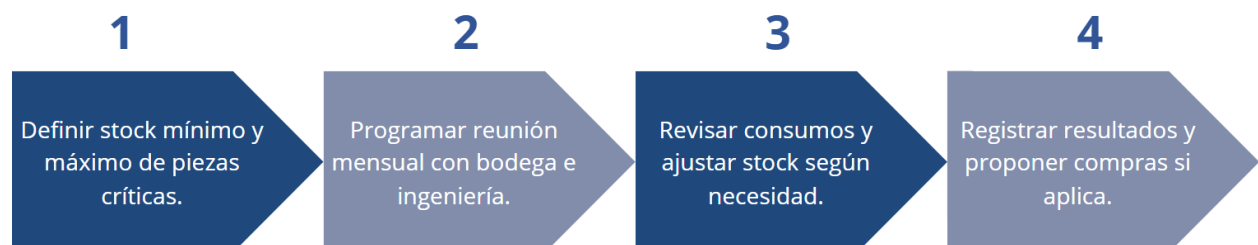
Group	Description
ABS	Industrial Insulators and Shock Absorbers
ALM	Storage, Pressure, and Fluid Systems
BMB	Pumps and Pump Components
CAC	Instrumentation and Control Cables and Connectors
CEP	Brushes and Cleaning Components
COD	Coding and Printing Systems
COM	Industrial Networks and Communication
CON	Mechanical Connection and Fastening Components
COR	Industrial Cutting Tools and Blades
DOS	Fluid Dispensing Components
ECA	Lifting and Support Equipment
ELE	General Electrical Components
ELT	Industrial Electronics
EMP	Shafts and Mechanical Transmission Parts
EXP	Ejectors and Knockout Pins
EXT	Extraction and Ventilation Systems
FIL	Filters and Filtration Elements
FRE	Braking and Energy Dissipation Systems
HER	Tools and Accessories
HID	Industrial Hydraulics
HMI	Human-Machine Interfaces (HMIs)
IAN	Analytical Instrumentation and Environmental Sensors
INF	Infrastructure and Irrigation Supplies
LAB	Bitrode Load Bank Wiring
LUB	Industrial Lubricants and Oils

2.4.2.2. Solución 2: Revisión mensual del stock de seguridad de repuestos con Ingeniería.

Tabla 24 Implementación De Solución 2

Causa raíz	Qué	¿Cómo?
No hay monitoreo regular del stock de seguridad para repuestos	Implementar revisión mensual con ingeniería para ajustar stock de repuestos	Reunión mensual, análisis de consumo, ajuste de stock mínimo y máximo

Figura 32 Paso a paso solución 2



2.4.2.3. Solución 3: Procedimiento operativo estándar (SOP) de calibración para cambio de referencia.

Tabla 25 Implementación De Solución 3

Causa raíz	¿Qué?	¿Cómo?
No hay sistema para documentación y control de calibraciones	Adaptar y actualizar los Procedimientos Operativos Estándar (SOP), para cambios y calibraciones.	Redacción de SOP, validación con supervisor, capacitación a operarios.

Para esta solución se modificó el procedimiento estándar de cambios de calibraciones para la línea de ensamble, enfocados en las secciones de pegado térmico y soldado eléctrico.

Se implementó el uso de herramientas para los trabajos manuales en la sección de cambios, y el modificar las herramientas actuales para realizar la calibración de manera más sencilla sin el uso de la fuerza excesiva para evitar dañar la maquinaria.

Figura 33 Procedimiento estándar de cambio en pegado térmico.

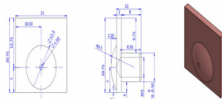
Puesto de Trabajo	Fecha de Aprobación:						CÓDIGO: SE-3		
Soldado Eléctrico	Elaborado por: L. Carreña			Aprobado por: DR		Aprobado por: CPvC		Ciclo Tiempo 3.41 BA/min	Tiempo de Calibración: 12 min
Nombre elemento:	Simbolos:		Seguro para el operador		Chequeo de Calidad		Proceso Critico		Secuencia Obligatoria
#12 Soldado Eléctrico									
	Simbolo	Paso#	Paso Principal (¿Qué?)	Punto Clave (¿Cómo?)			Razón (¿Por qué?)	Mejoras	
			Usar EPPs correspondientes para el puesto de trabajo.	Firmar Profesiograma.			Medidas de protección personal, para los riesgos identificados en el puesto de trabajo.	Identificar y preparar las herramientas a utilizar antes de empezar el trabajo de Cambio y Calibración	
Electrodos 		1	Usar EPPs correspondientes para el puesto de trabajo.	En caso de requerir fabricación de electrodos, se pide plano PT-ICW-ELECT03 al Ddepartamento Técnico y se genera ticket a Ingeniería para fabricación. El cambio de electrodos es cada 780,000 puntos soldados.			Poder soldar de forma correcta entre cada celda y evitar tener problemas de calidad de soldado deficiente.		

Figura 34 Procedimiento estándar de calibración en soldado eléctrico.

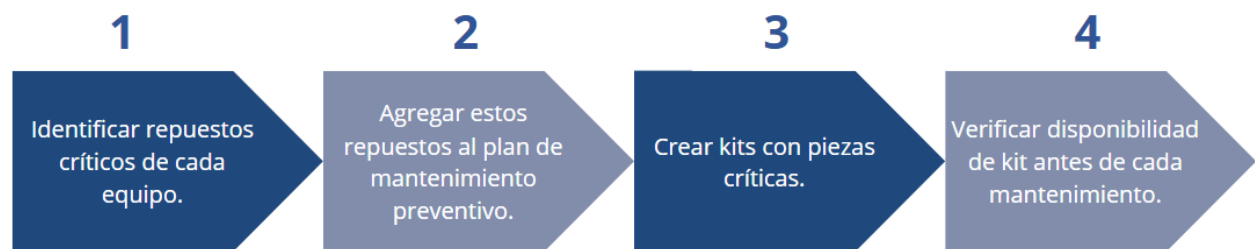
Puesto de Trabajo	Fecha de Aprobación:				CÓDIGO:	
Pegado Térmico	Elaborado por: L. Carreña		Aprobado por: DR	Aprobado por: CPvC	Tiempo de cambio: 11 min	
Nombre elemento: #15 Cambio de Molde de Pegado Térmico	Simbolos:		Seguro para el operador		Chequeo de Calidad	
					Proceso Critico	
						Secuencia Obligatoria
	Simbolo	Paso#	Paso Principal (¿Qué?)	Punto Clave (¿Cómo?)	Razón (¿Por qué?)	Mejoras
			Usar EPPs correspondientes para el puesto de trabajo.	Firmar Profesiograma.	Medidas de protección personal, para los riesgos identificados en el puesto de trabajo.	Identificar y preparar las herramientas a utilizar antes de empezar el trabajo de Cambio y Calibración
		1	Quitar pernos de molde de quemado de tapa	Se pone la máquina en modo manual, mediante el panel se saca el molde Y con la llave adecuada se sacan los pernos.	Para sacar el molde de la tapa.	Usar llaves dinamométricas con carraca rápida para reducir tiempo de afloje/apriete.

2.4.2.4. Solución 4: Piezas de repuesto críticas en el mantenimiento preventivo.

Tabla 26 Implementación De Solución 4

Causa raíz	¿Qué?	¿Cómo?
No hay alineación entre gestión de repuestos y plan de calibración	Incluir repuestos críticos en el plan de mantenimiento preventivo	Identificación de piezas críticas y actualización del plan de mantenimiento

Figura 35 Paso a paso solución 4



Se creó el formato para la revisión de los repuestos necesarios al realizar los mantenimientos preventivos en la línea de ensamble, de esta manera se tiene listo los repuestos en la bodega y el mecánico solamente pasa a retirarlos.

Figura 36 Formato de solicitud de repuestos para mantenimiento preventivo

FORMATO DE SOLICITUD DE PARTES PARA MANTENIMIENTO PREVENTIVO	Código: REU-001-01
	Fecha: 20/10/2025
	Página: 1 de 1

Fecha: _____ N° del equipo: _____

Nombre del equipo o procedimiento: _____

Marca: _____ Serie: _____

Responsable: _____

Lista de repuestos y partes necesarias	Cantidad

ESPECIFICACIONES GENERALES: _____

OBSERVACIONES: _____

**SUPERVISOR DE
PRODUCCIÓN**

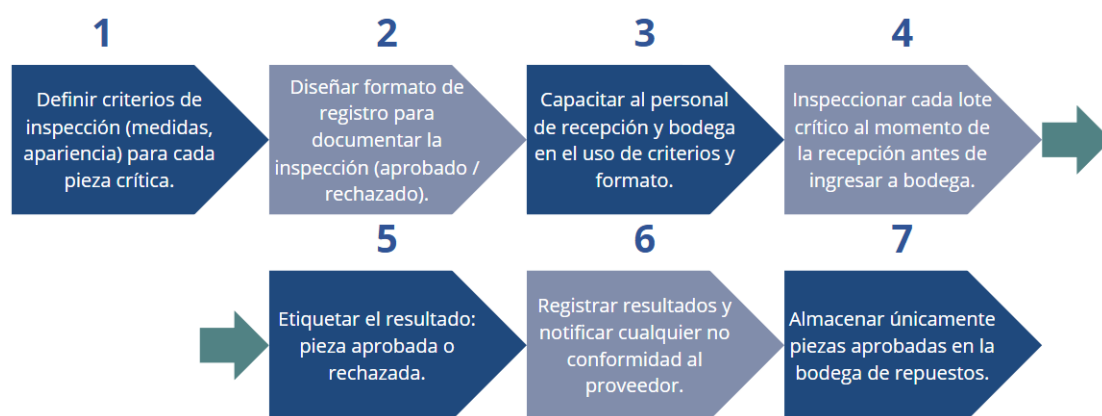
**RESPONSABLE DE
BODEGA**

2.4.2.5. Solución 5: Inspección funcional de piezas de repuesto crítica

Tabla 27 Implementación De Solución 5

<i>Causa raíz</i>	<i>¿Qué?</i>	<i>¿Cómo?</i>
<i>No hay revisión técnica de materia prima crítica al ingresar</i>	<i>Implementar inspección funcional antes del ingreso a bodega</i>	<i>Definir criterios de inspección, capacitar y aplicar registro</i>

Figura 37 Paso a paso solución 5



Se utilizará el formato de inspección para asegurar que los repuestos entregados por los proveedores sean los adecuados y los que se han solicitado, cautelando su funcionamiento y que estén libres de averías.

Responsible: _____

2.4.2.6. Solución 6: Alarmas sonoras para la interrupción de la calefacción.

<i>Causa Raíz</i>	<i>¿Qué?</i>	<i>¿Cómo?</i>
<i>No hay alarma sonora para las paradas de la máquina.</i>	<i>Instalar alarmas acústicas para advertir al operador.</i>	<i>Compra e instalación de alarmas, pruebas con operadores.</i>

```
graph LR; 1[1. Seleccionar tipo de alarma sonora adecuada, compatible con la máquina.] --> 2[2. Instalar alarma en máquina de Goma.] --> 3[3. Probar funcionamiento en casos de paros.] --> 4[4. Instruir operadores sobre la acción al sonar la alarma.]
```

1 Seleccionar tipo de alarma sonora adecuada, compatible con la máquina.

2 Instalar alarma en máquina de Goma.

3 Probar funcionamiento en casos de paros.

4 Instruir operadores sobre la acción al sonar la alarma.

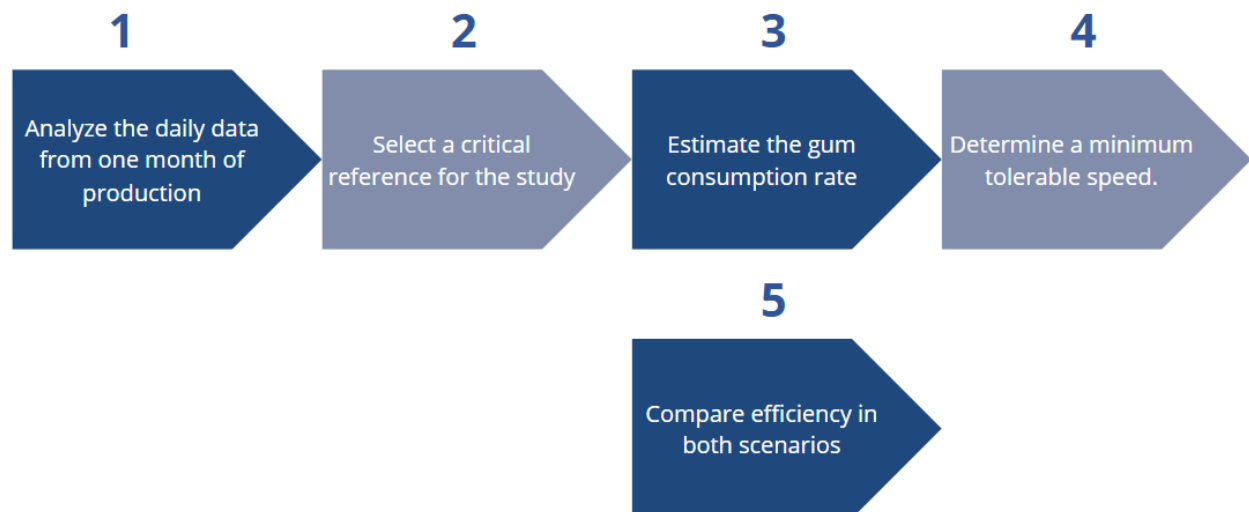
La instalación de la alarma permite detectar caídas de temperatura por debajo de los parámetros especificados. Una vez activado, activa una alarma sonora que avisa a los operadores de la caída de los parámetros y así se pueda corregir.

2.4.2.7. *Solución 7: Ajuste de la velocidad de línea por capacidad térmica.*

Tabla 29 Implementación De Solución 7

<i>Causa Raíz</i>	<i>¿Qué?</i>	<i>¿Cómo?</i>
No hay segregación por referencia según la capacidad térmica.	Ajuste la velocidad de la línea según la capacidad térmica por referencia.	Estudio de la capacidad térmica, pruebas de referencia y ajuste de la velocidad.

Figura 40 Paso a paso solución 7



Para este estudio de la capacidad térmica de la máquina de goma y el ajuste de la velocidad de la línea según la referencia, se tomarán datos de la producción del 5 de marzo del 2025 con un tiempo de producción planificado de 7 horas para la fabricación de baterías N150, y se infieren los siguientes datos:

Tabla 30 *Datos Para Estudio De Velocidad De Línea*

Número total de baterías producidas (N150)	348	baterías
Tasa de producción /hora semanal	150	baterías/hora
Largo aproximado de batería N150	508	metros
Distancia de separación en línea entre cada batería	0.25	metros
Distancia total de salida por batería	758	metros

Es importante mencionar que la tasa de producción varía semanalmente. La distancia total de salida por batería es la suma entre el largo de una batería y la separación entre cada una de ellas. De acuerdo con esto, se puede estimar la velocidad actual de la línea de ensamble 3 con ayuda de la tasa de producción semanal asociada al 5 de marzo del 2025. Es decir, en una hora se producen 64.6 baterías y cada batería representa una distancia de 0.758 metros, al multiplicar esa distancia por la cantidad de baterías se sabe la distancia que recorrió la línea en una hora:

$$\text{Velocidad} = \text{Distancia total de salida por batería} + \text{tasa de producción}$$

$$\text{Velocidad} = 150 \text{ bat/h} * 0.758 \text{ m}$$

$$\text{Velocidad} = 113.70 \text{ metros/hora}$$

Esta velocidad, es la velocidad actual de la línea, teniendo en cuenta que durante el periodo de estudio se dio un promedio diario de Tiempo de inactividad por colocación de goma 1.10 horas y cada

paro dura en promedio 0.32 horas, analizaremos el volumen de inyección de la máquina de goma con los siguientes datos:

Tabla 31 *Datos Para Estudio De Velocidad De Línea*

Cantidad de goma por batería N150	708	litros/batería
Capacidad de máquina	16	litros
Intervalo de tiempo entre batería	24	segundos
Peso aproximado por unidad de goma	0.2	kg
Temperatura máxima de la máquina	204	°C
Tiempo aproximado de fusión de goma (teórico)	15.5	kg/h

Se sugiere que estas paradas se dan porque el tiempo de fusión de la goma dentro de la máquina supera la velocidad a la que va la línea. Dado que posee una capacidad de 16 litros se espera que se inicie la colocación de goma sólida a un volumen aproximado de 3 litros. La temperatura de fusión no dependerá únicamente de la temperatura del calentamiento, sino también de la resistencia térmica de la goma.

Tabla 32 *Datos Para Estudio De Velocidad De Línea*

Número aproximado de paros diarios	3.440	paros/día
Kilogramos de goma por hora	10.62	Kg/h

Considerando que la velocidad de fusión de la máquina es teórica y que además se debe considerar la resistencia térmica del material, al bajar la velocidad en un 10% obtenemos un incremento de tiempo entre baterías de unos 2-3 segundos, esto genera una sobrecapacidad en la máquina lo que hace reducir los paros causado por bajo rendimiento de la máquina o una colocación poco uniforme de goma.

Tabla 33 *Velocidades Ajustadas De La Línea*

VELOCIDAD ACTUAL	113.70	metros/hora
VELOCIDAD AJUSTADA (10% menos)	102.33	metros/hora
VELOCIDAD AJUSTADA (20% más)	90.96	metros/hora

Con estas reducciones de velocidad se puede obtener una producción neta superior al histórico mostrado, esta tasa de producción se calculó dividiendo mi velocidad para la distancia total que recorre una batería y la producción neta es la tasa de producción teórica multiplicada con las horas de producción:

Tabla 34 *Tasa De Producción De Baterías En Función A La Velocidad De La Línea*

Velocidad	Bat/h	Bat
Velocidad actual	150	885
Velocidad reducida un 10%	135	945
Velocidad reducida un 20%	120	840

Al incrementar el intervalo de tiempo entre baterías generamos un margen de 10 segundo por batería, cada batería requiere un aproximado de 16.4 segundos para fundir los kg de goma que usa, este margen permite aumentar el intervalo absorbiendo picos de alimentación de goma o variaciones durante el proceso.

Capítulo 3

3. Resultados

En la sección de Resultados se revisará la etapa final de la metodología aplicada, la etapa de Control.

3.1. Control

Aquí se analizan los resultados de la implementación, la evolución de la variable de respuesta “y”, la variable social y ambiental. Además, se plantea un Plan de control de las soluciones a largo plazo.

3.1.1. Análisis de la variable de respuesta antes y después de la implementación

Se realizó una prueba T de dos muestras, para realizar una comparación entre las medias de los datos de la variable de eficiencia semanal antes y después de la implementación de las soluciones establecidas. Se observa el resultado de estadísticas descriptivas básicas de ambas muestras (véase en la Figura 42).

Figura 41 Método para prueba T de dos muestras

μ_1 : media de población de Eficiencia semanal (antes)
 μ_2 : media de población de Eficiencia semanal (después)
 Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

Figura 42 Resultados de estadísticas descriptivas de la prueba T

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Eficiencia semanal (antes)	16	0.6413	0.0896	0.022
Eficiencia semanal (después)	4	0.7158	0.0737	0.037

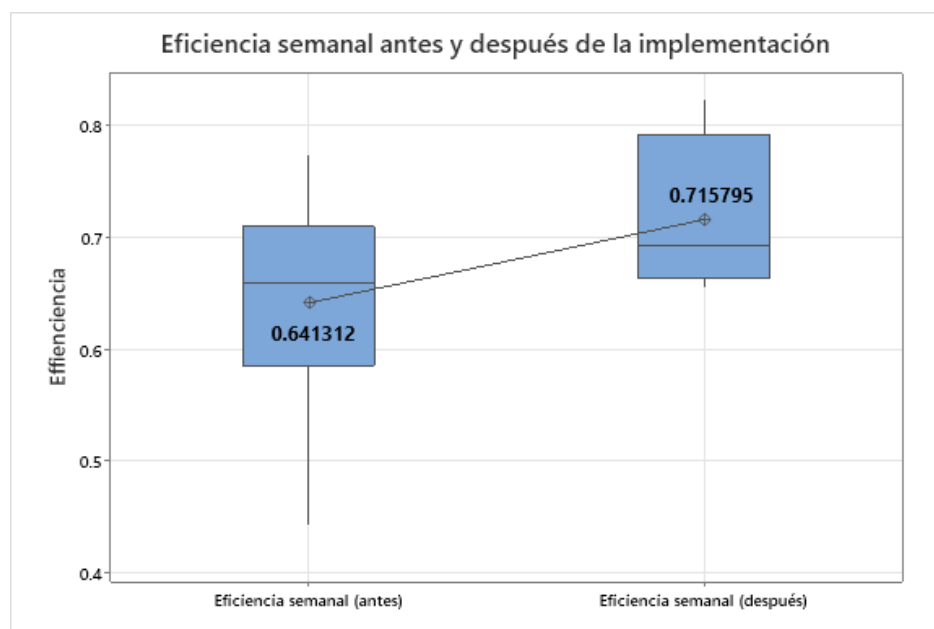
De acuerdo con esto, se obtiene un valor P de 0.145. Dado que el valor P es mayor a 0.05 se concluye que no hay diferencia significativa entre las medias de ambas muestras. (ver Figura 43)

Figura 43 Valor P para la diferencia de medias de la eficiencia semanal antes y después de la implementación

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$		
Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$		
Valor T	GL	Valor p
-1.73	5	0.145

A pesar de esto, en el diagrama mostrado en la Figura 44, se visualiza una diferencia de 7.45%, valor suficiente para cumplir y sobrepasar el objetivo del proyecto, una eficiencia semanal de 69%. Dando como resultado una eficiencia semanal promedio de 71.58%.

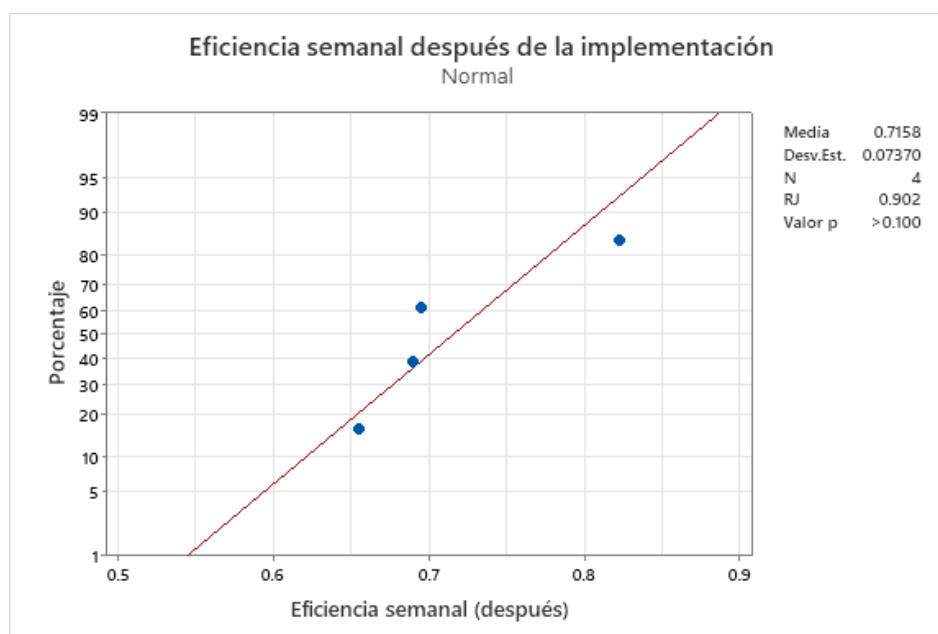
Figura 44 Diagrama de diferencia de medias para la eficiencia semanal antes y después de la implementación



3.1.2. Análisis de capacidad para la variable de respuesta

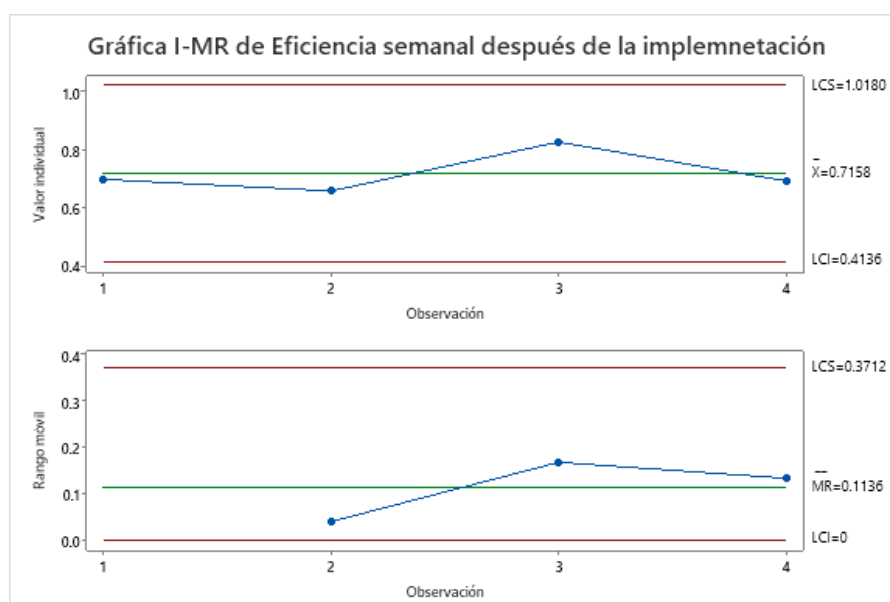
Se inicia con una prueba de normalidad Anderson-Darling para verificar si los datos de eficiencia después de la implementación cumplen con el supuesto de normalidad. Tal como se muestra en la Figura 45, con un valor P de 0.1 mayor a mi nivel de significancia de 0.05 se concluye que los datos de eficiencia semanal después de la implementación están normalmente distribuidos.

Figura 45 Prueba de normalidad de los datos de eficiencia semanal después de la implementación



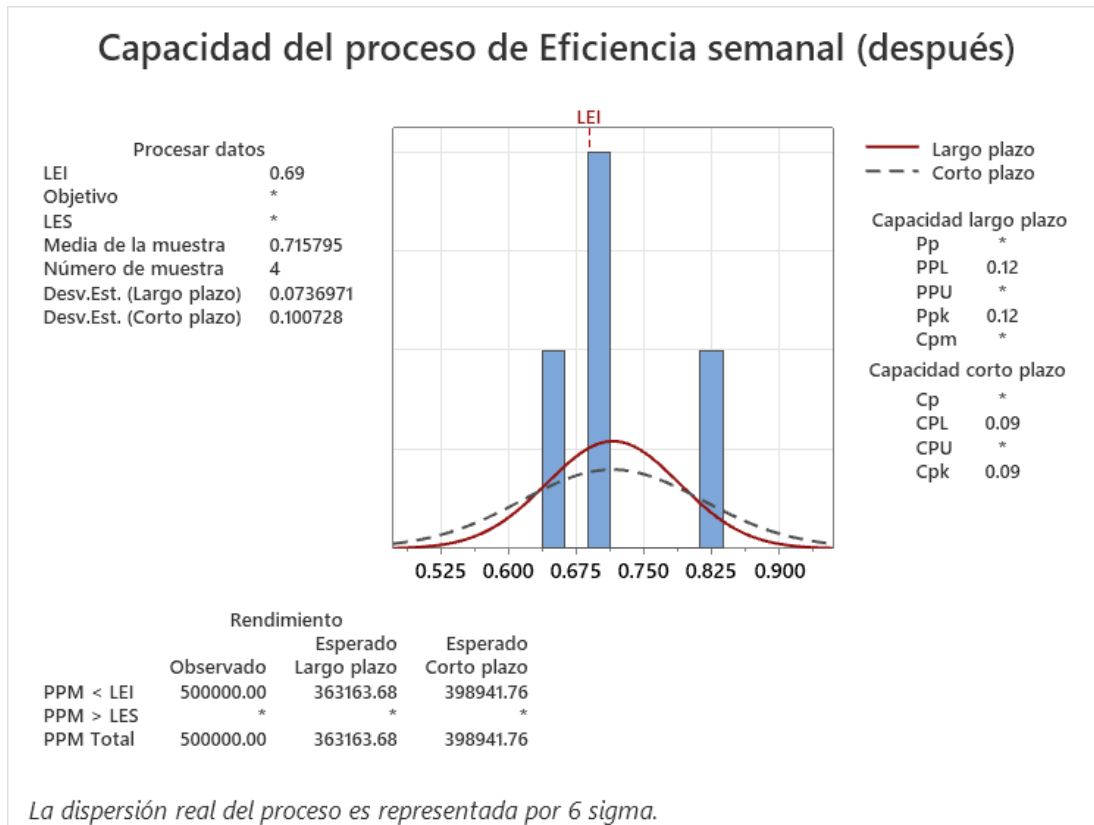
También, se ejecutó una gráfica de control I-MR donde se observa que nuestra variable de estudio está bajo control, ya que las observaciones de la muestra no están fuera de los límites establecidos. (ver Figura 46)

Figura 46 Carta de control I-MR de la eficiencia semanal después de la implementación



Finalmente, se analizó la capacidad de nuestro proceso con un Cpk de 0.09 (ver Figura 47). Pese a no ser un valor mayor o igual a 1, este valor incrementó desde -0.21 hasta 0.09 y sugiere que el proceso tiene potencial para una mayor capacidad.

Figura 47 Análisis de capacidad de la eficiencia semanal después de la implementación



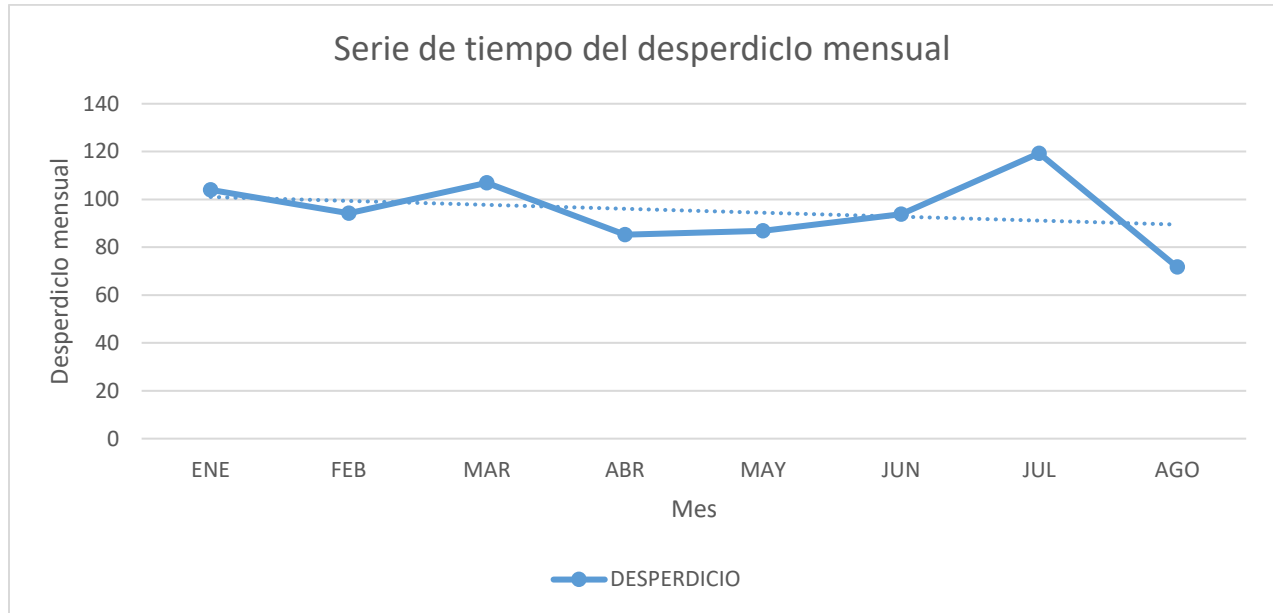
3.2. Triple bottom line

3.2.1. Variable ambiental

La Figura 48 muestra una serie de tiempo con 8 observaciones correspondientes al desperdicio total que se genera en la línea de ensamble 3. El punto de análisis es el mes de agosto donde se realizaron las implementaciones y donde además se puede ver un gran decremento en los kilogramos de desperdicio mensual. Esto sugiere que el impacto ambiental luego de las

implementaciones ha disminuido, por otra parte, la línea de tendencia decreciente indica que este valor podría reducirse incluso más a largo plazo.

Figura 48 Serie de tiempo del desperdicio total en la línea 3 cada mes



3.2.2. Variable económica

Nuestra variable económica es la variable “y” de respuesta, es decir, la eficiencia semanal analizada anteriormente. Esto debido a que el aumento de la eficiencia semanal está directamente relacionado con el incremento de las ganancias o a reducción de costos generados en la línea de ensamble 3.

3.2.3. Variable Social

Los operadores se capacitaron en herramientas de ingeniería industrial como diagramas de Ishikawa, lluvia de ideas y matrices de impacto-esfuerzo. Estas capacitaciones se realizaron en dos reuniones, durante las cuales se ejecutaron las actividades correspondientes junto con los 10 operadores de la línea.

De esta forma, se alcanzó un alto nivel de capacitación en cada uno de ellos. En una escala de ponderación del 1 al 10, el 90% de los operadores obtuvo una calificación entre 8 y 10 en su dominio de las herramientas utilizadas durante las reuniones.

3.3. Plan de control

Finalmente se estableció un Plan de control para cada una de las soluciones planteadas, con el fin de mantener los resultados y tener un registro de su ejecución a largo plazo.

Tabla 35 *Plan de control para estandarización de la nomenclatura de piezas de repuesto.*

Proyecto: Mejora de la eficiencia de la línea de montaje en una empresa fabricante de baterías para vehículos.			Jefe de proyecto: José Sánchez - Odalis Solange	
Responsable del proceso: Ingeniero de procesos			Fecha: agosto de 2025	
¿Qué?	¿Cómo?	¿Quién?	¿Cuándo?	Documento
Mantener una nomenclatura estandarizada para las piezas de repuesto.	Uso obligatorio de la plantilla de ingeniería validada.	Gerente de bodega + ingeniería + supervisor de producción.	Siempre que se requiera una pieza de repuesto o se registre un nuevo código.	Plantilla de nomenclatura estandarizada.

Tabla 36 *Plan de control para el stock de seguridad para piezas de repuesto.*

Proyecto: Mejora de la eficiencia de la línea de montaje en una empresa fabricante de baterías para vehículos.			Jefe de proyecto: José Sánchez - Odalis Solange	
Responsable del proceso: Ingeniero de procesos			Fecha: agosto de 2025	
¿Qué?	¿Cómo?	¿Quién?	¿Cuándo?	Documento

Asegurar la disponibilidad de repuestos en el almacén comprobando los niveles de stock de seguridad.	Revisión mensual con análisis del consumo y ajuste de mínimos y máximos.	Supervisor de almacén de repuestos + ingeniería.	Mensualmente	Informe mensual de inventario de repuestos.
---	--	--	--------------	---

Tabla 37 *Plan de control para la documentación y control de cambios y calibraciones.*

Proyecto: Mejora de la eficiencia de la línea de montaje en una empresa fabricante de baterías para vehículos.			Jefe de proyecto: José Sánchez - Odalis Solange	
Responsable del proceso: Ingeniero de procesos			Fecha: agosto de 2025	
¿Qué?	¿Cómo?	¿Quién?	¿Cuándo?	Documento
Mantener el control documental de las calibraciones.	Uso de procedimientos operativos estándar (SOP).	Supervisor de producción + operadores.	Cada calibración y cambio de referencia.	Calibración y cambio de estándar

Tabla 38 *Plan de control para la alineación de repuesto y partes con mantenimientos preventivos.*

Proyecto: Mejora de la eficiencia de la línea de montaje en una empresa fabricante de baterías para vehículos.			Jefe de proyecto: José Sánchez - Odalis Solange	
Responsable del proceso: Ingeniero de procesos			Fecha: agosto de 2025	
¿Qué?	¿Cómo?	¿Quién?	¿Cuándo?	Documento

Incluya las piezas de repuesto críticas en el plan de mantenimiento preventivo.	Actualización del plan de mantenimiento preventivo con piezas críticas.	Supervisor de producción	Cada mantenimiento preventivo	Plan de mantenimiento actualizado.
--	---	--------------------------	-------------------------------	------------------------------------

Tabla 39 *Plan de control para la inspección técnica de piezas de repuesto críticas en la recepción de materiales.*

Proyecto: Mejora de la eficiencia de la línea de montaje en una empresa fabricante de baterías para vehículos.			Jefe de proyecto: José Sánchez - Odalis Solange	
Responsable del proceso: Ingeniero de procesos			Fecha: agosto de 2025	
¿Qué?	¿Cómo?	¿Quién?	¿Cuándo?	Documento
Inspeccione las piezas de repuesto críticas antes de introducirlas en el almacén.	Aplicar criterios funcionales de inspección y registro.	Supervisor de almacén de repuestos	Por cada recibo de piezas de repuesto	Formulario de registro de inspección y control.

Tabla 40 *Plan de control para alarma sonora en máquina de goma.*

Proyecto: Mejora de la eficiencia de la línea de montaje en una empresa fabricante de baterías para vehículos.			Jefe de proyecto: José Sánchez - Odalis Solange	
Responsable del proceso: Ingeniero de procesos			Fecha: agosto de 2025	
¿Qué?	¿Cómo?	¿Quién?	¿Cuándo?	Documento

Asegúrese de advertir sobre la parada de la máquina de caucho.	Uso de las alarmas instaladas y verificación funcional.	Operadores de línea.	En cada parada de la máquina.	-
---	---	----------------------	-------------------------------	---

Tabla 41 *Plan de control para ajuste de velocidad de la línea basada en la capacidad de la máquina de goma.*

Proyecto: Mejora de la eficiencia de la línea de montaje en una empresa fabricante de baterías para vehículos.			Jefe de proyecto: José Sánchez - Odalis Solange	
Responsable del proceso: Ingeniero de procesos			Fecha: agosto de 2025	
¿Qué?	¿Cómo?	¿Quién?	¿Cuándo?	Documento
Ajuste la velocidad de la línea según la capacidad térmica.	Realizar un estudio de capacidad térmica y pruebas comparativas.	Supervisor de producción	En cada cambio de referencia.	-

Capítulo 4

4. Conclusiones

El proyecto cumplió con el objetivo general establecido al lograr aumentar la eficiencia media hasta el 71%, superando las expectativas iniciales de una eficiencia media de 69% hasta agosto del 2025.

Se recopiló y analizó de forma exitosa los datos operativos de la línea de ensamble 3 estableciendo enfoques específicos en Tiempos de inactividad y luego en paradas menores y cambios todo esto con base a los datos históricos.

Mediante el estudio de causas se integró el uso de herramientas como diagrama de Ishikawa, matriz de priorización de causas y análisis de 5 porqués para encontrar las causas raíz que generaban grandes ineficiencias en la línea de ensamble.

Finalmente, se aplicaron las mejoras propuestas durante la última fase de DMAIC y se validaron a través de análisis estadísticos que sugieren su impacto en las tres variables de importancia de nuestro estudio.

En conclusión, este proyecto permitió a la empresa manufacturera mejorar el desempeño de la línea de ensamble al realizar un enfoque con una estructura ordenada para poder identificar y atacar las causas principales de la baja eficiencia. La aplicación de la herramienta de mejora continua facilitó el análisis para la reducción de tiempos improductivos, mejoramiento de procesos estándar y fortalecimiento de la competitividad operacional, además de fortalecer los trabajos colaborativos orientando al personal lo cual permite tener una base sólida para mejoras a futuro.

5. Recomendaciones

- Ejecutar análisis sencillos de rentabilidad de las soluciones implementadas para verificar ahorros y permitirse evaluar nuevas oportunidades de mejora y optimización en la línea.
- Diseñar un equipo de proyectos con personas de distintas áreas para fomentar mayor comunicación y coordinación entre partes involucradas en el proceso. Una mayor integración puede favorecer a la eficiencia general de la empresa y reducir el tiempo de resolución de problemas.
- Ampliar el alcance de investigación o aplicación de la metodología DMAIC a otras áreas o líneas de ensamble para expandir y fomentar el crecimiento de la cultura de mejora continua en toda la empresa

Referencias

- International Energy Agency. (2023). *Global EV Outlook 2023: Trends in batteries*. Paris: IEA.
<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023/trends-in-batteries>
- Jou, Y. T., Wu, C.-H., & Tsai, C.-Y. (2022). Application of Six Sigma Methodology in an Automotive Manufacturing Process: A Case Study in Taiwan. *Sustainability*, 14(21), 14497.
<https://doi.org/10.3390/su142114497>
- Montgomery, D. C. (2019). *Introducción al Control Estadístico de la Calidad* (7.^a ed.). México: Limusa Wiley.