

**UNIVERSIDAD CENTRAL
VICERRECTORÍA ACADÉMICA**

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC Y SMED
EN LA LÍNEA DE ENSAMBLE DE CONECTORES LSHM PARA
AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD DE LA MÁQUINA Y LA
CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN**

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLERATO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

ESTUDIANTE: GERARDO ANCHÍA ROJAS

TUTOR: ING. JOEL PICADO SANABRIA

SEDE METROPOLITANA, COSTA RICA

ABRIL, 2025

CONTENIDO

DECLARACIÓN JURADA	I
CÉDULA DE IDENTIDAD	II
SOLICITUD DE DEFENSA.....	III
CARTA DE APROBACIÓN DEL TUTOR	IV
CARTA DE AUTORIZACIÓN DEL LECTOR	V
CERTIFICADO DEL FILÓLOGO	VI
CARTA DE ENTENDIMIENTO.....	VII
CONTENIDO	VIII
TABLAS.....	XII
FIGURAS.....	XIV
DEDICATORIA	XVII
AGRADECIMIENTOS.....	XVIII
EPÍGRAFE	XIX
RESUMEN.....	XX
CAPÍTULO I. PROBLEMA.....	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2 OBJETIVOS	3
1.2.1 Objetivo general	3
1.2.2 Objetivos específicos	3
1.3 JUSTIFICACIÓN	3
1.4 ANTECEDENTES	4
1.4.1 Antecedentes nacionales.....	4
1.4.2 Antecedentes internacionales.....	8
1.5 PROYECCIONES.....	11
1.5.1 Alcances	11
1.5.2 Limitaciones	11
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	12
2.1 HERRAMIENTAS INGENIERILES	13
2.1.1 Metodología DMAIC.....	13

2.1.2 Diagramas de flujo	13
2.1.3 Gemba walk	14
2.1.4 Análisis FODA.....	15
2.1.5 Gráfico de barras	16
2.1.6 SIPOC	17
2.1.7 Diagrama de Pareto	17
2.1.8 Project charter.....	18
2.1.9 Metodología SMED	20
2.1.10 Diagramas de Gantt	20
2.1.11 Diagrama de espagueti	21
2.1.12 Lluvia de ideas	22
2.1.13 Diagrama de Ishikawa.....	22
2.1.14 Multivoto.....	23
2.1.15 Plan de capacitación	24
2.1.16 Reuniones de seguimiento.....	24
2.2 IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA.....	25
2.2.1 Visión/misión	25
2.2.2 Antecedentes históricos	26
2.2.3 Ubicación geográfica.....	27
2.2.4 Estructura organizacional.....	27
2.2.5 Cantidad de empleados	28
2.2.6 Tipos de productos.....	28
2.2.7 Mercado de exportación.....	31
2.2.8 Descripción general del proceso productivo	32
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO	35
3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	36
3.2 MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN	36
3.3 FUENTES DE INFORMACIÓN.....	38
3.3.1 Sujetos de información.....	38
3.3.2 Fuentes primarias	38
3.3.3 Fuentes secundarias.....	39

3.4 VARIABLES DE ANÁLISIS	39
3.5 INSTRUMENTOS.....	41
3.6 PROCESO PARA LA RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS	42
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	46
4.1 DEFINIR	47
4.1.1 Análisis FODA de la empresa	47
4.1.2 Matriz de estrategias.....	51
4.1.3 Análisis de la línea de producción de conectores LSHM	53
4.1.3.1 Análisis FODA.....	53
4.1.3.2 Diagrama SIPOC	62
4.1.3.3 Diagrama de flujo del proceso de ensamble de conectores LSHM.....	65
4.1.3.4 Recopilatorio de agosto 2024.....	69
4.1.3.5 Recopilatorio de septiembre 2024.....	70
4.1.3.6 Recopilatorio de octubre 2024	72
4.1.3.7 Project charter.....	74
4.2 MEDIR	76
4.2.1 Análisis del proceso de setup.....	76
4.2.1.1 Etapa preliminar	76
4.2.2 Diagrama de espaguetei	81
4.2.2.1 Diagrama de espaguetei para el técnico en el proceso de setup.....	81
4.2.2.2 Diagrama de espaguetei para el operario en el proceso de setup.....	85
4.2.3 Cálculos de los costos	86
4.2.3.1 Análisis de agosto 2024	87
4.2.3.2 Análisis de septiembre 2024	88
4.2.3.3 Análisis de octubre 2024.....	89
4.3 ANALIZAR	90
4.3.1 Lluvia de ideas	90
4.3.2 Multivoto.....	97
4.3.3 Diagrama de Pareto	99
CAPÍTULO V. PROPUESTA	101
5.1 MEJORAR	102

5.1.1 Propuesta 1. Implementación de SMED	102
5.1.1.1 Segunda etapa del SMED.....	102
5.1.1.1.1 Ejecución del plan piloto	107
5.1.1.1.2 Resultados del plan piloto	109
5.1.1.2 Tercera etapa del SMED.....	112
5.1.1.2.1 Diagramas de flujo del técnico	112
5.1.1.2.2 Diagrama de flujo del operario	118
5.1.2 Propuesta 2. Segundo estante de materia prima	120
5.1.2.1 Implementación de la propuesta	125
5.1.3 Propuesta 3. Bandejas para los componentes de cambio de pallets.....	127
5.1.3.1 Implementación de la propuesta	129
5.1.4 Propuesta 4. Holder para herramientas de setups de pallets	131
5.1.4.1 Implementación de la propuesta	132
5.1.5 Propuesta 5. Formación del proceso de setup.....	134
5.2 CONTROLAR	136
5.2.1 Establecimiento de indicadores clave de desempeño (KPI)	136
5.2.2 Implementación de planes de control.....	136
5.2.3 Capacitación continua.....	137
5.2.4 Monitoreo en tiempo real	137
5.2.5 Revisión y mejora continua	138
5.2.6 Documentación y comunicación.....	138
5.2.7 Cultura de mejora continua	138
5.3 RESUMEN DE LOS COSTOS TOTALES	139
5.3.1 Retorno de la inversión	141
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	143
CONCLUSIONES	144
RECOMENDACIONES	145
REFERENCIAS	147
APÉNDICES Y ANEXOS.....	153
APÉNDICE 1: GLOSARIO DE TÉRMINOS	154

TABLAS

Tabla 2.1: Cantidad de empleados por área.....	28
Tabla 3.1: Tabla de los sujetos de información	38
Tabla 3.2: Variables de la investigación por objetivo específico.....	40
Tabla 4.1: Análisis FODA de la empresa Samtec.....	47
Tabla 4.2: Matriz de estrategias	51
Tabla 4.3: Análisis FODA de la máquina LSHM MPP	54
Tabla 4.4: Matriz de estrategias	61
Tabla 4.5: Top 10 motivos de paro en el mes de agosto 2024.....	69
Tabla 4.6: Top 10 motivos de paro en el mes de septiembre 2024.....	71
Tabla 4.7: Top 10 motivos de paro en el mes de octubre 2024.....	72
Tabla 4.8: Top 10 motivos de paro de agosto a octubre 2024.....	73
Tabla 4.9: Tareas durante el proceso de setup en la máquina LSHM MPP	76
Tabla 4.10: Comparativa de la demora en tareas del proceso de setup	79
Tabla 4.11: Cálculos del tiempo de desplazamiento del técnico	83
Tabla 4.12: Cálculos del tiempo de desplazamiento del operario.....	86
Tabla 4.13: Setup del mes de agosto 2024	87
Tabla 4.14: Setup del mes de septiembre 2024	88
Tabla 4.15: Setup del mes de octubre 2024.....	89
Tabla 4.16: Plantilla para las ideas de análisis de la causa raíz.....	91
Tabla 4.17: Ideas recopiladas del personal operario y técnico.....	91
Tabla 4.18: Votaciones.....	97
Tabla 4.19: Resumen de los resultados del multivoto	98
Tabla 5.1: Clasificación de tareas.....	103
Tabla 5.2: Propuesta de distribución de las tareas en el proceso de setup de la máquina LSHM MPP	104
Tabla 5.3: Comparativa del tiempo actual con el tiempo de la propuesta.....	107
Tabla 5.4: Plan piloto para la primera propuesta	108
Tabla 5.5: Seguimiento del técnico al operario durante el plan piloto.....	108
Tabla 5.6: Análisis de noviembre 2024.....	109

Tabla 5.7: Monto dejado de percibir por el tiempo de setup de agosto a noviembre de 2024..... 111

Tabla 5.8: Cálculos de desplazamiento para el técnico..... 126

Tabla 5.9: Comparación del tiempo de recorrido del técnico antes y después de la implementación 126

Tabla 5.10: Costos totales de la creación de bandejas 128

Tabla 5.11: Costos totales de la creación de bandejas 130

Tabla 5.12: Tabla resumen del proceso de formación..... 135

Tabla 5.13: Costos generales por formación 135

Tabla 5.14: Comparación del tiempo de recorrido del técnico antes y después de la implementación 140

Tabla 5.15: Resumen de los costos de las propuestas 141

FIGURAS

Figura 2.1: Metodología DMAIC	13
Figura 2.2: Diagrama de flujo	14
Figura 2.3: Gemba walk.....	15
Figura 2.4: Análisis FODA	16
Figura 2.5: Gráfico de barras.....	16
Figura 2.6: Diagrama de SIPOC	17
Figura 2.7: Diagrama de Pareto	18
Figura 2.8: Ejemplo de un project charter.....	19
Figura 2.9: Diagrama de Gantt	21
Figura 2.10: Diagrama de espagueti	22
Figura 2.11: Diagrama de Ishikawa	23
Figura 2.12: Plan de capacitación	24
Figura 2.13: Mapa satelital de Samtec	27
Figura 2.14: Organigrama de Samtec.....	28
Figura 2.15: High-Speed Board to Board.....	29
Figura 2.16: High-Speed Cable	29
Figura 2.17: High-Speed Board to Board.....	30
Figura 2.18: Flexible stacking	30
Figura 2.19: Optics	31
Figura 2.20: RF.....	31
Figura 2.21: Diagrama de flujo del proceso de fabricación de un conector	33
Figura 3.1: DMAIC.....	37
Figura 4.1: Gráfica de tiempo down de agosto a octubre 2024	53
Figura 4.2: Diagrama SIPOC.....	63
Figura 4.3: Diagrama de flujo del proceso de ensamble de conectores LSHM	66
Figura 4.4: Gráfico de Pareto de las 10 principales causas de paro de la máquina LSHM en agosto 2024.....	70
Figura 4.5: Pareto de las 10 principales causas de paro de la máquina LSHM en septiembre 2024.....	71

Figura 4.6: Pareto de las 10 principales causas de paro de la máquina LSHM en octubre 2024.....	72
Figura 4.7: Pareto de las 10 principales causas de paro de la máquina LSHM de agosto a octubre 2024.....	74
Figura 4.8: Project charter	75
Figura 4.9: Diagrama comparativo de los procesos de setup.....	80
Figura 4.10: Diagrama de espagueti para el técnico en el proceso de setup	82
Figura 4.11: Diagrama de espagueti para el operario en el proceso de setup	85
Figura 4.12: Diagrama de Ishikawa para el tiempo excesivo en changeover	95
Figura 4.13: Diagrama de Pareto para las causas de alto tiempo en changeover	99
Figura 5.1: Diagrama comparativo de la propuesta para la distribución de tareas de los procesos de setup.....	106
Figura 5.2: Gráfico del promedio de tiempos de setup en noviembre 2024.....	110
Figura 5.3: Gráfica comparativa del tiempo en setup de agosto a noviembre de 2024.....	110
Figura 5.4: Gráfica del monto dejado de percibir por setup de agosto a noviembre de 2024.....	112
Figura 5.5: Diagrama de flujo por cambio de estilo para el técnico	114
Figura 5.6: Diagrama de flujo por cambio de posiciones para el técnico.....	117
Figura 5.7: Diagrama de flujo del operario.....	119
Figura 5.8: Pasos para solicitar el movimiento de activos	121
Figura 5.9: Pasos para solicitar el movimiento de activos	122
Figura 5.10: Pasos para solicitar el movimiento de activos	123
Figura 5.11: Diagrama de recorrido para la propuesta del estante adicional de materia prima.....	124
Figura 5.12: Formulario de solicitud del movimiento de activos	125
Figura 5.13: Propuesta de bandeja para tooling.....	127
Figura 5.14: Bandejas para el setup de la máquina LSHM MPP	130
Figura 5.15: Uso de las bandejas en el proceso de setup.....	131
Figura 5.16: Holder propuesto para las llaves Allen de la estación 3 en LSHM MPP..	132
Figura 5.17: Correo de autorización	133

Figura 5.18: Holder para las llaves Allen 134

Figura 5.19: Gráfica del monto dejado de percibir por setup de agosto a
noviembre de 2024..... 140

DEDICATORIA

Este logro es dedicado a mi familia:

A las mujeres de mi vida que son mis pilares y mi mayor impulso para seguir adelante a pesar de las dificultades: a mi madre Lidieth, ejemplo de un gran ser humano y por sobre todo una excelente madre; a mis hermanas Jazmín y Jaqueline, que han sido un apoyo incondicional y han caminado a mi lado procurando que jamás pierda el rumbo, y a mi esposa Lorent, que ha venido a completar mi vida como una compañera incondicional y un ser irremplazable.

AGRADECIMIENTOS

El agradecimiento se dirige a quienes hicieron posible alcanzar este objetivo. A Samtec, por brindarme la oportunidad con las puertas abiertas de par en par para desarrollar este proyecto, en especial al Ing. Don Ronald Fernández, que prestó su experiencia y conocimiento, siendo un guía invaluable.

Un agradecimiento muy especial a la Ing. Joel Picado Sanabria, profesora, tutora, guía y baluarte durante la carrera y el proyecto final, un ejemplo de un profesional con vocación; junto al personal docente y administrativo de la Universidad Central, este es un logro de todos.

En cada oportunidad que tenga debo agradecer a mi familia, mi madre, mis hermanas y mi esposa, que siempre están en primera fila apoyándome de manera incondicional.

¡Gracias!

EPÍGRAFE

"Los labios de la sabiduría están cerrados, excepto para los oídos del entendimiento"
(*Tres iniciados*, 1908, p. 02).

RESUMEN

Samtec, una empresa reconocida a nivel internacional en el sector de dispositivos electrónicos, enfrenta un desafío significativo en su línea de ensamble de conectores LSHM: el tiempo excesivo que toma realizar cambios de configuración (*setups*) entre lotes de producción. Este problema no solo afecta la eficiencia operativa, sino que también impacta negativamente en la rentabilidad de la empresa. Así, se planteó como objetivo principal de este proyecto reducir el tiempo de *setup* mediante la implementación de mejoras en el proceso, utilizando metodologías como SMED (*single-minute exchange of die*) y herramientas de análisis como FODA, diagramas de flujo y diagramas de Ishikawa. De este modo, el análisis FODA identificó fortalezas clave, como la exclusividad de los productos y el control sobre la producción, pero asimismo destacó debilidades como los altos costos de producción y los tiempos de inactividad en las máquinas. Las oportunidades incluyeron la expansión a nuevos mercados y el aprovechamiento de avances tecnológicos, mientras que las amenazas abarcaron cambios en normativas internacionales y la rápida evolución tecnológica. El problema principal radicó en el tiempo excesivo que toma el *setup* en la máquina LSHM MPP, lo cual representa entre el 25 % y el 50 % de la jornada laboral. Este tiempo se debe principalmente a la falta de procesos definidos, herramientas inadecuadas y recorridos excesivos durante el cambio de configuración. Para abordar este problema, se propusieron varias mejoras, incluyendo la implementación de SMED, la colocación de un segundo estante de materia prima, el diseño de bandejas organizadoras para componentes, la instalación de un soporte magnético para herramientas y la formación del personal. La implementación de estas propuestas demostró ser efectiva en la reducción del tiempo de *setup* y en la mejora de la eficiencia operativa. En el turno 1, el tiempo promedio de *setup* se redujo de 2.5 horas a 1.2 horas, y el monto dejado de percibir por *setup* disminuyó de \$ 4906.8 a \$ 2355.26 en el mes de noviembre 2024. Además, los desplazamientos del técnico se redujeron en un 34 % y se minimizaron los errores durante el cambio de *pallets*. En conclusión, las mejoras implementadas le permiten a Samtec aumentar la disponibilidad de la máquina LSHM MPP, así como reducir costos y mejorar la competitividad en el mercado de dispositivos electrónicos. Se recomienda extender estas mejoras a todos los turnos, continuar con la formación del personal y monitorear continuamente los tiempos de *setup* para realizar ajustes según sea necesario. Además, se sugiere explorar nuevas tecnologías y herramientas que puedan seguir optimizando el proceso de producción. Este proyecto no solo demuestra ser beneficioso para la eficiencia operativa de Samtec, sino que también sienta las bases para futuras mejoras en la línea de producción.

Palabras clave: DMAIC, SMED, *setup*, *changeover*, tiempo *down*.

CAPÍTULO I. PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El presente estudio se realiza en la línea de ensamble automatizado LSHM de la empresa de dispositivos electrónicos Samtec. Al respecto, en la actualidad la compañía se encuentra con una gran oportunidad de mejora en la línea de producción de conectores LSHM, la cual es completamente automatizada, solo requiere de un operario que monitoree los datos y comportamientos de la máquina, además del técnico que le brinda los ajustes y correcciones según lo amerite. Ahora bien, este técnico no solo atiende a la máquina en cuestión, por tal razón las intervenciones programadas deben ser lo más breves posible.

Asimismo, en el trimestre de agosto a octubre del 2024, la línea cuenta con 631 horas productivas contra 795 horas *down* no planeadas, esto genera preocupación pues su razón de existir se debe al aumento en la demanda de los componentes que fabrica. En cuanto a lo expuesto, los análisis gráficos actuales muestran que la mayor parte del tiempo *down* se atribuye al proceso de *setup*, en el cual se han invertido aproximadamente 131 horas, seguido por las 110 horas en mantenimiento, de las 795 horas de tiempo *down* totales en el periodo mencionado.

Observando a detalle los tiempos por *setup*, estos pueden variar de entre 2 horas hasta las 4 horas en algunos casos, tomando en cuenta los tiempos de descanso del personal que opera la máquina. Sin embargo, mantenerla disponible lo más posible es prioridad, por esta razón, y considerando que el *setup* es el motivo que más consume tiempo *down* no planeado, se trabaja bajo la metodología SMED, la misma se orienta a la reducción de los tiempos entre corridas de producción.

Si no se encuentra una solución pronto, el aumento exponencial de la demanda y el acumulado de horas atrasadas pueden afectar de manera preocupante los tiempos de entrega, esto atentaría contra uno de los estandartes de la compañía, a saber, el *sudden service*. Por lo tanto, la empresa ha decidido enfocar esfuerzos en reducir el tiempo del *changeover* bajo la metodología SMED; de esta forma, se busca responder la pregunta: ¿Que necesita la empresa para implementar la metodología SMED en aras de reducir el tiempo *down* generado en la línea automatizada de LSHM?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Evaluar el proceso actual de ensamble de conectores LSHM de la empresa Samtec, mediante la aplicación de las metodologías DMAIC y SMED, con el fin de aumentar la disponibilidad de la máquina y, a su vez, incrementar la capacidad de producción de la línea.

1.2.2 Objetivos específicos

- Definir los factores que afectan la capacidad de producción de la línea de ensamble de LSHM, mediante el análisis de contexto, la caracterización del proceso y la recolección de información en registros.
- Medir el impacto actual de estos factores en el total del tiempo *down* no planeado, por medio de la metodología SMED y gráficos demostrativos.
- Analizar las actividades que se realizan durante el proceso de *changeover*, utilizando herramientas de análisis de causa raíz.
- Elaborar una propuesta de reducción de tiempo *down* por motivo de *setup*, a partir de los lineamientos que establece la metodología SMED.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Hoy en día, con el nivel tan alto de competencia existente en el sector de manufactura, es indispensable buscar la manera de sobresalir entre los competidores, por eso las estrategias orientadas hacia la mejora del servicio adquieren una gran relevancia cuando se plantean los objetivos corporativos y Samtec no es la excepción. De hecho, uno de sus mayores estandartes es el *sudden service*, lo cual les garantiza a sus clientes que sus pedidos se van a entregar en el tiempo y forma requeridos, además con ventajas de entrega sobre la competencia, esto combinado con la calidad de sus productos, algunos de estos inclusive exclusivos de la compañía.

Adicional, como parte de la manufactura esbelta, está el reducir al máximo los desperdicios y entre esos se encuentra el tiempo, ya que se puede considerar como un recurso limitado si se toma en cuenta que el cumplimiento de los compromisos de

entrega adquiere mucha importancia cuando se trata de competir en el mercado de la manufactura.

En la actualidad el proceso *changeover* de la línea LSHM de Samtec se demora alrededor de una hora y treinta minutos en el mejor de los casos, pues en ocasiones supera las 3 horas, esto dependiendo del tipo de *setup* y los inconvenientes que se experimenten. Este motivo de paro siempre se ubica en el top 3 de causas con mayor tiempo acumulado en los registros mensuales.

Por lo señalado, y con el enfoque a la mejora continua que maneja la empresa, nace el presente proyecto, ante esa búsqueda de aumentar la capacidad de producción de la línea y reducir la demora a la hora de cambiar el tipo de producto que se ensambla, porque si se reduce el tiempo entre la última pieza buena de la anterior orden y la primera pieza buena de la siguiente orden, se va a lograr contar con una mayor disponibilidad de la máquina de ensamble.

Para esto, se propone seguir una serie de pasos que brinda la metodología SMED, con el propósito de analizar el proceso de *setup* y hacerlo más eficiente, a la vez que pueda mejorarse con el tiempo y adaptarse fácilmente a las nuevas necesidades del Departamento de Producción.

1.4 ANTECEDENTES

1.4.1 Antecedentes nacionales

1. Martínez Hernández, A. G. (2017). *Implementar la metodología de las mejoras enfocadas (16 grandes pérdidas) para la sección de Subdivisión y Empaque de la empresa STEIN CORP.* [Tesis de licenciatura, Instituto Tecnológico de Costa Rica].

El proyecto buscó aumentar la disponibilidad operativa en la sección de Subdivisión y empaque de la planta de STEIN CORP en Cartago, mediante la reducción de las pérdidas identificadas por el TPM. Tras un análisis gerencial de las 16 grandes pérdidas del TPM, se determinó que los problemas por ajustes iniciales eran la principal causa de paros en los equipos. Además, se realizó un análisis de criticidad que identificó a la blistera EM 5010, la llenadora de líquidos EM 3012 y la encelofanadora Satélite EM

9005 como los equipos con mayor impacto en la disponibilidad, ya que su paro afectaba a otros equipos secundarios de la línea.

Para abordar estos problemas, se implementaron mejoras de control visual y se colaboró con el equipo técnico para optimizar los procedimientos de ajustes iniciales utilizando la metodología SMED, lo que permitió reducir los tiempos de paro entre un 30 % y un 40 %. Estas mejoras resultaron en un aumento del 4 % en la disponibilidad de la sección y un ahorro de 1 614 400 colones. Se espera que estos beneficios continúen creciendo al extender el proyecto a otros equipos de la sección.

2. Alfaro Arce, R. S. (2021). *Reducción del porcentaje de defectos en la calidad del producto de la línea de manufactura Neuro en la empresa Zúrich Medical Technologies S. A.* [Tesis de bachillerato, Universidad Central].

El proyecto de investigación se desarrolló en la empresa Zúrich Medical Technologies S. A., ubicada en la Zona Franca Saret, Río Segundo de Alajuela, dedicada a la manufactura de dispositivos médicos y ensamblajes electromecánicos. El estudio se centró en analizar los defectos de calidad en la producción, identificando la línea de Neuro como la más afectada, específicamente en la fabricación del dispositivo Aortic, que presentaba el mayor índice de desperdicio por el defecto de fuga. Este análisis permitió determinar los principales problemas que contribuyen a este defecto, con el objetivo de mejorar la calidad del producto y reducir los costos asociados.

Para abordar el problema, se utilizó la metodología DMAIC y herramientas como el FODA, el *gemba walk*, el diagrama de Pareto, el diagrama de Ishikawa, el multivoto, el diagrama de CTQ y la matriz de hipótesis. Estas herramientas permitieron identificar las causas raíz del defecto de fuga y proponer soluciones enfocadas en mejorar la herramienta utilizada para remover los mandriles del dispositivo, así como en ajustar procedimientos e instrucciones de trabajo. Las mejoras propuestas implican una inversión en equipos y cambios operativos, pero se espera que generen un impacto positivo en las métricas de producción, el rendimiento (*yield*) de la línea de manufactura y un beneficio económico significativo para la organización.

3. Rojas Soto, V. y Víquez Ramírez, J. (2022). *Desarrollo de una propuesta que mejore la productividad en la línea de líquidos 1, con el fin de optimizar el sistema de envasado de medicamentos líquidos en el Laboratorio de Productos Farmacéuticos de la Caja Costarricense de Seguro Social en la Uruca San José.* [Tesis de licenciatura, Universidad Técnica Nacional].

El proyecto propuso mejorar la productividad en la línea de líquidos 1 y optimizar el sistema de envasado de medicamentos líquidos en el Laboratorio de Productos Farmacéuticos de la Caja Costarricense de Seguro Social en la Uruca, San José, Costa Rica. Según un análisis histórico de los años 2017-2019, se proyectó un incremento anual del 7 % en la demanda de medicamentos líquidos para 2022, superando la capacidad actual del área. Para abordar este desafío, se emplearon diversas herramientas ingenieriles, como análisis de datos, cursogramas analíticos, diagramas de causa-efecto, SIPOC, simulación, pruebas de hipótesis y análisis económicos.

El estudio se dividió en dos enfoques: el primero analizó la situación actual mediante el mapeo de procesos, mientras que el segundo realizó una prueba de hipótesis para comparar el proceso actual con uno simulado. Como resultado, se recomendó implementar la propuesta, ya que ofrece un retorno del 18 % sobre la inversión, lo que la hace viable y beneficiosa para el laboratorio. Esta mejora no solo optimiza el proceso de envasado, sino que también asegura la capacidad de respuesta ante el crecimiento proyectado en la demanda de medicamentos líquidos.

4. Quesada Quirós, M. (2015). *Plan piloto de implementación de TPM en la empresa Gualapack Costa Rica.* [Tesis de licenciatura, Instituto Tecnológico de Costa Rica].

El enfoque del autor en este proyecto se centró en optimizar los procesos de mantenimiento dentro de la empresa donde se realizó la tesis. Para ello, se diseñó un plan de mantenimiento autónomo que integra al operario como responsable de tareas menores, pero cruciales, en el cuidado del equipo productivo. Este plan partió de un análisis del nivel de conocimiento que los operarios tenían sobre sus equipos, seguido de una capacitación en los principios de funcionamiento de estos. Durante esta formación, se resolvieron dudas y se contó con el apoyo de técnicos expertos para

asegurar que el personal comprendiera cómo operar y mantener los equipos de manera adecuada.

Finalmente, el proyecto abordó la reducción de los tiempos de cambio de bobina en la máquina selladora de bolsas, proceso que inicialmente tomaba un promedio de tres horas. Para lograrlo, se registraron los tiempos de varios cambios de bobina, se analizó el proceso paso a paso y se identificaron oportunidades de mejora. Estas mejoras se enfocaron en simplificar los pasos y reducir el tiempo necesario para completar el cambio, optimizando así la eficiencia operativa.

En resumen, el proyecto combinó la capacitación del personal, la reorganización del mantenimiento preventivo y la optimización de procesos específicos, como el cambio de bobinas, para mejorar la productividad y reducir los tiempos de inactividad en la empresa.

5. Villegas Vega, J. (2023). *Propuesta para reducir el desperdicio de materia prima en el proceso de extrusión de la empresa Resinplast Costa Rica durante el periodo 2021-2022*. [Tesis de licenciatura, Universidad Técnica Nacional].

El artículo se centró en la optimización de procesos mediante el análisis de desperdicios, con el objetivo principal de mejorar la productividad. Para ello, se inició con una simulación del proceso que permitió identificar los puntos críticos donde era necesario enfocar los esfuerzos del proyecto. Luego, por medio de un análisis de mudas (desperdicios), se diagnosticó cuáles eran estos, cómo se manifestaban y en qué medida afectaban al proceso. Esta información se representó gráficamente mediante un mapeo de la cadena de valor, el cual destacó las deficiencias y las áreas con mayor potencial de mejora.

Posteriormente, se utilizaron herramientas como el análisis de causa raíz, para profundizar en los desperdicios identificados, y un diagrama de Pareto, para clasificar las causas según su impacto y la oportunidad de mejora que representaban. Con base en estos hallazgos, se desarrollaron diez propuestas de mejora, enfocadas en tres áreas clave: cultura organizacional, calidad y producción.

Además, se calcularon los costos de inversión requeridos para implementar cada propuesta, así como el impacto económico en términos de ahorro. Finalmente, se

estimaron indicadores financieros para evaluar la viabilidad del proyecto y asegurar su sostenibilidad a largo plazo. Este enfoque integral permitió no solo identificar y reducir los desperdicios, sino también garantizar que las mejoras fueran rentables y perdurables en el tiempo.

1.4.2 Antecedentes internacionales

1. Aguilar Taco, N. J. (2016). *Aplicación de SMED en el cambio de formato para incrementar la productividad de una blistera en el área de empaque de un laboratorio farmacéutico–Lima*. [Tesis de Ingeniería Industrial, Universidad César Vallejo]. Lima, Perú.

La metodología SMED (*single minute exchange of die*) es una herramienta clave del *lean manufacturing*. Se aplicó para reducir los tiempos de cambio de formato en la blistera, lo que permitió la producción de lotes pequeños y variados de manera eficiente. El objetivo principal de la investigación fue demostrar cómo la implementación de SMED mejora la productividad en el área de empaque de un laboratorio farmacéutico en Lima.

El estudio se basó en la observación directa de los tiempos de cambio de formato en la blistera al utilizar fichas de recolección de datos y cronómetros digitales para garantizar la validez y confiabilidad de la información. Los resultados mostraron un aumento del 17 % en la productividad de la blistera, junto con una reducción promedio de 26 minutos en los tiempos de cambio de formato, empleando un solo operador. En conclusión, la aplicación de SMED demostró ser efectiva para incrementar la productividad y optimizar los procesos en el área de empaque, lo que resalta su importancia en entornos industriales que requieren flexibilidad y eficiencia.

2. Díaz Azpur, D. Y. (2017). *Aplicación de la técnica SMED para mejorar la productividad en el área de torno de la empresa Sergo Industrial S. A., Lima 2016*. [Tesis de Ingeniería Industrial, Universidad César Vallejo]. Lima, Perú.

El objetivo del autor fue determinar de qué manera la aplicación de la técnica SMED mejora la productividad en el área de torno de la empresa Sergo Industrial S. A., Lima 2016-2017. Al igual que el presente proyecto, es un estudio descriptivo y explicativo, ya

que se realizaron mediciones y se describieron variables con la finalidad de establecer su influencia, a la vez que se explicó el comportamiento de la técnica SMED sobre la productividad. Se demostró que la aplicación de la técnica SMED es una herramienta fundamental para la empresa Sergo Industrial S. A. con la intención de mejorar la productividad en el área de torno, ya que ayuda a reducir los tiempos de cambios de herramientas, las cuales utilizan al máximo la disponibilidad de la máquina; asimismo, esta técnica posibilita mejorar la eficacia y la eficiencia en el área de torno de la empresa. Finalmente, se concluyó que la técnica SMED mejoró la productividad en 21.5 %.

3. Arcela Huamanchay, C. L. (2019). *Aplicación del SMED para mejorar la productividad en la línea de producción de reglas en la empresa Artesco S. A. 2019*. [Tesis de Ingeniería Industrial, Universidad César Vallejo]. Lima, Perú.

Esta tesis se desarrolló con el objetivo de establecer en qué medida la aplicación del SMED mejora la productividad en la línea de producción de reglas en la empresa Artesco S. A. 2019. En este caso, el tipo de investigación fue cuantitativa y experimental pues no es una técnica explorada en la organización y presentaba una innovación. Las técnicas de recolección de datos fueron del tipo de observación y el desarrollo del proyecto requerido cambió los procedimientos actuales, ya que no había antecedentes en la empresa. Resultado de esta implementación, se dio un aumento de la productividad de un 13 %, de igual modo el incremento de la eficiencia en un 7 % y la eficacia en un 7 %. La tesis concluyó que al aplicar el SMED en el proceso de cambio de molde, se hace uso de tres dimensiones: separar tareas internas y externas, convertir tareas internas en externas y mejorar las tareas.

4. Pertuz Rodríguez, A. J. (2018). *Implementación de la metodología (SMED) para la reducción de tiempos de alistamiento (setup) en máquinas encapsuladoras de una empresa farmacéutica en la ciudad de Barranquilla*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Barranquilla, Colombia.

El proyecto buscó implementar la metodología SMED (*single minute exchange of die*) para reducir los tiempos de alistamiento (*setup*) en una máquina encapsuladora de una

empresa farmacéutica en Barranquilla. Actualmente, el proceso de alistamiento para el cambio de producto toma 240 minutos, lo que limita la disponibilidad de la máquina y su capacidad de producción. El objetivo fue minimizar estos tiempos muertos, optimizando las actividades internas (realizadas con la máquina detenida) y externas (llevadas a cabo con la máquina en funcionamiento), con el fin de aumentar la eficiencia y permitir una mayor programación de producción.

Para lograr esta reducción, se conformó un equipo de trabajo que registró y analizó cada actividad durante el alistamiento. Se utilizaron herramientas como el diagrama de espagueti, la filmación del proceso y la segregación de actividades en internas y externas. Con esta información, se desarrolló un plan de mejora basado en la herramienta 3W (*what, why, who*), que identifica las anomalías, propone soluciones y asigna responsables para su implementación. Este enfoque sistemático permite optimizar el proceso de alistamiento al reducir los tiempos y aumentar la productividad de la máquina encapsuladora.

5 García Moreno, J. G. y Trisollini Gagliardi, G. G. (2021). *Metodología SMED para mejorar la productividad del área de producción en una empresa de termoformado de envases desechables de plástico*. [Tesis de Ingeniería Industrial, Universidad Ricardo Palma]. Lima, Perú.

El estudio se enfocó en aumentar la productividad al reducir los tiempos de las actividades que conforman el proceso de cambio de molde de una empresa termoformadora de envases de plástico, para aumentar el tiempo productivo dentro de cada turno, haciendo uso de la metodología SMED. Cabe resaltar que se analizó la manera en la que los operarios realizaban el proceso de cambio de molde y se determinó que, en primera instancia, no aplicaban ninguna metodología porque se tardaban demasiado en cada paso y no sincronizaban sus tareas. Por último, se efectuó un estudio acerca del recorrido que seguía el montacargas, desde que recoge el molde en el almacén hasta la máquina. Una vez registrada al detalle toda la información requerida, se procedió a plantear las mejoras con base en el sistema SMED, por lo tanto, fue necesario un equipo de trabajo para su implementación y la colaboración de los operarios.

1.5 PROYECCIONES

Entre lo que se espera obtener al finalizar el proyecto de implementación de la metodología SMED en la línea de ensamble de LSHM, se encuentra:

- Reducción de un 30 % del tiempo de *changeover* en la primera etapa de implementación.
- Disminución del tiempo *down* total de la línea por temas referentes a mantenimiento y *setup*.
- Mayor involucramiento del personal operario en el proceso de *changeover* mediante capacitaciones.

1.5.1 Alcances

El estudio se realiza en la empresa de ensamble de dispositivos electrónicos Samtec, ubicada en Zona Franca Z, localizada en Montecillos de Alajuela, específicamente en línea de producción de conectores LSHM.

Se espera que al finalizar el proyecto, si no se ha implementado el SMED, se hayan sentado las bases para su implementación.

En caso de llevarse a cabo esta mejora, se le puede dar un mayor aprovechamiento a la máquina y, consecuentemente, aumentar la capacidad de producción de esta.

1.5.2 Limitaciones

No se visualizaron limitaciones durante el desarrollo del presente estudio.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 HERRAMIENTAS INGENIERILES

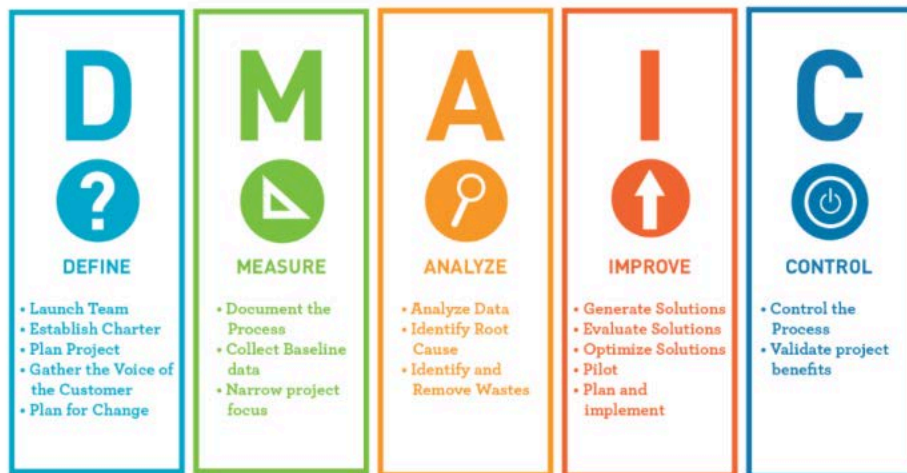
Seguidamente se detallan las herramientas y conceptos ingenieriles tomados en cuenta para el desarrollo del presente estudio.

2.1.1 Metodología DMAIC

En cuanto a esta metodología, SafetyCulture (2024) establece:

DMAIC es un ciclo de mejora basado en datos que ayuda a las organizaciones a medir y mejorar su rendimiento. DMAIC es el acrónimo de cinco pasos: definir, medir, analizar, mejorar y controlar. El objetivo principal de DMAIC es identificar y eliminar los residuos en un proceso empresarial. Esto puede hacerse mediante la aplicación de herramientas y técnicas *lean* y *six sigma*. El DMAIC puede ser una forma eficaz de mejorar el rendimiento de la empresa, ya que puede ayudarle a identificar y resolver problemas, realizar mejoras y hacer un seguimiento de los resultados.

Figura 2.1: Metodología DMAIC



Fuente: Muñoz, 2023.

2.1.2 Diagramas de flujo

Respecto a este tipo de diagramas, Santos (2023a) explica su funcionalidad:

Los diagramas de flujo sirven para analizar las capacidades de una organización y para determinar de manera general a los actores, pasos y procesos que se

deben cumplir para alcanzar un objetivo. Podríamos decir que con estos diagramas se puede hacer un mapa de ruta.

Si eres consciente de tus recursos y de los talentos que integran a tu compañía será más fácil implementar una acción. Por ejemplo, si quieres mejorar la productividad de tu equipo deberás comenzar con capacitar a tus líderes, ellos deberán motivar a los trabajadores para que cumplan las metas; en el último paso, tus líderes deberán evaluar el desempeño. Si no haces esto de manera ordenada, seguramente no lograrás elevar la productividad.

Figura 2.2: Diagrama de flujo



Fuente: Santos, 2023a.

2.1.3 Gemba walk

Con relación a esta herramienta, SafetyCulture (2025) detalla:

Un *gemba walk* es un recorrido por el lugar de trabajo cuyo objetivo es observar a los empleados, preguntarles por sus tareas e identificar las mejoras de productividad. *Gemba walk* se deriva de la palabra japonesa *gemba* o *gembutsu*, que significa 'el lugar real', por lo que suele definirse literalmente como el acto de

ver dónde ocurre el trabajo real. Un paseo *gemba* es un método *lean* sencillo pero potente que realizan los empresarios para promover la mejora continua (SafetyCulture 2025).

Figura 2.3: Gemba walk

Paseo eficaz por el Gemba	Paseo Gemba ineficaz
Realizar la observación de los empleados en el lugar de trabajo real	Hacer suposiciones o recabar información mientras se está en una sala de conferencias o reuniones
Hacer observaciones y tomar nota de los procesos que se llevan a cabo	Juzgar el trabajo de los empleados y pensar qué debe corregirse en todo lo que está mal
Obtenga información de los trabajadores y aprenda de ella	Encontrar fallos en lugar de observar los procesos
Preguntar qué enfoques y métodos funcionan bien y cuáles necesitan ser mejorados	Dar una opinión personal y mostrar prejuicios

Fuente: SafetyCulture, 2025.

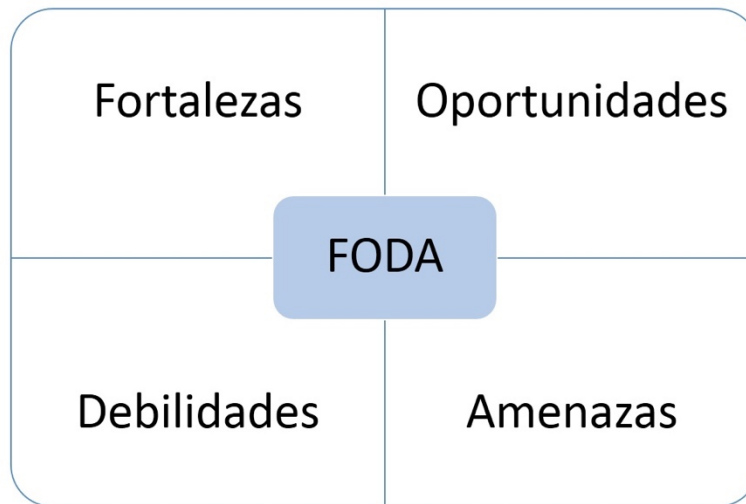
2.1.4 Análisis FODA

Referente al análisis FODA, Riquelme (2016) brinda las siguientes características:

Buscando orientar con el estudio cuáles son las fortalezas de la organización, sea en cuanto a los recursos que posee, la calidad de este, etc. Asimismo, externamente puede estudiar las amenazas que puedan existir como en el ámbito político o social.

Cabe señalar que el FODA es una herramienta fundamental en la administración y en el proceso de planificación, de hecho, con este estudio se beneficiará de un plan de negocios, pudiendo dar fuerza a la sigla de oportunidad, logrando, además, la situación real en la que se encuentra la empresa o proyecto, y poder planificar alguna estrategia a futuro.

Figura 2.4: Análisis FODA

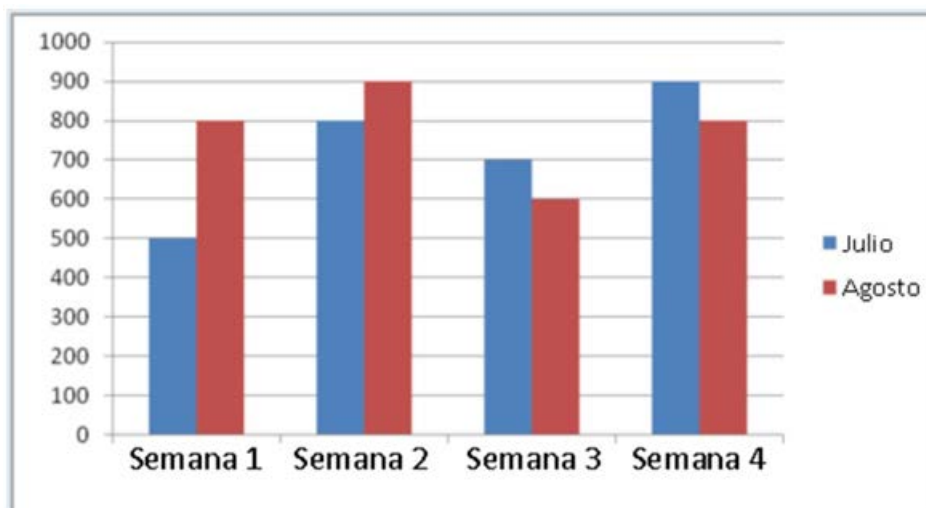


Fuente: Riquelme, 2016.

2.1.5 Gráfico de barras

Un diagrama de barras, también conocido como gráfico de barras o diagrama de columnas, es una manera de representar gráficamente un conjunto de datos o valores, y está conformado por barras rectangulares de longitudes proporcionales a los valores representados. Estos gráficos se usan para comparar dos o más valores y las barras pueden orientarse horizontal o verticalmente.

Figura.2.5: Gráfico de barras



Fuente: CK-12, 2025.

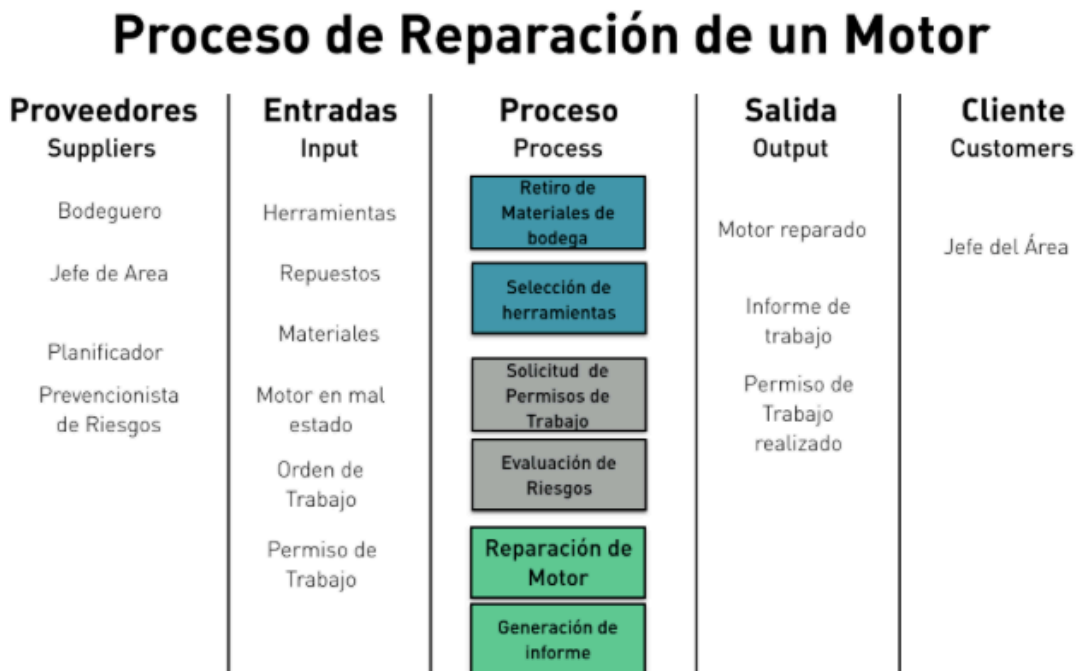
2.1.6 SIPOC

Acerca de esta herramienta, Santos (2024a) expone:

SIPOC son las siglas en inglés de los conceptos proveedor, entradas, proceso, salidas y cliente. No es tanto un mapa, sino un gráfico que muestra estos elementos clave que estarán involucrados en un proceso o que serán parte de un nuevo proyecto. Por eso es una herramienta que se puede implementar antes de diseñar otro tipo de mapeo de proceso. Ayuda a definir trabajos complejos y a identificar a todos los responsables en cada una de sus etapas.

Como puedes ver, según tus necesidades debes elegir un tipo de mapeo de procesos. Pero antes de que busques papel y lápiz para hacer un bosquejo del tuyo, considera lo siguiente para que tengas los elementos básicos para empezar.

Figura 2.6: Diagrama de SIPOC



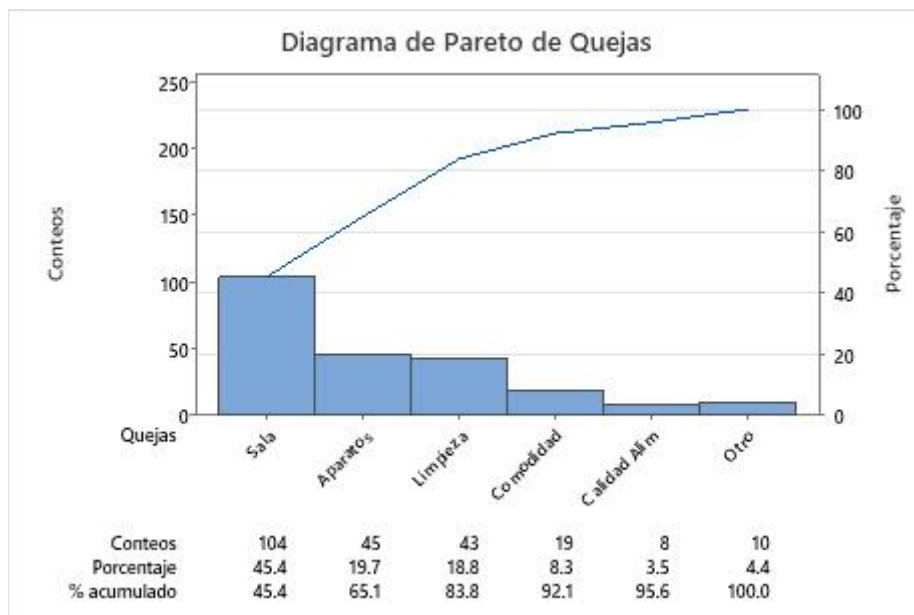
Fuente: Lean Tools, 2017.

2.1.7 Diagrama de Pareto

En cuanto a este tipo de diagrama, Santos (2023a) explica:

Los diagramas de Pareto son herramientas visuales diseñadas para establecer prioridades y destinar tu esfuerzo a los factores más apremiantes, asignando un orden para la resolución de cada asunto. Esta herramienta es fundamental para la planeación estratégica, ya que es necesario saber cuál será el proceso a seguir, qué es más importante y cómo se relacionan todos los aspectos a resolver.

Figura 2.7: Diagrama de Pareto



Fuente: Minitab, 2025a.

2.1.8 Project charter

El *project charter* supone el establecimiento formal de la existencia y el desarrollo de un proyecto y, por lo tanto, debe presentarse antes de darle comienzo. Se trata de un documento en el que se puede plasmar información relevante para el éxito del proyecto, el cual debe ser emitido por el iniciador o patrocinador del proyecto, además en este se mencionan las facultades para asignar recursos y actividades del gerente de proyectos. El acta de constitución del proyecto normalmente debe ser preparada por el *sponsor*, el cual inicia el proyecto dentro de la organización. En su defecto, el *sponsor* puede requerir que el futuro jefe de proyecto prepare el acta de constitución para después simplemente dar el visto bueno y firmar el documento.

Figura 2.8: Ejemplo de un project charter

CHARTER (ACTA CONSTITUCIÓN) DEL PROYECTO Información principal y autorización del proyecto	
1.- Fecha:	2.- Nombre de Proyecto:
<i>De acuerdo con las nueve áreas debe indicar cuáles aplican</i>	4.- Área de aplicación, interesados del proyecto: involucrados, áreas y departamentos dentro de la organización
5.- Fecha de inicio del proyecto:	6.- Fecha tentativa finalización:
7.- Objetivos del proyecto: 7.1- Objetivo General: 7.2. Objetivos Específicos <i>Mínimo tres</i> 7.2.1 7.2.2 7.3.3	
Descripción del producto: <i>Cuál será el entregable del proyecto?</i>	
Necesidad del proyecto: <i>Cuál es el porqué de su proyecto, cuál es la necesidad que va a cubrir su proyecto?</i>	
Restricciones: <i>Limitantes que pueden afectar los objetivos del proyecto</i>	
Supuestos: <i>Argumentos formulados a priori que pueden afectar para bien o para mal el proyecto</i>	
Identificación de grupos de interés (stakeholders): Cliente(s) directo(s): Cientes indirectos: <i>áreas funcionales o departamentos involucrados</i>	
Aprobado por: <i>Gerente del proyecto (Coordinador del grupo)</i>	Firma:
Presentado por: <i>Todos los integrantes del grupo</i>	Firma:

Fuente: Sánchez, 2021.

2.1.9 Metodología SMED

El SMED es una herramienta de mejora sobradamente contrastada (Rey, 2009) que permite reducir los tiempos de cambio de útiles, contribuyendo así al aumento de la flexibilidad, a la reducción de despilfarros, a la mejora de la productividad, etc. (al lanzar series más pequeñas, se logra reducir los tiempos de parada, el nivel de *stock*, el tiempo de flujo, el tiempo de respuesta, etcétera).

Sin embargo, para implantar esta herramienta se necesita un periodo de formación en el que se aprenda a distinguir, entre los diferentes tipos de operaciones, a tener la capacidad de transformar operaciones internas en externas y a resolver los problemas que esto plantea, entre otros lineamientos.

La enseñanza del método SMED en las empresas generalmente se ve comprometida por una planificación previa que condiciona la asignación de los recursos necesarios. Además, ante una nueva metodología o herramienta, lo fácil suele ser comprender “qué es lo que hace”, “dónde se aplica” y “para qué se utiliza”, pero saber “cómo se aplica” es lo realmente complicado. Por ello, cuando una compañía decide implantar el SMED por medio de un autoaprendizaje interno, el proceso suele ser bastante lento y nunca se está plenamente seguro de que se haya aplicado de forma correcta.

2.1.10 Diagramas de Gantt

De acuerdo con Santos (2023a):

El diagrama de Gantt es una herramienta de gestión de proyectos que busca agilizar y cumplir con objetivos de entrega; permite ver las tareas, qué equipo o personas son los responsables de cada una, el tiempo de duración de cada actividad y las fechas programadas para que se cumplan.

Figura 2.9: Diagrama de Gantt

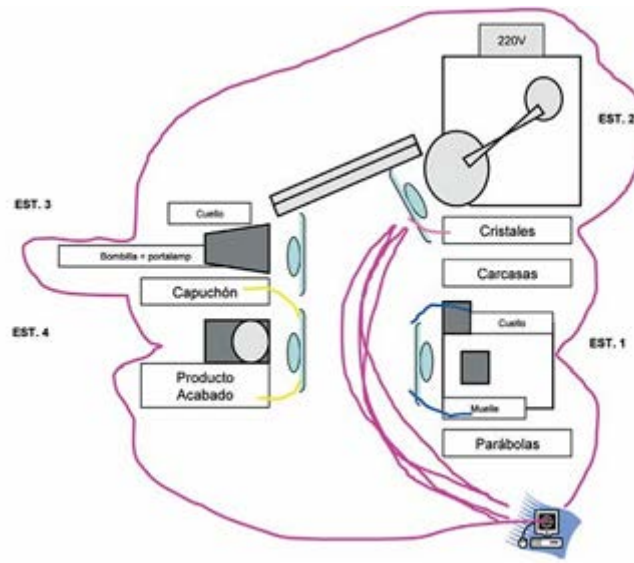


Fuente: Santos, 2023a.

2.1.11 Diagrama de espagueti

Un diagrama de espagueti es una herramienta visual utilizada en la gestión de procesos, especialmente en metodologías como *lean manufacturing* y *six sigma*. Consiste en un plano o *layout* de un área de trabajo (como una fábrica, oficina o almacén) sobre el cual se trazan líneas que representan los movimientos de personas, materiales o información durante un proceso. Estas líneas, que suelen cruzarse o enredarse como "espaguetis", permiten identificar desplazamientos innecesarios, rutas redundantes o ineficiencias en el flujo de trabajo. El objetivo principal del diagrama de espagueti es optimizar la distribución del espacio y mejorar la productividad al reducir tiempos y movimientos innecesarios (Rajadell y Sánchez, 2010).

Figura.2.10: Diagrama de espagueti



Fuente: Rajadell y Sánchez, 2010.

2.1.12 Lluvia de ideas

En cuanto a esta técnica, EBAC (2023) determina:

La lluvia de ideas, también llamada tormenta de ideas o *brainstorming*, es una técnica para generar ideas nuevas, espontáneas y creativas, con el fin de solucionar un problema.

Este método fue desarrollado en 1939 por Alex Osborn, ejecutivo de publicidad. En su libro *Your Creative Power* (Tu poder creativo), Osborn subraya que el éxito depende del poder creativo, no solo en el área de negocios, sino también en todas las esferas. A su vez, señala que la creatividad a menudo termina sofocada porque las personas involucradas en el proceso creativo rechazan rápidamente las ideas innovadoras. Según él, todos tienen el potencial para desarrollar habilidades creativas.

2.1.13 Diagrama de Ishikawa

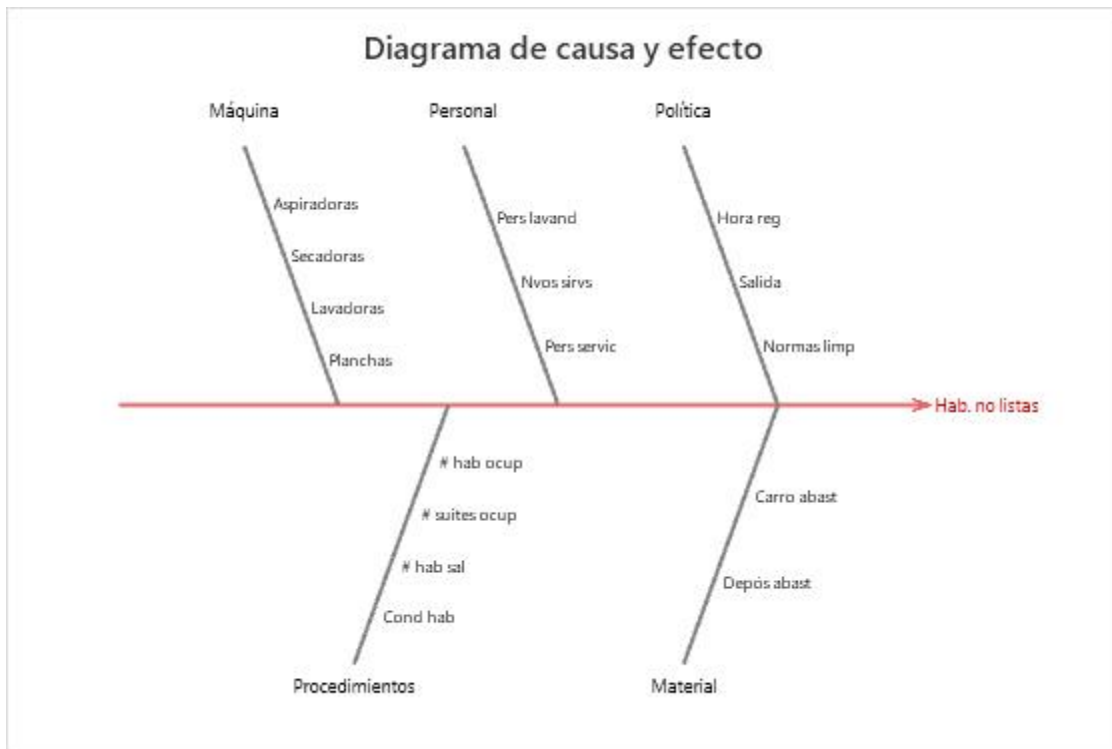
Rodrigues (2024) detalla sobre el diagrama de Ishikawa:

Este esquema también conocido como diagrama de causa-efecto se basa en la premisa de que todo problema tiene una causa; de algo que está mal en un

proceso. Entonces hay que identificar de dónde surgen las acciones que están conformando ese problema.

Otro valor del método es su flexibilidad para adaptarse a cualquier industria, actividad, área, contexto o situación.

Figura 2.11: Diagrama de Ishikawa



Fuente: Minitab, 2025b.

2.1.14 Multivoto

La matriz de priorización o multivoto es una técnica grupal que tiene como objetivo reducir una lista de ideas a ideas principales o raíz. Se busca la idea más conveniente, urgente, accesible, etc. El procedimiento es construir una tabla con un listado de todas las causas o limitaciones numeradas en forma consecutiva y repartir la tabla a cada miembro del grupo, quienes colocan una X en la columna que corresponde a su voto. Relacionado a esto, se genera una tabla de referencia en donde se anota el número de veces que se vota por cada columna. Luego, se suman los puntos para cada idea y se seleccionan aquellas con mayor puntaje como los factores de análisis de mayor importancia.

2.1.15 Plan de capacitación

Referente a esta herramienta, Clavijo (2023) brinda las siguientes características:

Un plan de capacitación es un documento esquematizado que integra los contenidos y dinámicas para enseñar una habilidad específica mediante un programa y conjunto de materiales predeterminados; generalmente, se enfoca en los trabajadores de una organización para adquirir o reforzar conocimientos y experiencias.

Figura 2.12: Plan de capacitación

PLAN DE CAPACITACIÓN PARA TECNO SA DE CV				
CAPACITADOR	Manuel Ortega Ramírez	CARGO	Jefe de Capacitación	
APROBADOR	María González Molina	CARGO	Director de Desarrollo de Personal	
NECESIDADES	Se implementó un nuevo proceso en la organización que requiere manejo de base de datos.			
OBJETIVO	Capacitar al equipo de TI para gestionar la base de datos conforme al nuevo proceso para que le den continuidad al trabajo del área.			
CURSO	AFROBADO POR	FECHA	DESCRIPCIÓN DEL CURSO	CAPACITADOR
Base de Datos / nuevo proceso	María González	01 al 02 de Marzo	Gestión de base de datos, su diseño, mantenimiento, mejores prácticas. Temas: <ul style="list-style-type: none"> Proceso interno. Uso de las bases de datos. Nuevo software para gestión de bases de datos. Práctica. 	Lic. Raúl Salinas Ing. Sebastián Lara
CRONOGRAMA	FECHA	HORA	RESPONSABLE	
Proceso interno	01 de Marzo	9:00 h	Lic. Raúl Salinas	
Uso de base de datos	01 de Marzo	11:00 h	Lic. Raúl Salinas	
Nuevo software para gestión de base de datos	02 de Marzo	12:00 h	Ing. Sebastián Lara	
Práctica	02 de Marzo	14:00 h	Ing. Sebastián Lara	

Fuente: Clavijo, 2023.

2.1.16 Reuniones de seguimiento

Santos (2023b) describe esta herramienta a continuación:

El seguimiento de un proyecto consiste en la supervisión y el monitoreo del cumplimiento de los planes establecidos para alcanzar un objetivo empresarial. Gracias a este se pueden realizar acciones correctivas, prevenir riesgos y optimizar la productividad de un equipo.

2.2 IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA

A continuación, se exponen los detalles más importantes de la empresa Samtec, donde se realiza el estudio.

2.2.1 Visión/misión

La visión y misión de la empresa se muestran seguidamente.

ADN

Samtec no cuenta con una visión como tal, en su lugar establece 4 valores que identifica como su ADN:

1. Velocidad.
 - a. Ofrezco un servicio eficiente.
 - b. Me enfoco en actuar.
 - c. Los errores ocurren, me recupero rápidamente.
 - d. RFA, listo, fuego y apunte.
2. Innovación.
 - a. Me sumo al cambio.
 - b. Creo soluciones que se adapten a la necesidad.
 - c. Estoy alerta (paranoia sana).
 - d. Me enfoco en los detalles y también en el panorama completo.
3. Flexibilidad.
 - a. Pienso creativamente.
 - b. Estoy alineado con el modelo de negocio.
 - c. Aprendo, crezco y me divierto.
 - d. Hago la diferencia siendo creativo.
4. Ganar/ganar.
 - a. Todos somos importantes.
 - b. Soy responsable.
 - c. Me comprometo.
 - d. Reconocemos el buen desempeño (Samtec, 2025).

Misión

“Ser ejemplo corporativo en la manufactura y servicio de soluciones de interconexión electrónica, comprometidos con la excelencia operacional, la pasión por el servicio y el bienestar de nuestra gente” (Samtec, 2025).

2.2.2 Antecedentes históricos

Samtec es una empresa que fabrica y distribuye dispositivos electrónicos a nivel mundial, principalmente se enfoca en conectores y cables. En la actualidad cuenta con cerca de 7500 colaboradores, distribuidos en 14 plantas de producción y varias oficinas de ventas y centros de diseño a nivel mundial.

Fue fundada el 2 de enero de 1976 por Sam Shine en la ciudad de Indiana, Estados Unidos, con sede principal en New Albany. La empresa se gestó bajo el principio del *sudden service*. Al respecto, Samtec fue pionera en la importancia del cliente en la industria de la electrónica, sus ideas innovadoras se han comparado con las de empresas como Amazon, Southwest Airlines y Apple, excepto que lo hizo para conectores electrónicos, sin internet y en Indiana años antes de que existieran esas otras empresas.

Las filosofías de Sam finalmente condujeron a los siete “principios de servicio repentino” de la compañía, que se leen más como una lista de sentido común de cómo ser una mejor persona que como principios comerciales; algunos son: “todo el mundo comete errores, admítelo y recupérate rápidamente”, “el seguimiento es esencial” y “si un cliente no está contento, eso es lo mismo que un rechazo de calidad”.

Sam dirigió la empresa de acuerdo con esos principios, los reforzó y alentó a todos los asociados a vivir de acuerdo con ellos. Esto, combinado con su sólido plan de negocios, ayudó a distinguir a Samtec de sus competidores.

Samtec ha sido galardonado con el *ranking* general # 1 en la Encuesta de Servicio al Cliente de Bishop and Associates de la Industria de Conectores Electrónicos, realizada tanto en América del Norte como en Europa, un total de 28 veces. El premio Bishop es el equivalente de la industria de conectores al premio J.D. Power.

La primera línea de productos se diseñó para proporcionar a los clientes la selección más amplia de la industria de interconexiones de placa a placa, al tiempo que les

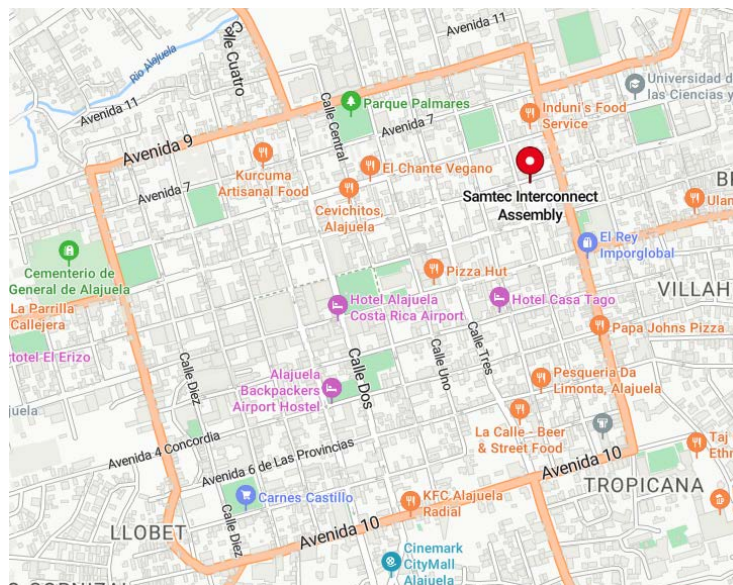
brindaba la flexibilidad para diseñar una solución que se adaptara con precisión a sus requisitos específicos. La ventaja de este sistema era que los productos podían fabricarse en unas pocas horas en lugar de semanas, con un inventario mínimo y utilizando métodos de fabricación de bajo costo.

Desde entonces, la línea de productos de Samtec se ha multiplicado para incluir productos microminiatura de gran ancho de banda para redes, supercomputadoras, equipos médicos, aviación y aplicaciones de automatización industrial y robótica, por nombrar algunos.

2.2.3 Ubicación geográfica

Samtec se encuentra dentro de la Zona Franca Z, ubicada en Montecillos de Alajuela.

Figura 2.13: Mapa satelital de Samtec

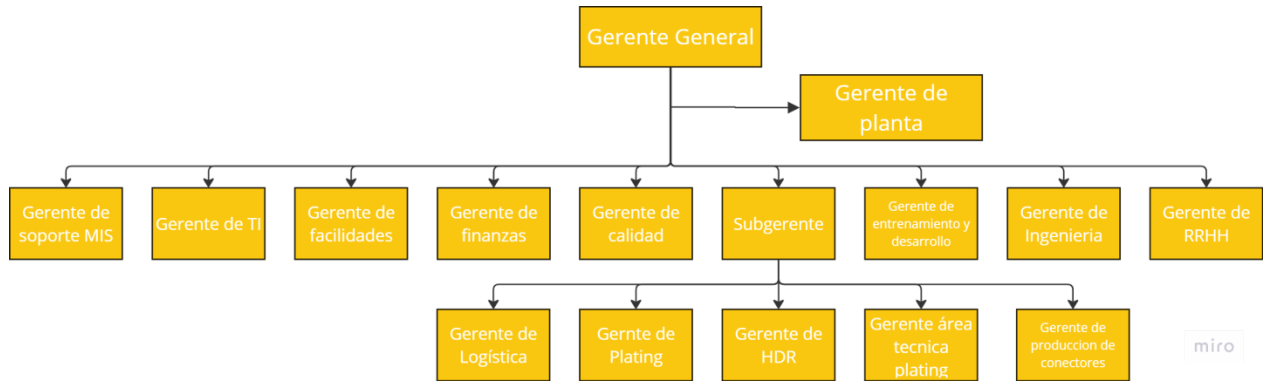


Fuente: Google Maps, 2024.

2.2.4 Estructura organizacional

El organigrama de la empresa se muestra a continuación:

Figura 2.14: Organigrama de Samtec



Fuente: RR.HH. de Samtec, 2024.

2.2.5 Cantidad de empleados

La cantidad de empleados por área se indica en la siguiente tabla:

Tabla 2.1: Cantidad de empleados por área

Puesto o área	Cantidad
Automation	218
Cable	51
Hand Fill	18
HDR	378
Plating	28
Pockets	3
Total	696

Fuente: RRHH de Samtec, 2024.

2.2.6 Tipos de productos

Samtec se especializa en la fabricación de cables y conectores, pero no todos se producen en la planta de Costa Rica. Los distintos productos que se ofrecen son distribuidos en las diferentes plantas, además de que Samtec brinda un servicio personalizado en caso de que un cliente requiera algún tipo específico de modificación al producto base y combina las distintas partes a conveniencia del comprador. Los principales productos que ofrece Samtec son los siguientes:

- High-Speed Board to Board

Figura 2.15: High-Speed Board to Board



Fuente: Samtec, s.f.

- High-Speed Cable

Figura 2.16: High-Speed Cable



Fuente: Samtec, s.f.

- Rugged/Power

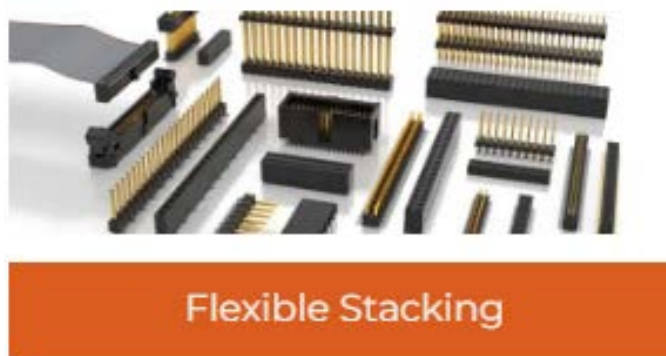
Figura 2.17: High-Speed Board to Board



Fuente: Samtec, s.f.

- Flexible Stacking

Figura 2.18: Flexible stacking



Fuente: Samtec, s.f.

- Optics

Figura 2.19: Optics



Fuente: Samtec, s.f.

- RF

Figura 2.20: RF



Fuente: Samtec, s.f.

2.2.7 Mercado de exportación

Samtec tiene una presencia global significativa, con un amplio mercado de exportación que abarca diversas industrias y clientes en todo el mundo. La empresa suministra sus productos a sectores clave como:

Industrias atendidas

- Aeroespacial: proporciona soluciones para sistemas de aviación y tecnología espacial.
- Automotor: ofrece componentes para la electrónica y sistemas de vehículos.
- Comunicaciones: suministra conectores para infraestructuras de telecomunicaciones.
- Militar: provee tecnología para aplicaciones de defensa y seguridad.
- Médica: contribuye con componentes para equipos y dispositivos médicos.

Aplicaciones de los productos

Los conectores de la empresa se utilizan en una amplia gama de aplicaciones, tales como:

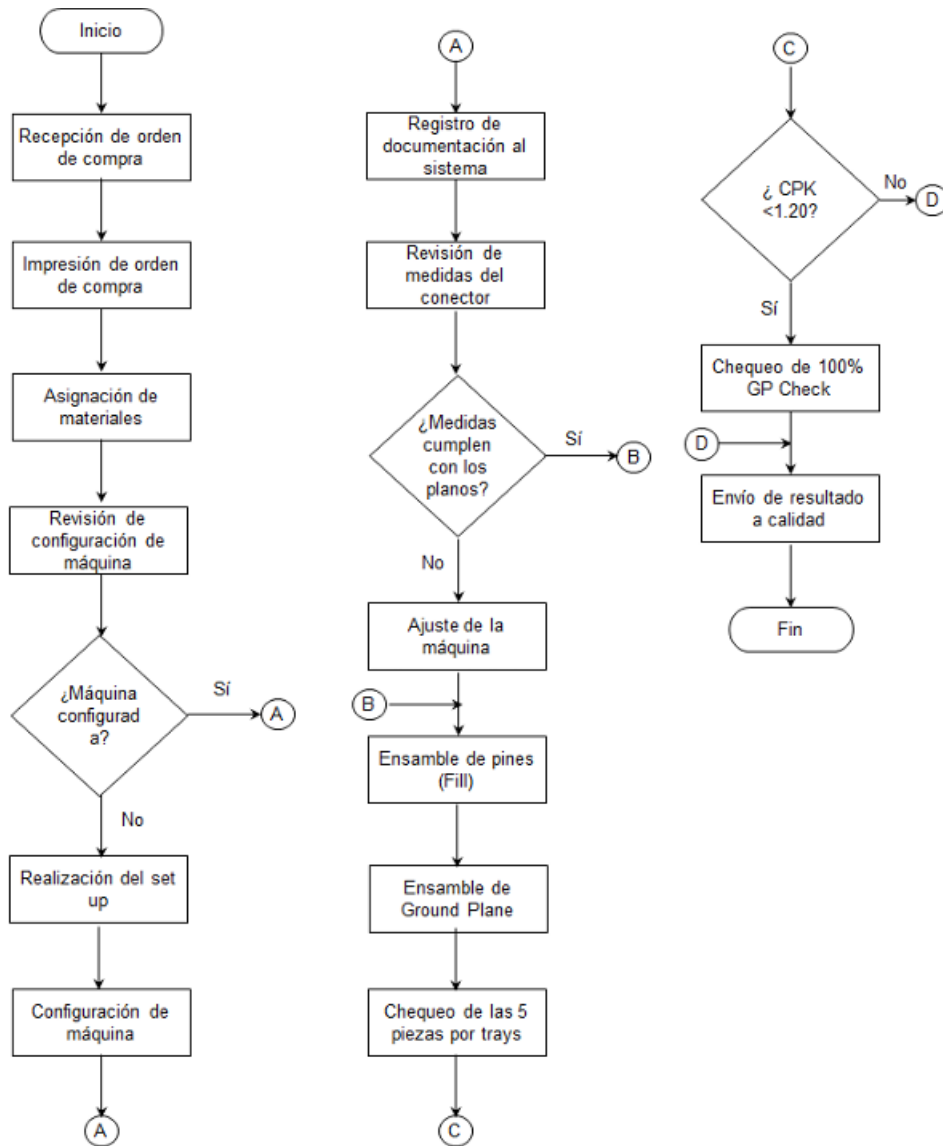
- Misiles: componentes críticos para sistemas de defensa.
- Cámaras: conectores para dispositivos de imagen y video.
- Teléfonos celulares: piezas esenciales para la conectividad en dispositivos móviles.
- Sistemas GPS: tecnología para la navegación y posicionamiento global.
- Electrónica de autos: soluciones para sistemas avanzados en vehículos.
- Transceivers: componentes para la transmisión y recepción de señales en redes de comunicación.

Samtec es un proveedor clave en múltiples industrias al ofrecer productos de alta calidad para aplicaciones críticas y colaborar con empresas líderes a nivel mundial. Su enfoque en la innovación y la diversificación de mercados le permite mantener una posición sólida en el ámbito internacional.

2.2.8 Descripción general del proceso productivo

A continuación, se aprecia el diagrama de flujo del proceso y, posteriormente, la explicación de cada etapa:

Figura 2.21: Diagrama de flujo del proceso de fabricación de un conector



Fuente: Manual de Procedimientos de Samtec, 2025.

- Recepción de la orden de compra: el Departamento de Servicio al cliente recibe una solicitud por parte del cliente y la registra en el sistema.
- Impresión de la orden: el supervisor imprime la orden de compra para su procesamiento.
- Asignación de materiales: la orden se envía al área de inventario, donde se asignan los materiales necesarios para su producción.

- Revisión de la configuración de la máquina: se verifica si la máquina está configurada para la nueva orden. Si lo está, se procede al montaje del material; de lo contrario, un técnico realiza los ajustes necesarios para configurarla.
- *Setup*: la orden se traslada a la máquina correspondiente. Si ya la misma está lista para manufacturar el producto específico, se avanza al proceso de documentación y se revisan las medidas críticas de las primeras cinco piezas. Si no está lista, se solicita la intervención de un técnico para llevar a cabo el *setup* correspondiente.
- Documentación: en esta etapa se completa toda la información relacionada con la orden de compra, como el número de la orden, el número del asociado, el tipo de producto, la revisión del plano, entre otros detalles.
- Proceso de *fill* (revisión de medidas críticas): el primer paso en la fabricación de un conector es el proceso de llenado o *fill*, donde se insertan los pines mediante aire comprimido en la parte plástica del conector, conocida como *body*. El plano indica al operario cuáles son las medidas críticas para el cliente, las cuales deben cumplir con una tolerancia específica. Antes de iniciar la producción, se revisan estas medidas en las primeras cinco piezas y, posteriormente, se verifican cada 20 minutos hasta completar la orden.
- *Ground plane*: en este proceso, se inserta manualmente una lámina de fosfato de bronce llamada *ground plane* en el conector. Esta lámina debe tener una profundidad de entre 0 mm y 30 mm dentro del conector. Luego, una máquina la termina de insertar mediante presión de aire. Las gráficas de control determinan si el trabajo realizado por el operario es correcto. Este debe tomar muestras de cinco piezas por bandeja en una máquina llamada GP Check. El CPK mínimo para aprobar la prueba es de 1.20; de lo contrario, las piezas deben ser evaluadas una por una en un proceso denominado GP Test.

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

Con relación al enfoque cualitativo, Hernández et al. (2014) detallan que en lugar de iniciar con una teoría particular y luego “voltear” al mundo empírico para confirmar si la teoría es apoyada por los hechos, el investigador comienza examinando estos y en el proceso desarrolla una teoría “congruente” con lo que observa y registra, además de que el proceso de indagación cualitativa es flexible y se mueve entre los eventos y su interpretación, entre las respuestas y el desarrollo de la teoría.

Por su parte, acerca del enfoque cuantitativo, según Hernández et al. (2014), utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías. Además, el enfoque cuantitativo representa un conjunto de procesos por lo que es secuencial y probatorio, cada etapa precede a la siguiente y no se puede “brincar” o eludir pasos. El orden es riguroso, aunque desde luego, se puede redefinir alguna fase. Por lo expuesto, se determina que el enfoque de investigación del presente proyecto es mixto ya que, como indican Hernández et al. (2014), el enfoque mixto no busca reemplazar a la investigación cuantitativa ni a la investigación cualitativa, sino utilizar las fortalezas de ambos tipos de indagación, combinándolas y tratando de minimizar sus debilidades potenciales. De este modo, durante el desarrollo del proyecto se utiliza la teoría para crear hipótesis con base en datos históricos, así como recopilar datos numéricos para realizar cálculos matemáticos que afiancen o refuten los postulados previos.

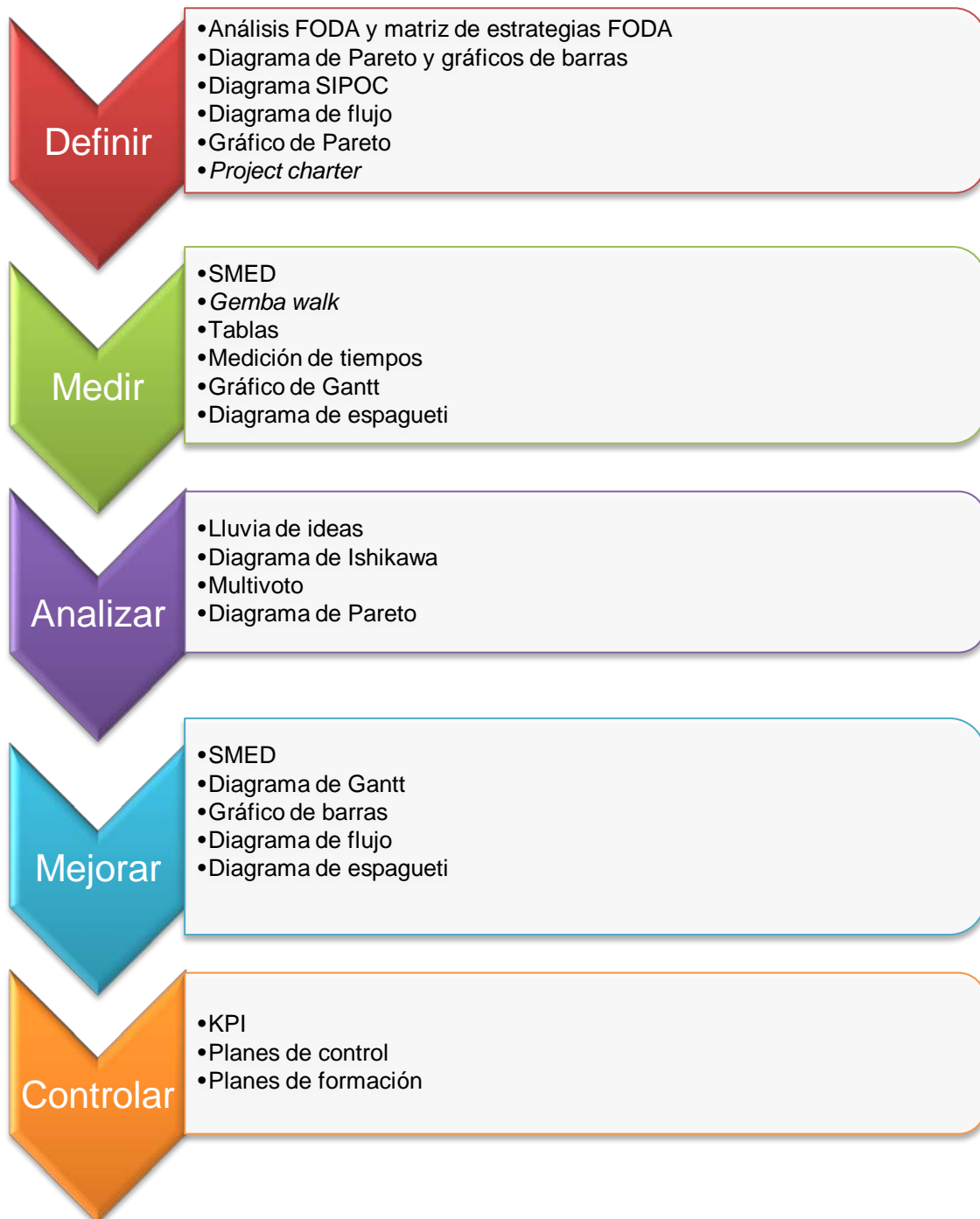
Asimismo, este trabajo de graduación es un tipo de investigación correlacional porque busca establecer relaciones entre la variable dependiente que se reconoce como el alto tiempo que demora el proceso de *changeover* en la máquina de LSHM y las variables independientes (causas). Al mismo tiempo que es explicativa porque de igual manera busca explicar por qué estas variables generan un problema que requiere un plan de acción para corregir el fenómeno estudiado.

3.2 MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

El proyecto se lleva a cabo bajo la metodología DMAIC al ser una matriz que permite identificar y resolver problemas, realizar mejoras y brindar la posibilidad y/o facilidad de

efectuar un seguimiento a las mejoras implementadas, porque el objetivo se enfoca en reducir el tiempo en un proceso y facilita la implementación de la metodología SMED, pues son bastante compatibles.

Figura 3.1: DMAIC



Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.3 FUENTES DE INFORMACIÓN

3.3.1 Sujetos de información

Para el desarrollo del proyecto, se obtiene la información por parte de las personas que se encuentran directamente involucradas en el proceso productivo de la máquina en análisis.

Tabla 3.1: Tabla de los sujetos de información

Área	Personal
Área de Mantenimiento	Personal técnico encargado de la revisión y reparación de las máquinas destinadas al proceso de ensamble, además del encargado del área.
Área de Producción	Personal de piso encargado de operar la máquina, supervisores y materialista, quienes se ven involucrados directamente con la línea de producción.

Fuente: Elaboración propia, 2025.

También se recopila información resultante de los estudios y análisis realizados durante la ejecución de las etapas preliminares, y de datos históricos de tiempo *down*, con el objetivo de referenciar el impacto de este proceso en las métricas del área afectada.

3.3.2 Fuentes primarias

En cuanto al análisis del problema, se recurre a fuentes de información primarias, las cuales incluyen datos originales y de primera mano. Entre estas fuentes, se encuentran los reportes históricos de tiempos de inactividad (*down*) generados por el Área de Producción durante el período comprendido entre agosto y noviembre de 2024. Adicional, se llevan a cabo investigaciones directas, se aplica la observación natural del proceso y se realizan entrevistas no dirigidas con los involucrados.

Estas fuentes primarias son valiosas porque proporcionan información sin intermediarios, es decir, no han sido interpretadas, evaluadas o modificadas por terceros. Contienen ideas, conceptos, teorías y resultados de investigaciones en su forma más pura, lo que permite un análisis más preciso y confiable del problema en cuestión.

Con respecto a las fuentes primarias, Hernández et al. (2014) mencionan:

[...] proporcionan datos de primera mano, pues se trata de documentos que contienen los resultados de estudios como libros, antologías, artículos, monografías, tesis y disertaciones, documentos oficiales, reportes de asociaciones, trabajos presentados en conferencias o seminarios, artículos periodísticos, testimonios de expertos, documentales, videocintas en diferentes formatos, foros y páginas de internet, entre otros (p. 61).

3.3.3 Fuentes secundarias

Según la Universidad del Sur de California (2025), en el ámbito de las ciencias sociales, una fuente secundaria por lo general se refiere a un libro académico, un artículo de revista o un documento digital o impreso elaborado por alguien que no participa directamente en los eventos o condiciones investigadas. Estas fuentes no constituyen evidencia directa, sino que ofrecen interpretaciones, análisis o comentarios basados en materiales de fuentes primarias o en otras fuentes secundarias.

En este proyecto, las fuentes secundarias utilizadas incluyen sitios de internet e información en la literatura que aborda datos referentes a la metodología SMED y su aplicación en *lean manufacturing*. Estas fuentes permiten identificar los lineamientos por seguir para el cumplimiento de esta metodología y las causas que generan el tiempo *down*, así como brindar las bases para proponer mejoras que ayuden a reducir el tiempo inactivo de la máquina y, a su vez, mejorar su rendimiento.

3.4 VARIABLES DE ANÁLISIS

Seguidamente, se visualizan las variables del estudio:

Tabla 3.2: Variables de la investigación por objetivo específico

Objetivo específico	Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Instrumentalización
Definir los factores que afectan la capacidad de producción de la línea de ensamble de LSHM, mediante el análisis de contexto, la caracterización del proceso y la recolección de información en registros.	Factores que afectan la capacidad de producción.	Son aquellos elementos, condiciones o variables que influyen de manera directa o indirecta en la eficiencia de la línea de ensamble.	Factores identificados en los análisis de contexto, caracterización del proceso y revisión de registros históricos de producción.	Entrevistas con operarios y supervisores, revisión de registros de producción, y observación directa del proceso.
Medir el impacto actual de estos factores en el total del tiempo <i>down</i> no planeado, por medio de la metodología SMED y gráficos demostrativos.	Tiempo <i>down</i> no planeado.	Se refiere al tiempo en que la línea de ensamble no produce debido a paros imprevistos o interrupciones no planificadas.	El total de tiempo en el que la producción está detenida debido a factores no planeados, medido en minutos o horas.	Registros de producción, registros de tiempos de inactividad, y uso de la metodología SMED para clasificar y calcular los tiempos de inactividad.
Analizar las actividades que se realizan durante el proceso de <i>changeover</i> , utilizando herramientas de análisis de causa raíz.	Actividades de <i>changeover</i> .	Son las acciones realizadas durante el proceso de cambio de línea o cambio de producto para adaptarse a nuevas configuraciones.	Las actividades observadas durante el proceso de <i>changeover</i> que incluyen ajustes, configuraciones y pruebas antes de reanudar la producción.	Observación directa del proceso de cambio de línea, entrevistas con operarios, diagramas de flujo de actividades de <i>changeover</i> , y herramientas de análisis de causa raíz.
Elaborar una propuesta de reducción de tiempo <i>down</i> por motivo de <i>setup</i> , a partir de los lineamientos que establece la metodología SMED.	Propuesta de reducción del tiempo <i>down</i> .	Es una estrategia o conjunto de acciones diseñadas para reducir el tiempo que la línea permanece inactiva debido a ajustes de configuración.	Un plan detallado que identifique acciones y tiempos estimados de reducción en las actividades de <i>setup</i> , basándose en SMED.	Análisis de tiempos de cambio, implementación de la metodología SMED, consultas con expertos, y simulaciones de tiempo de <i>setup</i> .

Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.5 INSTRUMENTOS

Para obtener la información necesaria, se utilizan tres métodos principales: observación, entrevistas y herramientas. A continuación, se explican en detalle estos instrumentos y cómo se aplican en el estudio.

Observación natural

La observación es una técnica en la que el investigador interactúa directamente con el fenómeno de estudio para obtener información específica. En este caso, se aplica para analizar el proceso de manufactura del conector LSHM, incluyendo las tareas previas y complementarias a este proceso.

El objetivo es observar el proceso actual de manufactura para identificar las causas del elevado tiempo de inactividad (tiempo *down*) y definir las acciones correctivas necesarias.

Entrevistas no dirigidas

Las entrevistas no dirigidas son una técnica que consiste en conversaciones abiertas para recopilar información sobre los problemas planteados en el proyecto.

En este estudio, se entrevista a personas involucradas en el proceso de manufactura, como técnicos y supervisores. Al respecto, se utiliza un formato de entrevista no estructurada, lo que posibilita mayor flexibilidad y profundidad en la recopilación de datos.

Utilización de herramientas

Se emplean diversas herramientas para recopilar datos relevantes que ayuden a identificar las causas de las anomalías en el proceso de manufactura. Estas herramientas son fundamentales para analizar los problemas detectados y facilitar la toma de decisiones para mejorar la eficiencia del proceso.

En resumen, la combinación de la observación, entrevistas y herramientas permite obtener una visión completa del proceso de manufactura, identificar las causas del tiempo de inactividad y proponer soluciones efectivas para optimizar el proceso.

3.6 PROCESO PARA LA RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

Proceso para la recolección y análisis de datos

En este estudio, el proceso de recolección y análisis de datos se estructura en tres fases clave: la observación natural, las entrevistas no dirigidas y la utilización de herramientas especializadas. A continuación, se detallan los pasos por seguir en cada una de estas fases.

1. Observación natural

El primer paso en la recolección de datos es la observación directa del proceso de manufactura del conector LSHM. Este método se lleva a cabo con el objetivo de identificar y analizar las tareas realizadas durante el proceso, enfocándose en los tiempos de inactividad y los factores que los causan. La observación se efectúa en un entorno natural, es decir, sin intervención directa en las actividades del proceso, para asegurar que los datos recogidos sean lo más fieles posible a la realidad.

Proceso de observación

- El investigador observa las etapas de producción, desde las actividades previas hasta las complementarias al proceso de manufactura del conector LSHM.
- Durante la observación, se toman notas detalladas sobre los momentos en que ocurren los tiempos de inactividad y las posibles causas, como fallos en equipos, tiempos de espera o problemas logísticos.
- Se registran los flujos de trabajo, las interacciones entre los empleados y la maquinaria, y cualquier otro factor que pueda influir en la eficiencia del proceso.

Análisis de los datos de observación

- Una vez realizada la observación, los datos recogidos se analizan para identificar patrones en los tiempos de inactividad. Este análisis se puede complementar con el uso de herramientas estadísticas o de análisis de procesos para cuantificar los tiempos y correlacionarlos con otras variables del proceso.

- Los datos obtenidos permiten identificar puntos críticos en los que se debe intervenir para reducir el tiempo de inactividad y mejorar la eficiencia.

2. Entrevistas no dirigidas

El siguiente paso en la recolección de datos consiste en realizarles entrevistas no dirigidas a los empleados involucrados en el proceso de manufactura, como técnicos, operadores y supervisores. Esta técnica facilita obtener una visión más profunda de los problemas experimentados durante la producción y descubrir aspectos que podrían no ser evidentes en la observación.

Proceso de entrevistas

- Las entrevistas se llevan a cabo de forma abierta y flexible, sin un formato estructurado, para permitir que los entrevistados expresen sus opiniones y experiencias de manera libre.
- Durante las entrevistas, se les pregunta sobre los problemas que enfrentan, las dificultades en el proceso, las causas que podrían estar detrás de los tiempos de inactividad y cualquier sugerencia para mejorar la eficiencia.
- Las entrevistas se efectúan en un ambiente relajado, donde los entrevistados se sientan cómodos compartiendo información detallada sobre el proceso.

Análisis de los datos de las entrevistas

- Los datos recopilados se transcriben y se analizan para identificar temas recurrentes y patrones comunes en las respuestas de los participantes.
- Se utilizan técnicas de análisis cualitativo, como la codificación y la categorización de las respuestas, para organizar la información y detectar las causas subyacentes de los tiempos de inactividad en el proceso de manufactura.

3. Utilización de herramientas especializadas

El tercer instrumento empleado en el estudio son diversas herramientas especializadas que facilitan la recolección de datos cuantitativos y el análisis de las anomalías en el

proceso de manufactura. Estas herramientas pueden incluir diagramas de flujo, gráficos de control, hojas de registro de fallos, análisis de causa raíz, entre otras.

Proceso de utilización de herramientas

- Se usan herramientas de recolección de datos como el diagrama de Ishikawa o el análisis de Pareto para identificar las posibles causas de los problemas de inactividad.
- Se utilizan gráficos de control para monitorear la variabilidad del proceso y detectar desviaciones significativas que puedan estar relacionadas con los tiempos de inactividad.
- Además, se emplean listas de chequeo o formularios de incidencias para registrar detalladamente los fallos y eventos que ocurren durante el proceso de producción.

Análisis de los datos con herramientas

- Los datos obtenidos por medio de las herramientas se analizan para identificar patrones, causas comunes y áreas problemáticas en el proceso de manufactura.
- Se llevan a cabo análisis estadísticos para cuantificar el impacto de las diferentes causas en los tiempos de inactividad y se proponen acciones correctivas basadas en los resultados obtenidos.

4. Integración de los datos

Recolectados los datos por medio de la observación, entrevistas y herramientas, se procede a su integración. Se combinan los resultados cualitativos obtenidos de las entrevistas con los datos cuantitativos provenientes de las herramientas especializadas y los resultados de la observación natural.

Proceso de integración

- Los hallazgos de la observación, las entrevistas y el uso de herramientas se analizan en conjunto para obtener una visión holística del proceso de manufactura.

- Se realizan reuniones de análisis entre los investigadores para discutir los datos obtenidos y buscar correlaciones entre los diferentes tipos de datos.
- A partir de esta integración, se desarrollan conclusiones y recomendaciones para optimizar el proceso de manufactura y reducir los tiempos de inactividad.

En el presente estudio, el proceso de recolección y análisis de datos se basa en un enfoque multifacético que combina la observación natural, las entrevistas no dirigidas y el uso de herramientas especializadas. Esta metodología permite obtener una comprensión detallada y precisa del proceso de manufactura del conector LSHM, identificar las causas de los tiempos de inactividad y proponer soluciones efectivas para mejorar la eficiencia en la producción.

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 DEFINIR

Samtec es una empresa internacional de renombre en el mundo de los dispositivos electrónicos no solo por la calidad de sus productos y/o el servicio personalizado que brinda a pesar de los numerosos clientes que abarca, sino también por la exclusividad de algunos de sus productos estrella.

Al respecto, la empresa se toma muy en serio su ADN (valores) pues esta ha sido la fórmula de su éxito en la industria electrónica: velocidad, innovación, flexibilidad y una mentalidad de ganar-ganar, factores que jamás deja de lado antes de tomar cualquier decisión; por esta razón, Samtec mira constantemente hacia su interior velando porque su cultura se mantenga a lo largo de su crecimiento.

Esto lo consigue buscando siempre ofrecer un servicio eficiente enfocado en actuar; impulsando a sus colaboradores a pensar creativamente ya que cuenta con varios equipos de desarrollo tanto de mejora de procesos como de diseño de herramientas y máquinas que se crean a la medida de la necesidad de la compañía, con una orientación a la atención al detalle; y creando una atmosfera de pertenencia al incentivar y reconocer el involucramiento de cada uno de sus asociados (como le llama la organización a sus trabajadores).

4.1.1 Análisis FODA de la empresa

Tabla 4.1: Análisis FODA de la empresa Samtec

Fortalezas	Debilidades
Productos exclusivos	Costos de producción elevados
Control de la producción	Alta competencia en tecnología
Equipos de desarrollo y mejora continua	Dependencia de la producción interna
Crecimiento sostenido	Tiempo de inactividad en las máquinas
Oportunidades	Amenazas
Expansión a nuevos mercados internacionales	Cambios en la normativa internacional
Avances tecnológicos	Volatilidad económica global
Aumento de la demanda de productos exclusivos	Riesgos asociados a la cadena de suministro
Alianzas estratégicas	Rápida evolución tecnológica

Fuente: Elaboración propia, 2025.

A continuación, un análisis de los puntos mencionados en el análisis FODA:

Factores internos

Fortalezas

- **Productos exclusivos**

La empresa ofrece, entre su cartera de productos, dispositivos electrónicos innovadores y algunos de estos únicos en el mercado; esto le permite diferenciarse de la competencia y atraer a clientes dispuestos a pagar una prima por productos de calidad y tecnología avanzada.

- **Control sobre la producción**

Al crear sus propias máquinas para producir, la empresa tiene un control completo sobre el proceso de fabricación, lo que le posibilita garantizar la calidad, personalizar sus productos y optimizar costos.

- **Equipos de desarrollo y mejora continua**

La empresa cuenta con equipos dedicados a la investigación, el desarrollo y la mejora continua; así, puede innovar constantemente, mantener productos relevantes en el mercado y anticiparse a las tendencias tecnológicas.

- **Crecimiento sostenido**

La empresa está en una fase de crecimiento, lo cual indica que ha logrado expandirse en su mercado y tiene potencial para aumentar su participación de mercado; lo anterior es una ventaja competitiva a largo plazo.

Debilidades

- **Costos de producción elevados**

La fabricación interna de las máquinas y el enfoque en productos exclusivos pueden generar costos más altos en comparación con las empresas que subcontratan o utilizan procesos de fabricación estándar.

- **Alta competencia en tecnología**

El sector de dispositivos electrónicos es muy competitivo, con empresas que invierten grandes cantidades de dinero en innovación y *marketing*. Por lo tanto, la empresa puede verse en desventaja frente a competidores con mayores recursos y capacidades de distribución.

- **Dependencia de la producción interna**

Aunque la creación de sus propias máquinas otorga control sobre la producción, también puede hacer que la empresa dependa de una infraestructura interna compleja y costosa, lo anterior podría representar una desventaja si los recursos de la empresa se ven comprometidos por problemas financieros o técnicos.

- **Tiempos de inactividad en las máquinas**

Los tiempos de inactividad en las máquinas de producción pueden generar interrupciones en el proceso de fabricación, lo que afecta la capacidad de respuesta y la eficiencia operativa, además de impactar en los plazos de entrega a los clientes.

Factores externos

- **Expansión a nuevos mercados internacionales**

Dado que la empresa ya es internacional, tiene la oportunidad de expandir su presencia en mercados emergentes donde la demanda de dispositivos electrónicos innovadores está en aumento.

- **Avances tecnológicos**

La continua evolución tecnológica, especialmente en áreas como la inteligencia artificial, el Internet de las cosas (IoT) y la realidad aumentada, ofrece una excelente oportunidad para que la empresa cree nuevos productos y soluciones innovadoras.

- **Aumento en la demanda de productos exclusivos**

La tendencia de los consumidores hacia productos *premium* y exclusivos está en auge. La empresa puede aprovechar esta demanda creciente para posicionarse como líder en el mercado de dispositivos electrónicos de alta gama.

- **Alianzas estratégicas**

La empresa puede formar asociaciones con otras marcas o empresas tecnológicas para expandir su base de clientes, acceder a nuevos canales de distribución o mejorar sus capacidades de producción mediante tecnología de terceros.

Amenazas

- **Cambios en la normativa internacional**

Las variaciones en las regulaciones gubernamentales o en los requisitos normativos de diferentes países pueden afectar la producción o la distribución de los productos, lo que podría generar costos adicionales o retrasos en el tiempo de lanzamiento al mercado.

- **Volatilidad económica global**

La incertidumbre económica global, como las fluctuaciones de las divisas, la inflación o las recesiones económicas, podría afectar tanto la demanda de productos como la capacidad de producción y distribución de la empresa.

- **Riesgos asociados a la cadena de suministro**

Dado que la empresa produce internamente, las interrupciones en la cadena de suministro, como escasez de materiales o problemas logísticos, podrían afectar la producción de sus dispositivos electrónicos.

- **Rápida evolución tecnológica**

La tecnología en el sector de dispositivos electrónicos avanza rápidamente, lo cual implica que la empresa debe mantenerse al día con las últimas innovaciones para evitar que sus productos se vuelvan obsoletos rápidamente frente a la competencia.

4.1.2 Matriz de estrategias

En la siguiente matriz de estrategias se profundiza la herramienta FODA, que si bien ya por sí sola brinda información sustancial para entender la actualidad de la empresa y su posición en el mercado, con la matriz de estrategias se da un paso más y se plantean posibles trazos estratégicos que podrían encaminar a la organización a una mayor eficiencia en el cumplimiento de objetivos y la formulación de nuevos.

Tabla 4.2: Matriz de estrategias

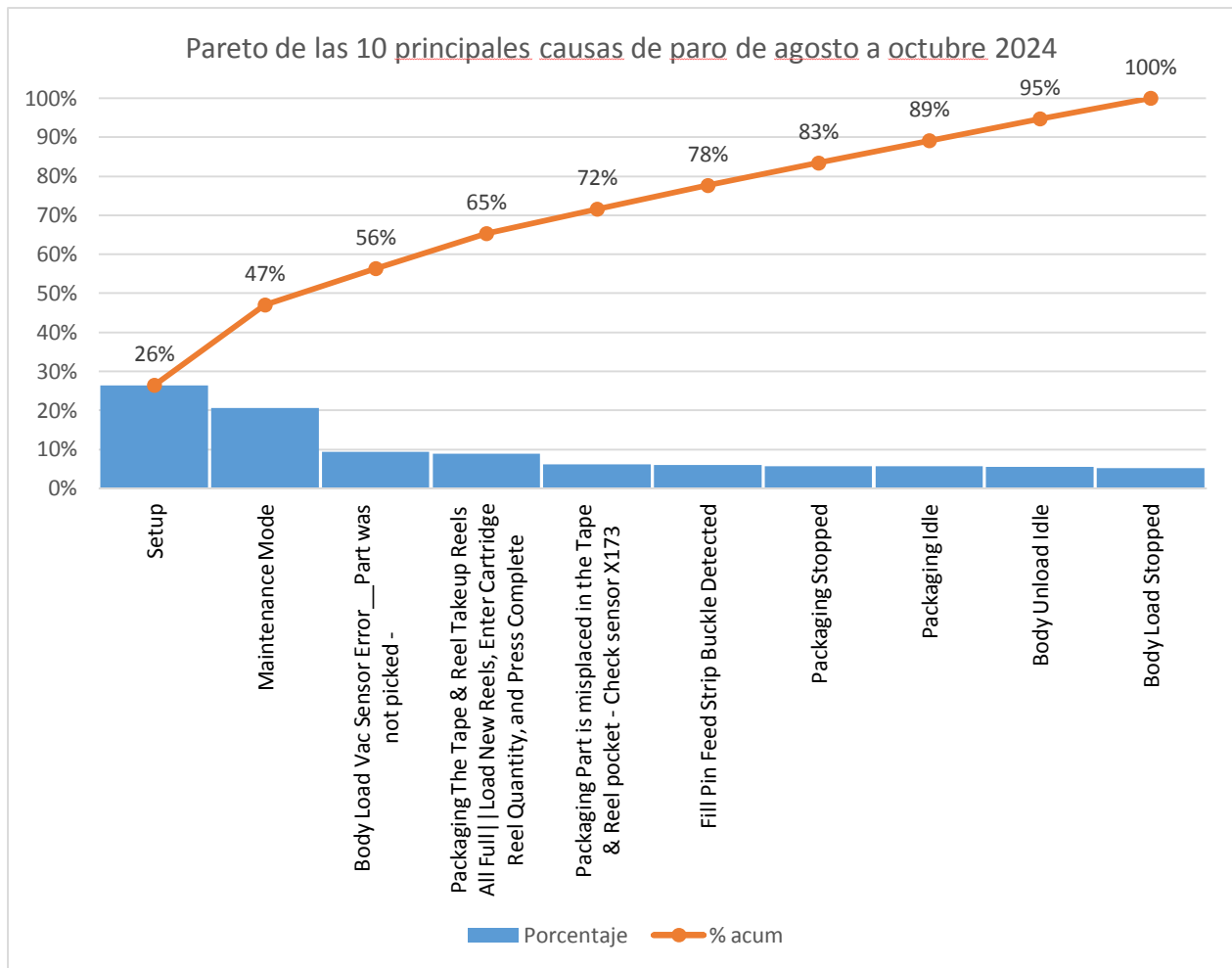
FORTALEZAS/OPORTUNIDADES (FO)	FORTALEZAS/AMENAZAS (FA)
Estrategia FO 1: Aprovechar los productos exclusivos y la capacidad de desarrollo propio para expandirse a nuevos mercados internacionales. Esta expansión puede basarse en la exclusividad de la oferta y el control de la producción al adaptar los dispositivos a las necesidades locales.	Estrategia FA 1: Utilizar la ventaja de tener control sobre la producción interna para reducir el impacto de los cambios en las normativas internacionales. Al fabricar internamente, la empresa puede adaptarse con mayor rapidez a nuevas regulaciones.
Estrategia FO 2: Potenciar la investigación y el desarrollo en nuevas tecnologías emergentes (IA, IoT) para crear productos exclusivos que se alineen con las tendencias del mercado y permitan la expansión.	Estrategia FA 2: Aprovechar las fortalezas en innovación tecnológica para contrarrestar la rápida evolución tecnológica del sector; de este modo, se garantiza que la empresa se mantenga competitiva mediante mejoras constantes en sus productos.
Estrategia FO 3: Formar alianzas estratégicas con empresas tecnológicas para combinar su capacidad de desarrollo interno con nuevas innovaciones de terceros y, así, acelerar la expansión de productos exclusivos a mercados emergentes.	Estrategia FA 3: Desarrollar sistemas de mantenimiento predictivo para las máquinas de producción, aprovechando el control sobre la producción interna para reducir los tiempos de inactividad y mejorar la eficiencia.
DEBILIDADES/OPORTUNIDADES (DO)	DEBILIDADES/AMENAZAS (DA)
Estrategia DO 1: Mejorar la eficiencia operativa al invertir en nuevas tecnologías de fabricación que reduzcan los tiempos de inactividad de las máquinas, lo cual permite incrementar la producción para aprovechar la creciente demanda de productos exclusivos.	Estrategia DA 1: Diversificar la cadena de suministro de manera estratégica para reducir la dependencia de fuentes únicas de materiales y protegerse contra interrupciones externas.
Estrategia DO 2: Reducir los costos de producción mediante la mejora continua en los procesos de fabricación; de esta forma, se combina innovación y eficiencia para hacer más asequible la creación de productos exclusivos sin comprometer la calidad.	Estrategia DA 2: Implementar un programa de monitoreo constante para identificar riesgos asociados a la cadena de suministro y tener planes alternativos ante problemas logísticos o escasez de materiales.
Estrategia DO 3: Aprovechar el crecimiento de la empresa para realizar inversiones en capacitación de equipos de desarrollo, con el fin de mejorar las habilidades técnicas y operativas para abordar mejor los desafíos del mercado y la competencia.	Estrategia DA 3: Evaluar la posibilidad de subcontratar algunas partes del proceso de producción para reducir los costos y enfrentar de manera más efectiva la alta competencia tecnológica sin comprometer la calidad.

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Ante el conocimiento de las áreas por mejorar y objetivos a nivel global, la empresa se orienta a mejorar el rendimiento de todas las áreas, pero enfoca sus esfuerzos en las que tienen mayor potencial tecnológico y le pueden brindar mayores rendimientos. Al respecto, en el área de ensamble existen 4 máquinas totalmente automatizadas, las cuales realizan el trabajo de otras 4 o 5 en un solo proceso. La atención de la empresa está en sacarles el máximo provecho al proporcionarle una mayor versatilidad a la planta, no solo en programación de órdenes de trabajo y cumplimiento de objetivos, sino también en disponibilidad del personal para asignarlo en otras tareas.

Actualmente, en la línea de ensamble de conectores LSHM se ha detectado que el tiempo de demora en realizar un cambio de un producto a otro es muy alto; así, llega a tomar desde el 25 %, el 30 % o hasta el 50 % de una jornada de trabajo normal, lo cual es elevado si se considera que la razón de existir de la máquina es aumentar la capacidad de producción del Área de Producción, en específico para el área de conectores. En cuanto a esto, entre los meses de agosto a octubre de 2024 el total de horas invertidas en procesos de *setups* alcanza las 131 h, seguido por mantenimiento que muestra cifras de 110 h en el trimestre analizado, como lo indica la siguiente gráfica:

Figura 4.1: Gráfica de tiempo down de agosto a octubre 2024



Fuente: Indicadores operacionales de Samtec, 2025.

De acuerdo con el histórico de datos, se cree necesario realizar un análisis del proceso actual; por lo tanto, se desarrollan diferentes herramientas que brindan un conocimiento más amplio de la situación actual del proceso y su complejidad.

4.1.3 Análisis de la línea de producción de conectores LSHM

4.1.3.1 Análisis FODA

Se efectúa un análisis FODA con el objetivo de conocer el entorno del proceso, tanto de manera interna como externa. El fin de este análisis es obtener un diagnóstico más preciso y, con esto, tomar decisiones que mejoren el proceso de manufactura del conector LSHM.

Tabla 4.3: Análisis FODA de la máquina LSHM MPP

Fortalezas	Debilidades
Proceso automatizado	Curva de aprendizaje alta
El producto sale en su empaque final	Máquina con pocos antecedentes técnicos
Mayor control sobre la calidad	Cada estación depende de la anterior
Alta capacidad de producción	Pequeños fallos de ajuste provocan grandes afectaciones
Adaptabilidad	Pocos técnicos con formación para corregir fallas
Reducción de error humano	Altos tiempos de inactividad
Oportunidades	Amenazas
Crecimiento en el mercado	Actualizaciones
Desarrollo de conocimiento especializado	Competencia
Mejora del prestigio	Fluctuación de la demanda
Existencia de tecnologías que reducen la dependencia de mano de obra	Interrupción en el proceso de producción
Fortalecimiento de la competitividad	

Fuente: Elaboración propia, 2025.

A continuación, se proporciona un análisis de los factores mencionados en la tabla anterior:

Fortalezas

- **Proceso automatizado**

La incorporación de sistemas automatizados en el proceso de manufactura tiene un impacto directo en la eficiencia de la producción. Esto no solo implica mayor rapidez en la fabricación, sino también una reducción significativa de los errores humanos y la mejora de la consistencia de los productos. La automatización de igual modo se traduce en una mayor productividad sin comprometer la calidad, lo cual es esencial en la industria de dispositivos electrónicos donde los estándares de calidad son altos.

- **El producto sale en su empaque final**

Este punto tiene diversas implicaciones positivas para el proceso. En primer lugar, reduce los tiempos de producción, porque al integrar el empaque en la misma línea de producción, no se requiere una fase adicional de empaquetado. Además, se minimiza la posibilidad de errores ya que al ser el empaque un proceso automatizado, este se completa de manera uniforme y conforme con especificaciones establecidas por parámetros introducidos a la máquina. Asimismo, se logra una mayor eficiencia en cuanto al control del inventario, al saberse con precisión cuántos productos están listos para distribuirse.

- **Mayor control sobre la calidad**

Esta es una de las áreas más beneficiadas por la automatización al reducirse la variabilidad en el proceso y garantizar la consistencia en el producto final, debido a que se encuentra equipada con sensores que miden las dimensiones del conector, la profundidad de inserción de los pines y cualquier imperfección que se perciba por medio de las cámaras de la estación de inspección. Lo expuesto permite un control de calidad en tiempo real, lo que ayuda a identificar defectos o desviaciones de forma temprana.

- **Alta capacidad de producción**

Una de las más grandes fortalezas de los procesos automatizados es la capacidad de producir grandes volúmenes de productos en un tiempo relativamente corto, pues esta característica les permite operar de manera continua las 24 horas del día, los 7 días de la semana, sin necesidad de un descanso (sin tomar en cuenta los *setups* y mantenimientos), lo que aumenta significativamente la capacidad de producción.

- **Adaptabilidad**

Entre las principales ventajas de ofrecer una máquina automatizada, está la de ser flexible y adaptable a los diferentes tipos de productos o procesos, además de permitir implementar nuevas características y tecnologías en los productos y/o procesos sin tener que rediseñar toda la línea de producción, esto facilita la creación de productos

personalizados, lo cual es uno de los aspectos que caracteriza a Samtec en el mercado de los dispositivos electrónicos.

- **Reducción de error humano**

El error humano es una de las principales causas de ineficiencias y desperdicio en cualquier proceso de manufactura. Por el contrario, las máquinas automatizadas siguen instrucciones y parámetros predefinidos, lo que elimina variaciones en los resultados que podrían ocurrir debido a la fatiga, el estrés o el desconocimiento por parte de los operarios. Esto lleva a una mayor uniformidad y calidad constante en los productos.

Debilidades

- **Curva de aprendizaje alta**

La curva de aprendizaje se refiere al tiempo que le toma al personal alcanzar un nivel de competencia en el manejo de la máquina. Durante este periodo, es posible que los operadores cometan errores debido a la falta de experiencia con la nueva tecnología, lo cual podría interrumpir la producción y generar costos adicionales. Sin embargo, a medida que se avanza en la curva de aprendizaje, puede surgir una dependencia excesiva de unos pocos operarios con más experiencia o formación en la maquinaria, esto podría resultar en falta de flexibilidad y complicaciones si estos empleados se ausentan, situación que va en contra de uno de los principales valores de Samtec, como lo es la flexibilidad.

- **Máquina con pocos antecedentes técnicos**

Las máquinas de Samtec se desarrollan en su mayoría por sus propios ingenieros, lo que puede dificultar la predicción de su comportamiento a largo plazo o la identificación de problemas recurrentes. En muchos casos, la falta de información previa también impide que se realicen mejoras continuas basadas en experiencias pasadas. La escasez de antecedentes técnicos también puede traducirse en dificultades para encontrar repuestos específicos o en la falta de soporte especializado para resolver fallas rápidamente.

- **Cada estación depende de la anterior**

Si una estación de trabajo falla o se detiene, puede tener un impacto inmediato en las siguientes estaciones, esto provoca que todo el proceso se detenga o se retrase. Por ejemplo, si una máquina en la primera estación de ensamblaje experimenta un problema, las estaciones posteriores (que dependen del producto procesado en la primera) no pueden continuar su trabajo, por ende, se generan retrasos en toda la línea de producción. Dado que una estación depende de la anterior, es necesario un sistema de monitoreo y control de calidad más avanzado para garantizar que las estaciones estén correctamente sincronizadas y operen sin problemas.

- **Pequeños fallos de ajuste provocan grandes afectaciones**

En sistemas automatizados, pequeños fallos de ajuste en los equipos pueden ocasionar consecuencias significativas, dada la alta precisión que requieren los procesos de fabricación. Las máquinas automatizadas están diseñadas para operar con parámetros exactos y cualquier pequeña variación puede generar impactos negativos importantes. De este modo, un pequeño error en el proceso de ajuste, como la calibración incorrecta de una máquina, puede llevar a una pérdida de calidad en grandes volúmenes de productos.

- **Pocos técnicos con formación para corregir fallas**

Debido a que la máquina la diseñó Samtec, no existe un manual o antecedentes de fallas; por consiguiente, conforme ocurren las fallas y se corrigen, se va creando el conocimiento necesario para anticipar fallas. De esta manera, si no se invierte en formar constantemente a nuevos técnicos o en capacitar al personal existente, el equipo podría quedarse atrás en cuanto a las habilidades necesarias para manejar nuevas tecnologías o procesos. Esto puede afectar negativamente los tiempos de respuesta ante fallas y aumentar los tiempos de inactividad, lo que reduce la competitividad de la empresa.

- **Altos tiempos de inactividad**

Los altos tiempos de inactividad se refieren a los periodos en los que la máquina no se encuentra en operación, esto afecta directamente su productividad y eficiencia. Estas pausas se pueden originar por fallas técnicas, mantenimientos programados, o bien, mantenimientos correctivos, además de cambios en la configuración y/o componentes a causa de un cambio de lote. El tiempo de inactividad afecta la capacidad de la empresa para cumplir con los plazos de entrega y puede generar un aumento de los costos operativos debido a la interrupción de la producción.

Oportunidades

- **Crecimiento en el mercado**

El crecimiento en el mercado se refiere a las oportunidades que surgen por la expansión de la demanda de productos electrónicos y la evolución de la industria en general. Este crecimiento puede beneficiarse de diversos factores, como el aumento en la adopción de nuevas tecnologías y el consumo de dispositivos electrónicos.

- **Desarrollo de conocimiento especializado**

El desarrollo de conocimiento especializado es una oportunidad clave, especialmente en una industria que depende de la innovación constante y la evolución tecnológica. En el caso de las máquinas automatizadas de manufactura, el conocimiento especializado es tanto el conocimiento técnico sobre cómo diseñar, operar y mantener las máquinas, como el conocimiento específico del mercado y las aplicaciones de los dispositivos electrónicos que se están produciendo.

- **Mejora del prestigio**

La mejora del prestigio se refiere a cómo las inversiones en tecnología avanzada, como la máquina automatizada de conectores LSHM, pueden ayudar a la empresa a ganar reconocimiento y reputación en el mercado. Una máquina automatizada de manufactura bien diseñada y capaz de producir productos electrónicos de alta calidad puede mejorar la percepción de los clientes y otros actores del sector sobre la empresa. La

automatización puede calificarse como un símbolo de innovación, lo que fortalecería la marca y aumentaría el prestigio de la empresa.

- **Existencia de tecnologías que reducen la dependencia de mano de obra**

La automatización permite reducir la cantidad de trabajo manual necesario, lo que ayuda a disminuir los costos asociados con los salarios, la formación y la gestión del personal. Esto puede ser una ventaja competitiva al posibilitarle a la empresa reducir costos y ser más eficiente en la producción. Asimismo, por la reducción de la dependencia de mano de obra, los empleados pueden concentrarse en tareas de mayor valor, como el diseño, la ingeniería o la toma de decisiones estratégicas, lo que eleva el nivel de innovación y competitividad de la empresa.

- **Fortalecimiento de la competitividad**

El fortalecimiento de la competitividad es una oportunidad crítica que surge cuando la empresa implementa tecnologías de automatización de última generación. Ser más competitivo implica ser capaz de producir productos de alta calidad de manera más rápida y eficiente que los competidores. La automatización permite una producción más flexible y adaptable a las fluctuaciones en la demanda. Si la empresa puede ajustarse rápidamente a las tendencias del mercado o a la demanda de nuevos productos, puede superar a sus competidores que no cuenten con estas capacidades.

Amenazas

- **Actualizaciones**

En la industria de la manufactura de dispositivos electrónicos, las innovaciones tecnológicas suceden con rapidez. Las máquinas que no se actualizan regularmente pueden volverse obsoletas y menos competitivas frente a los productos más nuevos que incorporan tecnologías de punta. Esto reduce la eficiencia y la productividad, pues las máquinas más antiguas pueden presentar limitaciones de rendimiento que las nuevas versiones no tienen.

- **Competencia**

Las empresas competidoras pueden desarrollar máquinas más avanzadas o rentables que las operadas actualmente en la empresa. Si competidores en el mercado crean productos que ofrecen mejores rendimientos, menores costos operativos o características innovadoras, esto puede hacer que la máquina disminuya su demanda porque aumenta el costo que representa para la empresa.

- **Fluctuación de la demanda**

La demanda de dispositivos electrónicos puede ser estacional, con picos en ciertas épocas del año (por ejemplo, durante las festividades o lanzamientos de productos). Si la empresa no gestiona bien la producción y el inventario en función de estas fluctuaciones, puede enfrentarse a períodos de baja producción o exceso de inventario.

Una vez realizado el análisis FODA que brinda una mayor profundidad al análisis del área productiva, se desarrolla una matriz de estrategias, la cual le brinda un mayor peso al proceso de identificación del área.

Tabla 4.4: Matriz de estrategias

FORTALEZAS/OPORTUNIDADES (FO)	FORTALEZAS/AMENAZAS (FA)
Estrategia FO 1: Expansión del proceso automatizado: aprovechar la alta capacidad de producción y el proceso automatizado para expandir la producción, y aprovechar el crecimiento del mercado.	Estrategia FA 1: Inversión en tecnología avanzada: actualizar las máquinas y procesos automatizados para evitar la obsolescencia frente a la competencia.
Estrategia FO 2: Desarrollo de productos diferenciados: usar el control de calidad y la alta capacidad de producción para diseñar productos innovadores y personalizados, con la intención de aprovechar el crecimiento del mercado.	Estrategia FA 2: Fortalecimiento de la fiabilidad del proceso: mejorar el control de calidad y la reducción de error humano para mantener la competitividad, a pesar de los constantes cambios tecnológicos.
Estrategia FO 3: Fortalecimiento de la competitividad: integrar tecnologías que reduzcan la dependencia de la mano de obra para aumentar la eficiencia de producción y mejorar la competitividad frente a nuevos actores del mercado.	Estrategia FA 3: Desarrollo de alianzas estratégicas: colaborar con proveedores de tecnologías avanzadas para mantener la competitividad, mejorar la capacidad de respuesta ante amenazas y enfrentar la competencia.
DEBILIDADES/OPORTUNIDADES (DO)	DEBILIDADES/AMENAZAS (DA)
Estrategia DO 1: Capacitación intensiva en automatización: aprovechar el desarrollo de conocimiento especializado para capacitar a los empleados y reducir la curva de aprendizaje.	Estrategia DA 1: Mejorar la eficiencia en las intervenciones a la máquina. Implementar un sistema de trabajo que reduzca el tiempo que la máquina se detiene por intervenciones técnicas, ya sea de mantenimiento o <i>setup</i> .
Estrategia DO 2: Innovación en el proceso de fabricación: aprovechar el crecimiento del mercado y las nuevas tecnologías para innovar en el diseño de la máquina y diversificar la producción de conectores.	Estrategia DA 2: Automatización para aumentar la flexibilidad: reducir la dependencia de cada estación, lo que permite mayor adaptabilidad del sistema ante cambios imprevistos.
Estrategia DO 3: Mejora de la adaptabilidad: incrementar la capacidad de adaptación del sistema y los operarios a nuevas tecnologías para mejorar el desempeño del equipo y contrarrestar la curva de aprendizaje.	Estrategia DA 3: Optimización de la gestión de demanda: implementar tecnologías que posibiliten una mejor predicción de la demanda, para reducir la fluctuación y mejorar la planificación de producción.

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Concluido el análisis de estrategias de la matriz basada en el FODA, se evidencia la necesidad de comenzar a aumentar la eficiencia de la máquina; efectuar mejoras a nivel interno, pues se considera que se cuenta con los recursos suficientes para realizar implementaciones, y conseguir el aval de la organización, que siempre está abierta a escuchar propuestas de mejora.

Tomando en cuenta lo expuesto, la estrategia que posibilita mejorar la eficiencia utilizando los recursos actuales es la DA, al involucrar directamente el tiempo de

inactividad de la máquina y permitiría aprovechar las debilidades y convertirlas en fortalezas ante las variaciones que pueda presentar el mercado.

4.1.3.2 Diagrama SIPOC

El diagrama SIPOC profundiza en el proceso productivo al mostrar la interacción del proceso por analizar con otras áreas de la empresa, lo que facilita, en un caso dado, dar seguimiento a diferentes hipótesis acerca de posibles afectaciones que pueda estar sufriendo el proceso o, inclusive, desde dónde podrían provenir micromejoras que generen un aumento de la eficiencia a bajo costo.

Figura 4.2: Diagrama SIPOC

S	I	P	O	C
Bodega de Suministros	Bodies	Estación 1: Colocación de bodies en pallets	Reel con producto terminado	Cliente externo
Planner	Reel de pines	Estación 2: Inserción de pines en bodies		Cliente Interno
Sistema	Reel de pocket	Estación 3: Inspección de producto		
	Cinta	Estación 4: Empaque de producto terminado		
	Orden de trabajo			
	Plano			

Fuente: Elaboración propia, 2025.

A continuación, se explica cada uno de los puntos mencionados en el diagrama SIPOC para su mejor comprensión:

- **Suplidores.** Son quienes proporcionan los insumos necesarios para poder llevar a cabo el proceso principal de producción, entre estos se encuentran: la bodega, que almacena y provee las materias primas para cada proceso en la planta según la programación proveniente de producción; el *planner*, figura que

organiza las órdenes de trabajo y controla el consumo de materiales, así como sus movimientos de acuerdo con la disponibilidad del piso de producción y existencias en bodega, y el sistema, que proporciona la información suficiente para una correcta trazabilidad de manera oportuna y lo más eficiente posible con el fin de mantener actualizado el intercambio de datos entre áreas.

- Entradas. Aquí se incluyen aquellos insumos que alimentan directamente el proceso productivo, a saber, los *bodies*, el *reel* de pines y el *reel* de k-dot, los cuales representan los principales componentes del conector como unidad, además del *reel* de *pockets* y la cinta, que son necesarios para realizar el proceso de empaque. Ahora bien, con el propósito de tener trazabilidad y comprobaciones en términos de calidad, se trabaja con una orden que indica la cantidad por producir, las características generales e información específica necesaria para efectuar la corrida. Por último, considerando que el proceso es automatizado y cuenta con una receta a nivel de sistema, el plano de la pieza funciona para las comprobaciones de control de calidad hechas por el operador de la máquina y el Departamento de Calidad, según sea el caso.
- Proceso. En este espacio se muestra el proceso productivo que permite manufacturar el producto, en este caso los conectores.
 1. Estación 1. Un brazo robótico toma los *bodies* y los coloca en una bandeja de transferencia situada sobre una banda transportadora que moviliza la bandeja cuando esta se encuentra llena.
 2. Estación 2. También llamada estación de *fill*, pues en esta otro brazo robótico toma la bandeja con los *bodies* y la hace pasar por una máquina que inserta los pines en cada uno de los *bodies* según la cantidad requerida por cada estilo de pieza por construir.
 3. Estación 3. También llamada estación de inspección. En esta, mediante el uso de cámaras y sensores, se realizan comprobaciones de las dimensiones, profundidad de la inserción de pines y cualquier imperfección que pueda afectar el funcionamiento del conector de acuerdo con las necesidades para las cuales se construye.

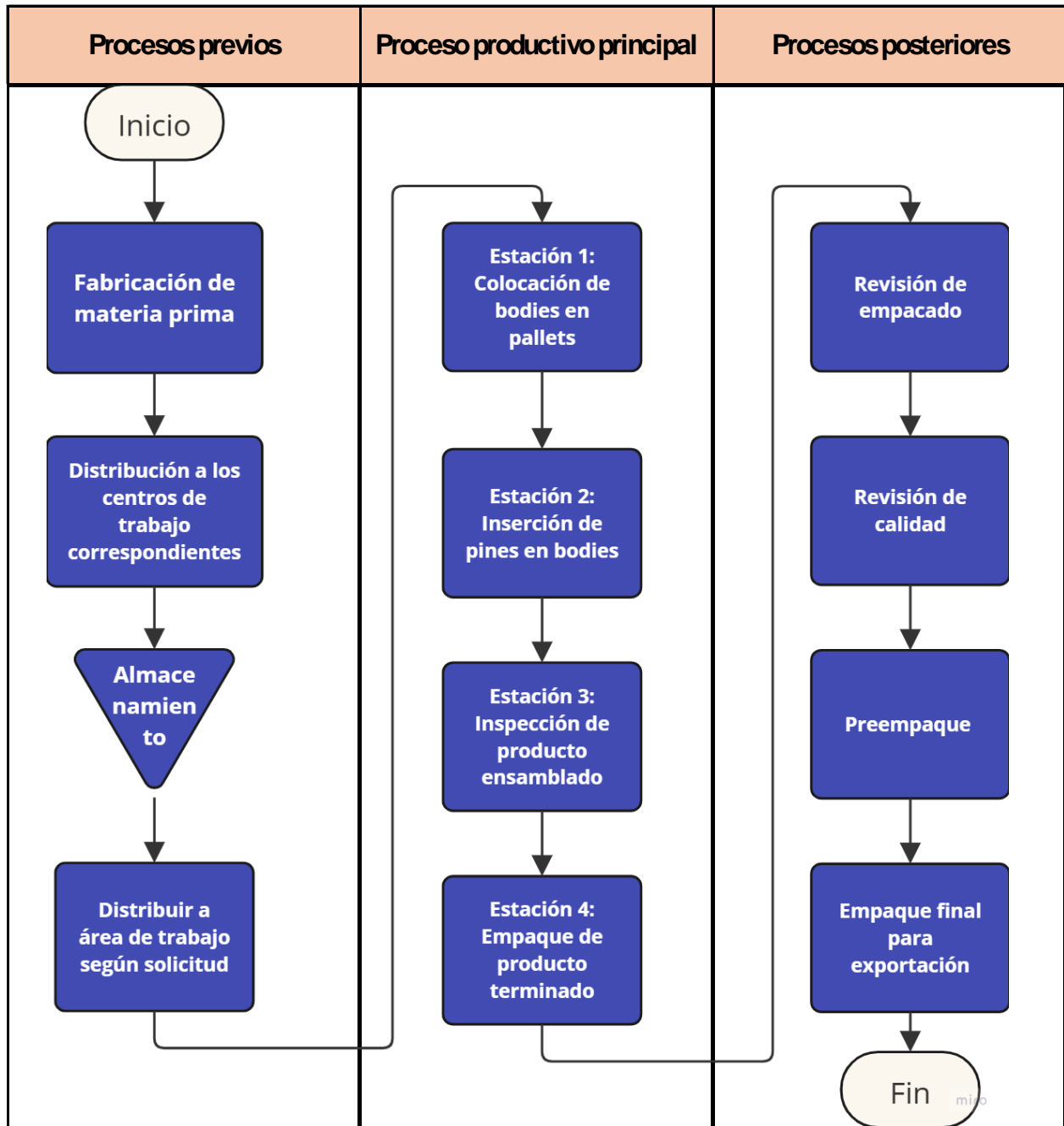
4. Estación 4. Es la estación final y se le conoce como estación de empaque. En esta se descartan las piezas que resultan defectuosas en la estación de inspección. Posteriormente, un brazo robótico toma las piezas y las coloca en un carrete que conforme se va enrollando se le va colocando una cinta que protege el conector de la intemperie y sirve como empaque final para el producto
- Salida. Luego de completados los pasos anteriores, en la última estación el producto sale en su empaque final, para una última inspección de comparación de sellado y que no existan espacios vacíos en el carrete.
 - Cliente. Como destino final, pueden ser dos tipos de clientes, el cliente externo a la compañía que compra el producto y se le entrega directamente, o un cliente interno de la compañía, pero de otro país, por lo general puntos de venta de Samtec o centros de distribución.

Al desarrollar el diagrama de SIPOC, se evidencia la criticidad de la máquina porque todo el proceso productivo de esta línea de conectores se centra en la misma, pues de esta máquina sale el producto prácticamente directo hacia el cliente. Lo anterior justifica la importancia de mantenerla en condiciones óptimas para trabajar, por lo tanto, cualquier intervención que se ejecute debe representar la menor afectación posible.

4.1.3.3 Diagrama de flujo del proceso de ensamble de conectores LSHM

A continuación, se aprecia un diagrama de flujo que muestra el proceso de fabricación en la línea automatizada de ensamble de conectores LSHM:

Figura 4.3: Diagrama de flujo del proceso de ensamble de conectores LSHM



Fuente: Elaboración propia, 2025.

En el caso de la materia prima utilizada para fabricar los conectores LSHM, Samtec fabrica cada una de sus partes, aunque algunas de estas son importadas de otros centros; la selección depende del tipo de materia prima, la necesidad actual y el equipo requerido para fabricar cada una de estas partes.

El proceso principal se desarrolla en la máquina de ensamble automatizada, donde el producto sale ya empacado (el proceso productivo principal se explica más adelante). Posterior a esto, se efectúa una inspección visual por parte del operario con el propósito de comprobar que no existan espacios sin piezas y que estas no vayan en posiciones incorrectas, además de asegurar las condiciones correctas de empaque, como el sellado adecuado, por ejemplo.

Luego de la comprobación, este *reel* se traslada al área de calidad para llevarse a cabo las revisiones correspondientes previas al empaque, en las que se revisan de nuevo las piezas y el empaque, también se comprueba la trazabilidad de los procesos y que la documentación coincida con lo observado físicamente.

En cuanto al proceso productivo principal, este se divide en 4 principales etapas, las cuales se pueden dividir en algunos casos en varios subprocesos. Cada una se describe a continuación.

- **Estación 1**

También conocida como estación de carga, en esta se ubican los *bodies* en un contenedor que vibra con el fin de moverlos. Cuando uno o varios se encuentran en la posición correcta, un brazo robótico los toma y los coloca en el *pallet* de transporte. Luego, cuando este *pallet* se llena, la estación se detiene para que el *pallet* se movilice a la siguiente estación y se mantiene así hasta que el siguiente *pallet* llega para recomenzar el ciclo.

- **Estación 2**

También conocida como estación de *fill* ya que en esta se produce la inserción de pines al *body* para darle su función de conector. Se trata de un *reel* con pines que gira según la necesidad de la máquina mientras los *pallets* se movilizan por la zona de inserción hasta completar la cantidad de pines requeridos. En esta estación se necesitan dos ciclos por cada *pallet*, al requerirse dos líneas de pines por cada pieza. Una vez insertados los pines y descartados los sobrantes, el *pallet* se mueve a la siguiente estación.

- **Estación 3**

En esta sección de la máquina se realiza el proceso de inspección. Así, mediante el uso de cámaras se comprueba el correcto estado de la inserción, además de otras características que sean motivo de descarte, tales como deformaciones, pines faltantes, partículas, entre otros. Luego de finalizada esta inspección, las piezas se trasladan a un *pallet* de transición que lleva a los conectores ensamblados a la última estación. El *pallet* de transporte vacío se coloca en otra banda que lo lleva de vuelta a la estación 1 para comenzar el ciclo de nuevo.

- **Estación 4**

Más conocida como estación de empaque, en esta se descartan las piezas marcadas como *scrap* en la estación de inspección. Posterior a esto, a las piezas aprobadas se les coloca un k-dot en la parte superior (pieza redonda que le permite ser manipulada por el cliente). Una vez colocado el k-dot, un brazo robótico toma las piezas y las coloca en el *reel* de empaque final, denominado como *tape&reel*. Este se va enrollando hasta completar la cantidad que permita el *reel*. Cuando este se llena, la máquina lo corta y coloca cinta para posteriormente retirarlo por el operario y que se puedan comenzar los procesos posteriores al proceso productivo principal.

Todas las estaciones mencionadas se llevan a cabo en una sola máquina, pues cada una se encuentra integrada y colocada en serie una después de la otra, unidas por la banda de transporte que debe recorrerlas para obtener el producto final empacado.

Ahora bien, en la serie LSHM se pueden producir 4 tipos diferentes de estilos, los cuales pueden presentar una variada cantidad de pines insertados según sea la necesidad del cliente. Por esta razón, los *setups* no siempre son iguales, al poder variar si el siguiente lote por ensamblar es de un estilo distinto o de un número de posiciones diferente, inclusive puede ser de un estilo y número de posiciones distintos al número de parte que se corre en la línea antes del cambio.

Además de cambiar componentes (según el tipo de *setup*), en cada estación se deben realizar ajustes por las diferentes dimensiones; adicional a esto, la programación varía según el número de orden. Producto de lo anterior, los errores que se experimenten

durante los cambios de lote pueden ser variados, por lo tanto, la persona que efectúe los cambios debe contar con el conocimiento suficiente para detectar el posible origen de estos fallos y solventarlos.

Con el fin de comprobar los motivos de paro de la máquina de ensamble automatizado LSHM, se recopila la información relacionada a los tiempos *down* por motivos no planeados, así se evidencian las principales causas por las cuales se detiene la máquina.

4.1.3.4 Recopilatorio de agosto 2024

El total de paros de la máquina en estudio durante el periodo de agosto 2024 es de 6297 y se contabilizan 138 diferentes motivos. A efectos de la investigación, se realiza un top 10 por tiempo consumido en estos paros, porque algunos demoran segundos debido a que la propia máquina los solventa y/o en ocasiones el operador los resuelve en lapsos muy breves. Dicho esto, se extrae la siguiente información:

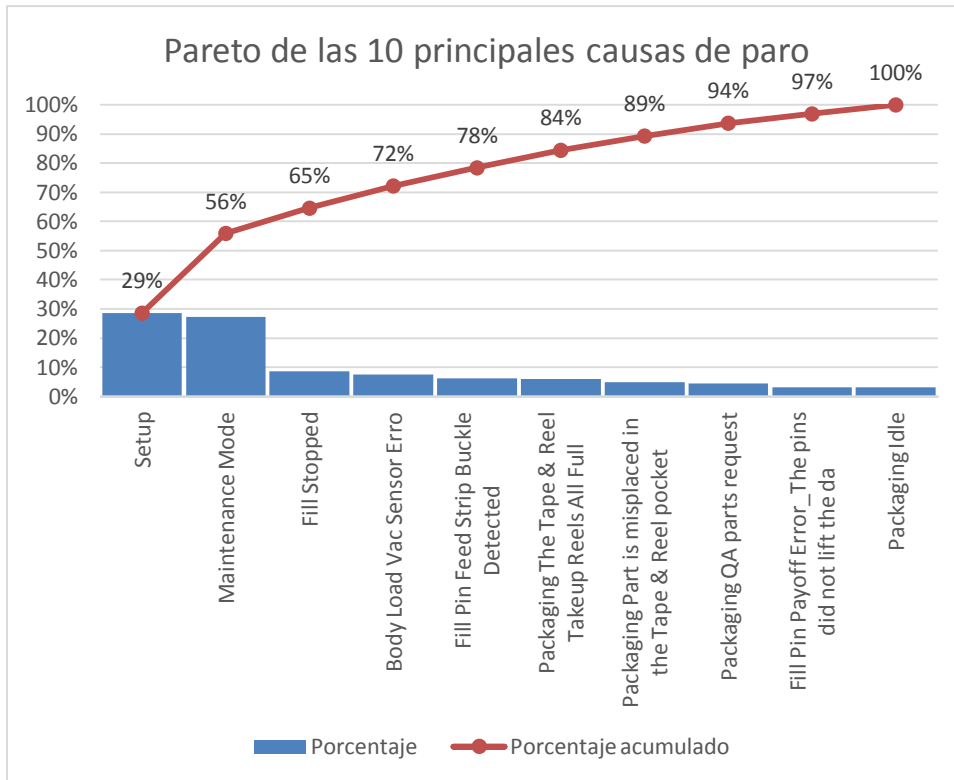
Tabla 4.5: Top 10 motivos de paro en el mes de agosto 2024

Motivo del paro	Tiempo consumido	% del total
1 Setup	53:27:50	18%
2 Maintenance Mode	23:04:30	8%
3 Packaging Idle	21:34:23	7%
4 Packaging Stopped	15:16:43	5%
5 Body Load Stopped	14:53:02	5%
6 Packaging Part is misplaced in the Tape & Reel pocket - Check sensor X173	14:11:41	5%
7 Packaging The Tape & Reel Takeup Reels All Full Load New Reels, Enter Cartridge Reel Quantity,	13:56:30	5%
8 Fill Pin Feed Strip Buckle Detected	13:02:19	4%
9 Packaging QA parts request Remove desired parts from the nest for QA testing parts remaining	11:30:51	4%
10 Body Unload Idle	9:52:52	3%
Total	302:11:58	

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Tal como se aprecia en la tabla anterior, el motivo de paro *setup* se encuentra de primero en la lista de causas de paros de la máquina, doblando y superando la cantidad de tiempo acumulado por paros de mantenimiento que representan el segundo lugar en la tabla.

Figura 4.4: Gráfico de Pareto de las 10 principales causas de paro de la máquina LSHM en agosto 2024



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Ilustrada gráficamente la información expuesta, el mayor peso porcentual corresponde al *setup*, como se aprecia en la tabla origen del gráfico de Pareto, el proceso de cambio entre un lote y otro supera el 80 %.

4.1.3.5 Recopilatorio de septiembre 2024

Al igual que en el mes de agosto 2024, se efectúa un recopilatorio de información. En el caso del mes de septiembre 2024, el total de paros de la máquina es de 9858.

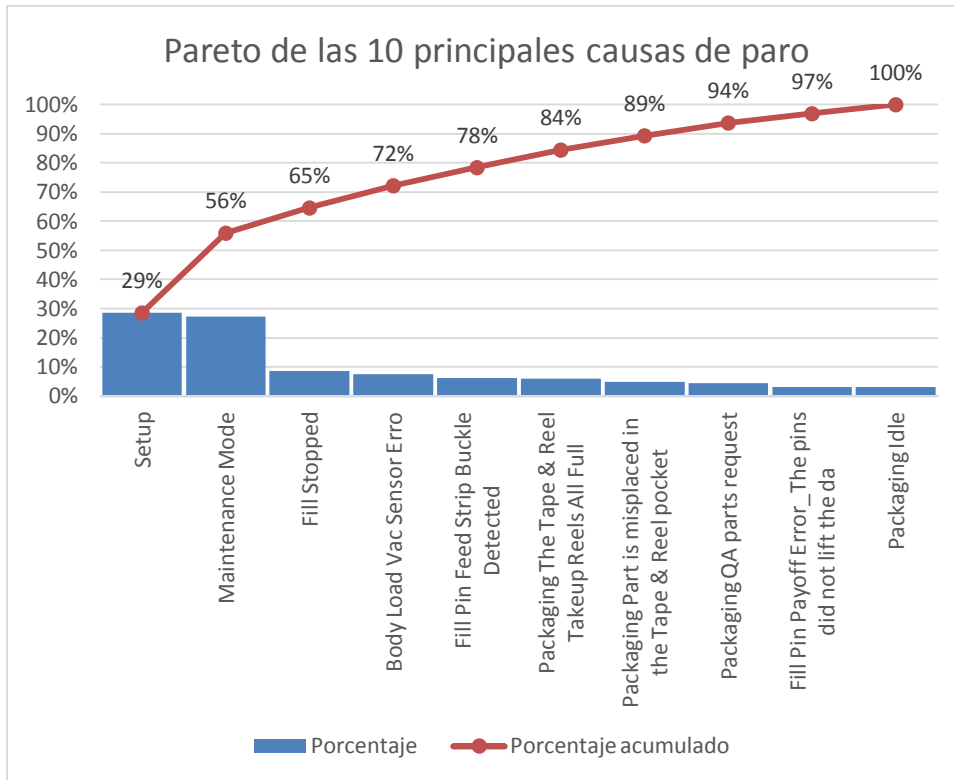
Tabla 4.6: Top 10 motivos de paro en el mes de septiembre 2024

Motivo del paro	Tiempo consumido	% del total
1 Maintenance Mode	43:29:57	15%
2 Setup	40:48:32	14%
3 Body Load Vac Sensor Error__Part was not picked -	29:44:16	10%
4 Packaging The Tape & Reel Takeup Reels All Full Load New Reels, Enter Cartridge Reel Quantity, and P	22:39:29	8%
5 Body Unload Idle	15:31:38	5%
6 Packaging Part is misplaced in the Tape & Reel pocket - Check sensor X173	10:30:44	4%
7 Body Load Machine not enabled	10:08:35	4%
8 Packaging Stopped	9:55:42	3%
9 Fill Pin Feed Strip Buckle Detected	8:56:47	3%
10 Body Load Stopped	8:06:33	3%
Total	199:52:13	

Fuente: Elaboración propia, 2025.

El motivo de paro por *setup* se encuentra nuevamente entre los principales motivos de paro y otra vez con una gran diferencia en relación con el motivo más cercano; sin embargo, en esta ocasión se ubica en la segunda posición del top de causas.

Figura 4.5: Pareto de las 10 principales causas de paro de la máquina LSHM en septiembre 2024



Fuente: Elaboración propia, 2025.

4.1.3.6 Recopilatorio de octubre 2024

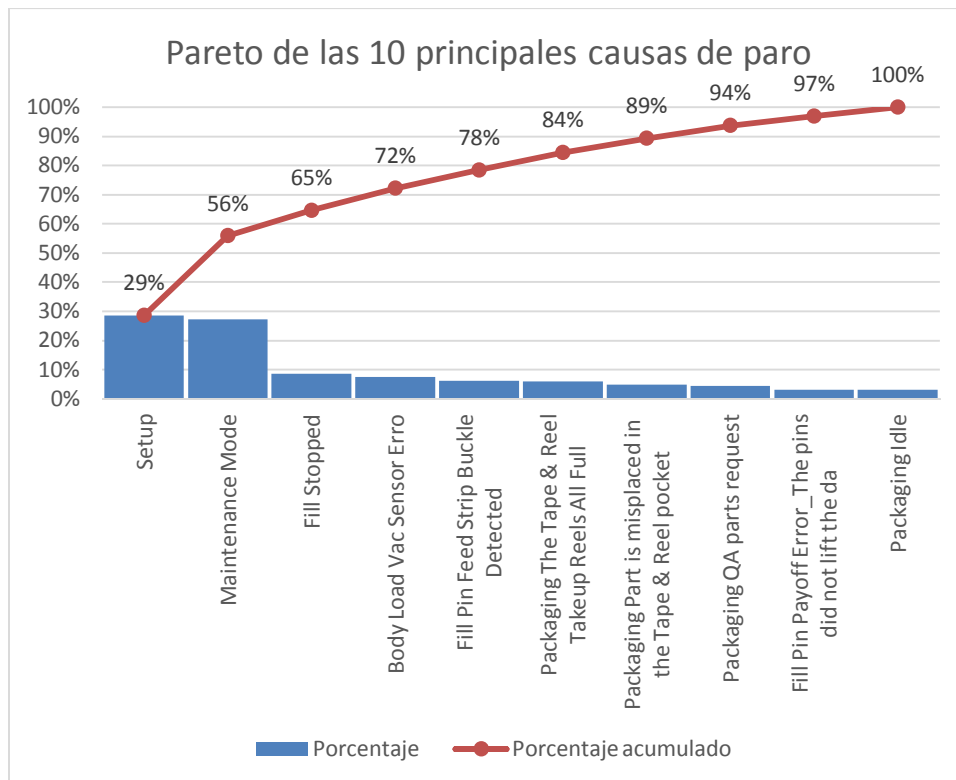
Siguiendo la tendencia de los meses anteriores, el motivo de paro identificado como *setup* se mantiene entre los principales causantes de tiempo *down*, con frecuencia ocupando la primera posición con tiempos bastante representativos en el valor general en comparación con las demás causas. Esto se comprueba en la siguiente tabla:

Tabla 4.7: Top 10 motivos de paro en el mes de octubre 2024

	Motivo de paro	Tiempo consumido	% del total
1	Setup	36:47:52	21%
2	Maintenance Mode	35:11:35	20%
3	Fill Stopped	11:07:17	6%
4	Body Load Vac Sensor Error__ Part was not picked -	9:48:26	5%
5	Fill Pin Feed Strip Buckle Detected	7:58:50	4%
6	Packaging The Tape & Reel Takeup Reels All Full Load New Reels, Enter Cartridge Reel Quantity, and P	7:45:29	4%
7	Packaging Part is misplaced in the Tape & Reel pocket - Check sensor X173	6:17:35	4%
8	Packaging QA parts request Remove desired parts from the nest for QA testing parts remaining in the	5:39:46	3%
9	Fill Pin Payoff Error_ The pins did not lift the da	4:05:16	2%
10	Packaging Idle	3:58:40	2%
	Total	128:40:46	

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Figura 4.6: Pareto de las 10 principales causas de paro de la máquina LSHM en octubre 2024



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Una vez analizados los 3 meses anteriores a noviembre 2024, se percibe con mayor claridad lo previsto: el tiempo *down* por motivo de *setup* es el más representativo de los registros de la máquina de ensamble de conectores LSHM.

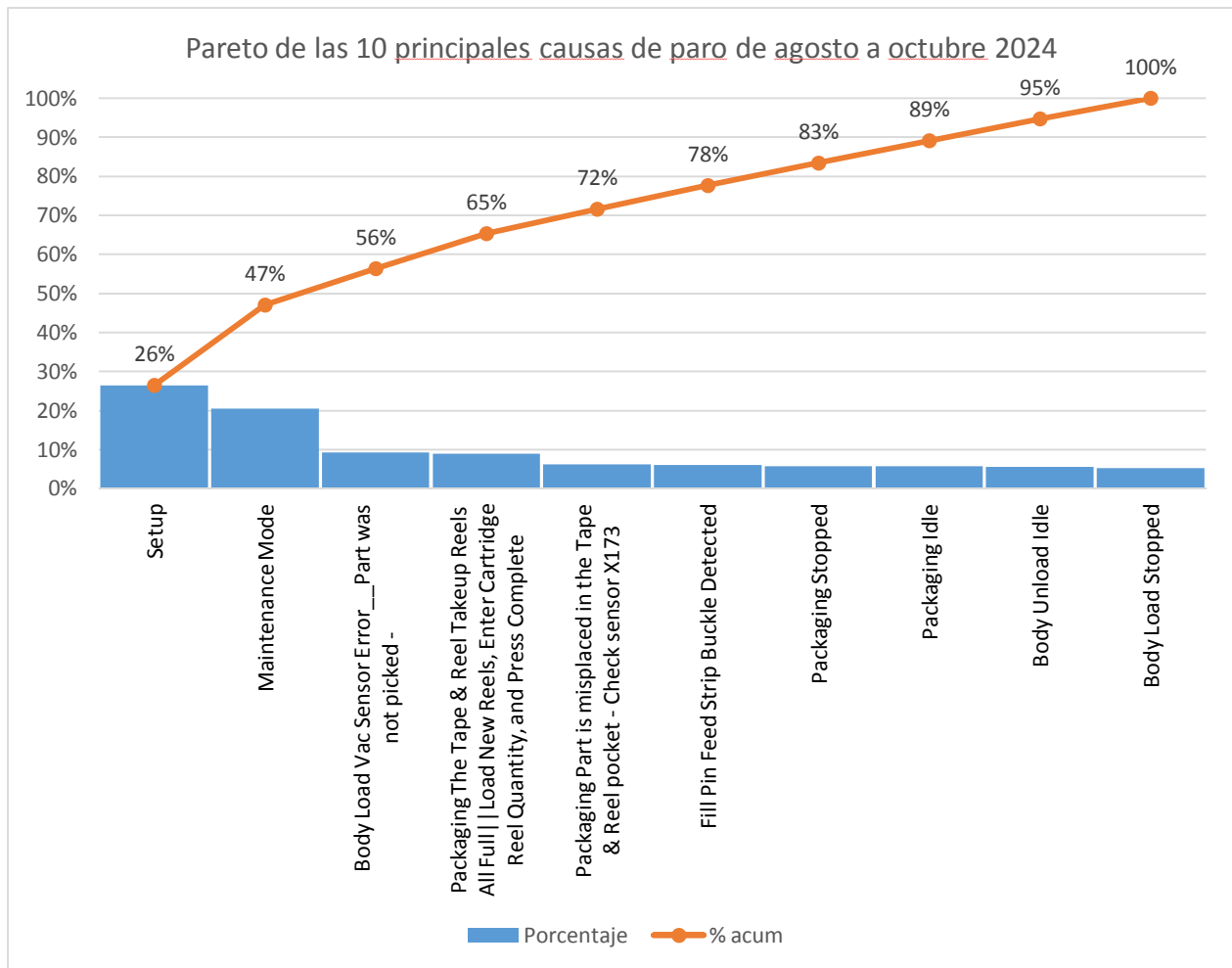
En cuanto a la siguiente tabla resumen, también llama la atención el motivo de paro por mantenimiento, pues representa el doble del tiempo del motivo denominado como *body load vac sensor error*.

Tabla 4.8: Top 10 motivos de paro de agosto a octubre 2024

	Motivo de paro	Tiempo consumido	% del tota
1	Setup	131:04:14	17%
2	Maintenance Mode	101:46:02	13%
3	Body Load Vac Sensor Error_ Part was not picked -	46:09:07	6%
4	Packaging The Tape & Reel Takeup Reels All Full Load New Reels, Enter Cartridge Reel Quantity, and P	44:21:28	6%
5	Packaging Part is misplaced in the Tape & Reel pocket - Check sensor X173	31:00:00	4%
6	Fill Pin Feed Strip Buckle Detected	29:57:56	4%
7	Packaging Stopped	28:27:52	4%
8	Packaging Idle	28:23:09	4%
9	Body Unload Idle	27:41:12	4%
10	Body Load Stopped	26:06:55	3%
	Total	772:06:42	

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Figura 4.7: Pareto de las 10 principales causas de paro de la máquina LSHM de agosto a octubre 2024



Fuente: Elaboración propia, 2025.

El motivo *setup* ha sido el más sobresaliente entre las causas que generan paros en la máquina de conectores LSHM. Por esta razón, se toma la decisión de orientar el estudio a la reducción del tiempo de *changeover* con la finalidad de disminuir el tiempo que se demora entre la salida de un lote y el comienzo de la producción del siguiente.

4.1.3.7 Project charter

A continuación, se expone el *project charter* en el que se definen de manera previa los principales puntos del estudio, tomando en cuenta sus alcances, objetivos y fechas planteadas para su ejecución.

Figura 4.8: Project charter

PROJECT CHARTER			
NOMBRE DEL PROYECTO		ENCARGADO DEL PROYECTO	
Implementación SMED en L-22830 LSHM		Gerardo Anchía Rojas	
CORREO ELECTRÓNICO		TELÉFONO	UNIDAD ORGANIZATIVA
gerardo.anchia@samtec.com			PE
COSTOS ESTIMADOS		AHORROS ESPERADOS	FECHA PREVISTA DE INICIO
€ -		€ -	1/10/2024
FINALIZACIÓN PREVISTA			
€ -			
VISIÓN GENERAL DEL PROYECTO			
PROBLEMA	Demora en proceso de change over en maquina LSHM MPP		
PROPÓSITO DEL PROYECTO	Disminuir el tiempo down por set up		
CASO DE NEGOCIO	Aumentar la capacidad de producción de la maquina LSHM MPP		
OBJETIVOS	Evaluar el proceso actual de ensamble de los conectores LHSM mediante la aplicación de metodología DMAIC y SMED, con el fin aumentar la disponibilidad de la maquina y a su vez incrementar la capacidad de producción de la línea.		
ENTREGABLES ESPERADOS	Planes de acción y controles		
ALCANCE DEL PROYECTO			
DENTRO DEL ALCANCE	Estandarizar el proceso y mejorar la disponibilidad de la maquina		
FUERA DEL ALCANCE	Actividades posteriores al proceso productivo principal		
CALENDARIO TENTATIVO			
HITO CLAVE	EMPEZAR	TERMINAR	
Análisis de situación actual	1/10/2024	15/10/2024	
Análisis de causas	16/10/2024	23/10/2024	
Propuestas iniciales	23/10/2024	31/10/2024	
Primeras implementaciones	1/11/2024	11/31/2024	
Fase de análisis	1/12/2024	15/12/2024	
Segunda etapa de propuestas	16/12/2024	20/12/2024	

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Se elige la metodología SMED porque esta se enfoca en la reducción de las tareas ocurridas durante los *changeovers*, lo cual permite hacerle un análisis al *setup*, que es la causa con mayor peso en las gráficas anteriores.

4.2 MEDIR

4.2.1 Análisis del proceso de setup

Para implementar la metodología SMED, se necesita conocer el proceso de *changeover* o, en su defecto, el *setup*, de esta manera se identifican las actividades que el colaborador ejerce a la hora de realizar el proceso.

Como parte de la matriz de SMED, el proceso se divide en cuatro diferentes etapas, a saber:

- Etapa preliminar, se registran las etapas del *setup*.
- Primera etapa, se identifican y separan las tareas externas e internas.
- Segunda etapa, convertir tareas internas en externas.
- Tercera etapa, optimizar las tareas identificadas.

4.2.1.1 Etapa preliminar

Se visita la máquina cuando se lleva a cabo el *setup* y se efectúa un registro de las tareas completadas durante la ejecución de este. En esta etapa, no se diferencian tareas internas de tareas externas, solo se registran los pasos realizados tanto por el operario como por el técnico.

Tabla 4.9: Tareas durante el proceso de setup en la máquina LSHM MPP

Tareas Operario	Tareas Técnico
Ingresar ticket	Se asigna ticket
Cambiar Pocket	Seleccionar tooling
Recoger Bodies	Cambio tooling estación bodies
Colocar reel pocket	Cambio estación de fill
Colocar cinta pocket	Cambio de 3 pallet
Ajuste Kdot	Corre fill
Desinstalar reel	Cambio de 2 pallet
Ajustar reel	Cambio de pallet load height
Montar Reel	Cambiar nido transferencia
	Ajuste pistón de desecho

Fuente: Elaboración propia, 2025.

A continuación, se explica cada una de las tareas incluidas en la tabla anterior:

Tareas del operario

- Ingresar el *ticket*. El operador ingresa un *ticket* al sistema para solicitar que se realice el proceso de cambio de componentes (*setup*). Este *ticket* se carga en una lista de solicitudes al Departamento Técnico y, según el orden de ingreso, prioridad y disponibilidad, se atiende el *ticket*; no hay un tiempo específico de respuesta ya que depende mucho de la situación actual.
- Cambiar los *pockets*. Los *pockets* llenos de la orden anterior deben retirarse y colocarse *reels* vacíos para que estos se utilicen en el proceso de empaque de la siguiente orden.
- Recoger los *bodies*. Los *bodies* se asignan a cada orden según la cantidad que se requiera. La materia prima restante debe ser removida y regresada a bodega para que se reasigne a otras órdenes.
- Colocar el *reel* de *pockets*. Los *reels* de *pockets* se colocan en la estación de empaque y se ajustan a la máquina según las medidas del *reel* por instalar, porque las máquinas jalan de estos según avance el proceso de empaque. Estas pueden abastecer a varios *reels* de un *pocket* lleno. En caso de que los conectores por trabajar en la siguiente orden sean de las mismas dimensiones, no se efectúa el cambio y solo se comprueban los ajustes y la cantidad.
- Colocar la cinta del *pocket*. La cinta del *pocket* se utiliza para cubrir la cara expuesta del conector en el *pocket*. Esta se adhiere por calor una vez que el conector se coloca por medio del brazo robótico en una secuencia de tareas completadas por el área de empaque.
- Ajuste del k-dot. El k-dot es un componente adhesivo de un diámetro de aproximadamente 4 mm que se coloca en la parte superior del conector para que pueda ser manipulado por las máquinas del cliente. El k-dot utilizado en la máquina LSHM es estándar para todos los productos que se corren en ella, por esta razón, entre cada cambio, solo se comprueba que el *reel* de k-dot no experimente holguras; en caso de presentarlas, se llevan a cabo los ajustes correspondientes o, si se gasta, se debe cambiar, de lo contrario se omite el paso.

Tareas del técnico

- Se asigna el *ticket*. El *ticket* ingresado por el operador al sistema del área técnica se asigna a uno de los técnicos para ser atendido.
- Seleccionar el *tooling*. Una vez conocida la tarea por ejecutar (en este caso un *setup*), el técnico selecciona las herramientas por utilizar, además de los componentes por cambiar en la máquina.
- Cambio de *tooling* en la estación de *bodies*. Dependiendo del producto que se esté corriendo en la orden anterior, se realiza el cambio de los componentes en la estación 1. Esta información se conoce desde que se toma el *ticket*.
- Cambio en la estación de *fill*. En la estación 2, o estación de *fill*, se debe cambiar el *reel* de pines en caso de ser necesario y, dependiendo de lo que se corre en la orden anterior, se deben cambiar componentes en la máquina. Siempre se debe revisar la configuración de trabajo de la máquina, esta va a indicar los parámetros sobre los cuales se va a correr la orden.
- Cambio de los 3 *pallets*. La máquina tiene un total de 5 nidos de transporte, estos poseen una serie de componentes que deben cambiarse entre órdenes ya que varían en cuanto a cantidad de posiciones de inserción, además de dimensiones propias del conector. En la actualidad la máquina solo permite cambiar 3 *pallets* a la vez de los 5 que utiliza.
- Corre el *fill*. Una vez realizados los cambios en los tres primeros *pallets*, se debe correr la estación 2 para que se puedan retirar los 2 *pallets* restantes y, de esta manera, llevar a cabo los cambios correspondientes.
- Cambio de 2 *pallets*. Cuando se corre el *fill* y los *pallets* restantes salen de la estación 2, se procede a efectuar los cambios para completar el *setup* de los *pallets*.
- Cambio del *pallet load height*. Se ejecuta el trasbordo de los conectores al *pallet* final de transferencia, donde las piezas reciben una última inspección. Es necesario realizar ajustes de altura y posición de la cámara.
- Cambio del nido de transferencia. El *pallet* final transporta los conectores hacia la zona de descarte luego de la colocación del k-dot y, por último, los lleva hasta el brazo que los toma para colocarlos en el *pocket*.

- Ajuste del pistón de desecho. Se ajusta el pistón que se encarga de descartar los conectores con irregularidades luego de su paso por la estación de inspección.

Resultado del seguimiento, se registran los tiempos que demora tanto el operario como el técnico durante el proceso de *setup* de la máquina LSHM MPP y se comparan, lo que da como resultado la siguiente tabla:

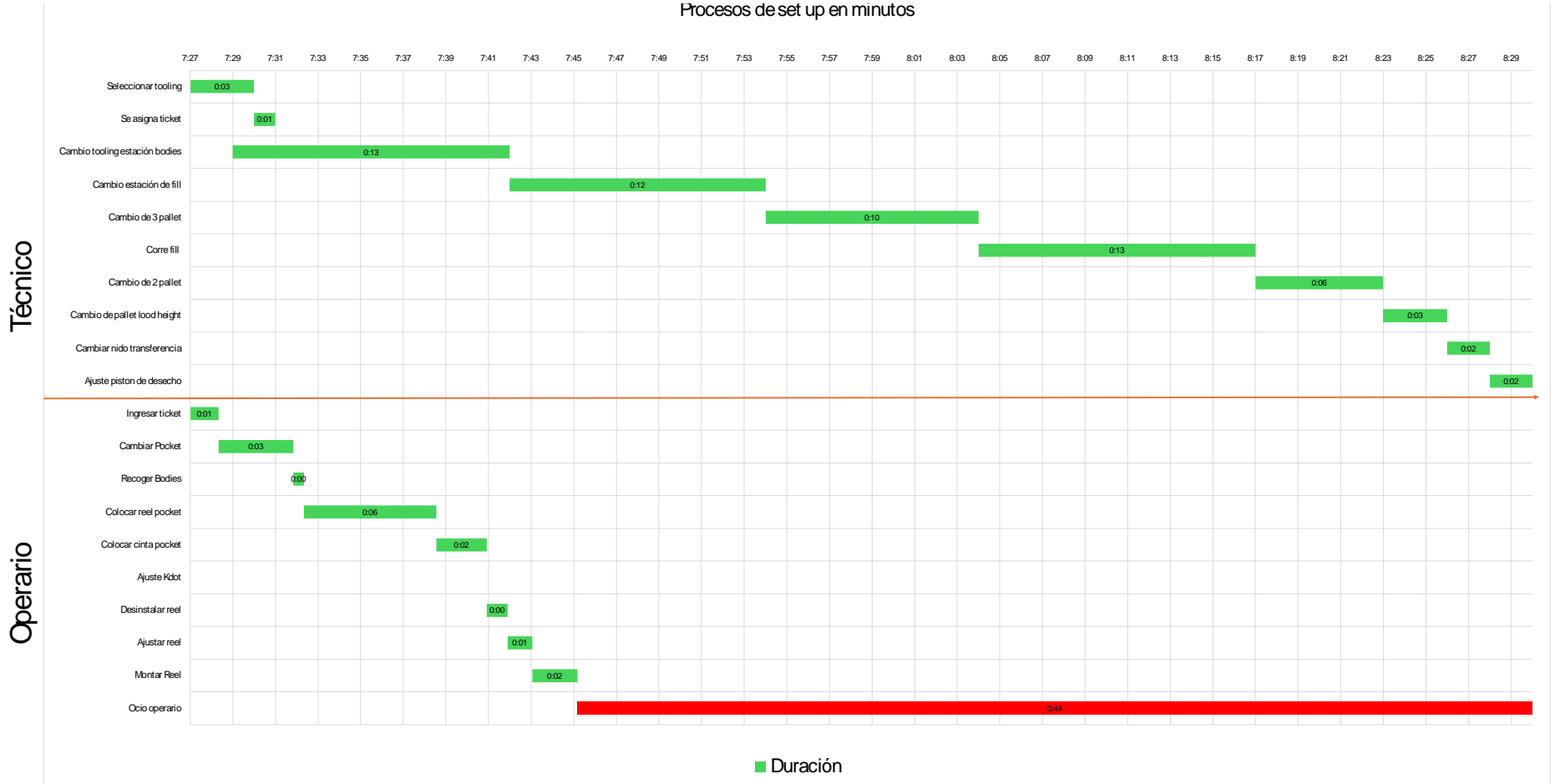
Tabla 4.10: Comparativa de la demora en tareas del proceso de *setup*

Tareas operario	Tiempo en minutos	Tareas técnico	Tiempo en minutos
Ingresar ticket	1	Seleccionar tooling	3
Cambiar Pocket	3	Se asigna ticket	1
Recoger Bodies	1	Cambio tooling estación bodies	13
Colocar reel pocket	6	Cambio estación de fill	12
Colocar cinta pocket	2	Cambio de 3 pallet	10
Ajuste Kdot	0	Corre fill	13
Desinstalar reel	1	Cambio de 2 pallet	6
Ajustar reel	1	Cambio de pallet load height	3
Montar Reel	2	Cambiar nido transferencia	2
Ocio operario	44	Ajuste piston de desecho	2

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Para una mejor percepción de la ocupación tanto del operario como del técnico en el proceso de *setup*, se desarrolla un diagrama comparativo que muestra el inicio en sincronía de las tareas que ejecuta cada uno, con el fin de establecer en qué punto del proceso el operador queda libre.

Figura 4.9: Diagrama comparativo de los procesos de setup
Procesos de set up en minutos



Fuente: Elaboración propia, 2025.

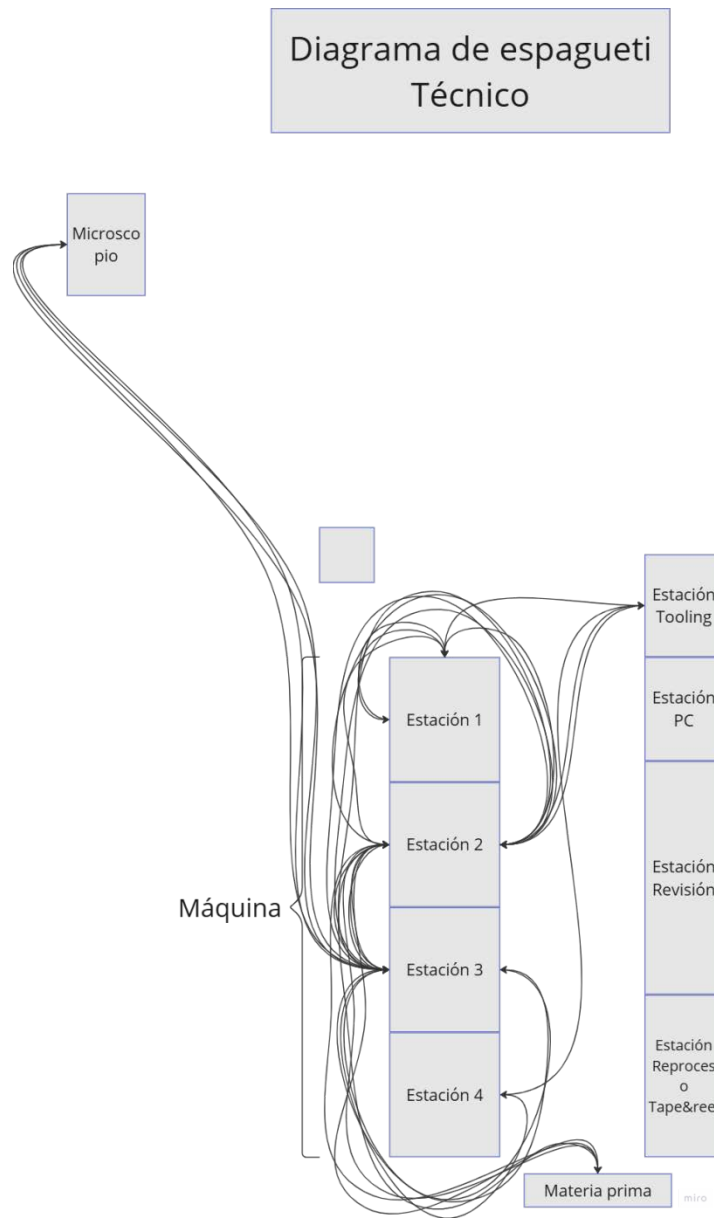
Analizando la gráfica anterior, se observa que la ocupación del operario es de unos 20 min aproximadamente. A partir de este punto, solo el técnico continúa realizando intervenciones en la máquina. Esta información es valiosa al conocerse durante cuáles tareas del técnico el operario se encuentra disponible para asignársele otras tareas o balancearle las actuales.

4.2.2 Diagrama de espagueti

4.2.2.1 Diagrama de espagueti para el técnico en el proceso de setup

A continuación, se aprecia el diagrama de espagueti que muestra los desplazamientos hechos por el técnico al momento de ejecutar el *setup* en la máquina de LSHM:

Figura 4.10: Diagrama de espaguete para el técnico en el proceso de setup



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Según el diagrama, los principales desplazamientos del técnico ocurren en las estaciones 1, 2 y 3, también los más grandes ajustes se ejecutan en esta área. Además, para extraer los *pallets* se debe correr la máquina con el propósito de sacar primero la mitad de estos y luego sacar la otra parte. Estas intervenciones se realizan entre las estaciones 1 y 3. Por un lado, se acciona y, por el otro lado, se extraen los *pallets*.

Los desplazamientos con un mayor recorrido se efectúan a la hora de movilizarse por la materia prima. El técnico debe retirar el *reel* de pines para colocar el siguiente, además de descartar, en caso de que sobren, los *bodíes* de la orden anterior. Entre los puntos sobresalientes en el diagrama, se encuentra la cantidad de desplazamientos repetitivos del técnico, estos desplazamientos se interpretan como falta de orden y la evidente ausencia de un proceso definido.

Cálculos del desplazamiento

Tabla 4.11: Cálculos del tiempo de desplazamiento del técnico

Inicio	Fin	Tiempo (s)	Etapa
Estación de tooling	Estación 2 frente	4,38	Modo set up
Estación 2 frente	Estación de tooling	4,38	
Estación de tooling	Estación 1 frente	3,20	Est 1
Estación 1 frente	Estación 1 atrás	3,90	
Estación 1 atrás	Estación 1 frente	3,90	
Estación 1 frente	Estación 2 atrás	5,07	Est 2
Estación 2 atrás	Material 1	14,01	
Material 1	Estación 2 atrás	14,01	
Estación 2 atrás	Material 1	14,01	
Material 1	Estación 2 atrás	14,01	
Estación 2 atrás	Estación 3 atrás	4,17	Est 3
Estación 3 atrás	Estación 2 frente	12,24	
Estación 2 frente	Estación 3 atrás	12,24	
Estación 3 atrás	Estación 2 frente	12,24	
Estación 2 frente	Estación 3 atrás	12,24	
Estación 3 atrás	Estación 2 atrás	4,17	
Estación 2 atrás	Estación 3 atrás	4,17	
Estación 3 atrás	Micro 1	14,20	
Micro 1	Estación 3 atrás	14,20	
Estación 3 atrás	Estación 2 atrás	4,17	
Estación 2 atrás	Estación 3 atrás	4,17	
Estación 3 atrás	Estación 3 frente	13,30	
Estación 3 frente	Estación 3 atrás	13,30	
Estación 3 atrás	Micro 1	14,20	
Micro 1	Estación 3 atrás	14,20	
Estación 3 atrás	Estación 4 frente	14,19	Est 4
Estación 4 frente	Estación de tooling	6,70	
Resumen	Tiempo (s)	Tiempo (m)	Tiempo (h)
Situación actual	254,97	4,25	0,0708

Fuente: Elaboración propia, 2025.

En la tabla anterior se complementa la información graficada en el diagrama de espagueti. Si bien la mayoría de los desplazamientos no son muy largos, sí son repetitivos, esto puede afectar el enfoque del técnico en sus tareas. Al respecto, la mayor parte de los desplazamientos se encuentran a la hora de realizar las intervenciones de la estación 3, pues para retirar los *pallets* el técnico debe movilizarse de la parte delantera de la estación a la parte trasera en reiteradas ocasiones, por lo que acumula un tiempo total en recorridos de 4,25 minutos, tiempo que va generando carga en los siguientes procesos e interrumpiendo el flujo del *setup*.

el operario debe desplazarse de un costado al frente de la máquina con el fin de completar sus labores.

Cálculos del desplazamiento

Tabla 4.12: Cálculos del tiempo de desplazamiento del operario

Inicio	Fin	Tiempo (s)	Etapa
Estación de pc	Estación 4 frente	5,46	Ticket
Estación 4 frente	Estación 4 costado	3,5	Pocket
Estación 4 costado	Estación 4 frente	3,5	
Estación 4 frente	Material 1	3,5	Recoger bodies
Material 1	Estación 1 atrás	14,01	
Estación 1 atrás	Material 1	14,01	
Material 1	Estación 4 frente	3,5	Ajustes estación empaque
Estación 4 frente	Material 1	3,5	
Material 1	Estación 4 frente	3,5	
Estación 4 frente	Material 1	3,5	
Material 1	Estación 4 costado	3,5	
Estación 4 costado	Estación 4 frente	3,5	
Estación 4 frente	Estación 4 costado	3,5	
Estación 4 costado	Estación 4 frente	3,5	
Estación 4 frente	Micro 1	17,79	Comprobaciones
Micro 1	Estación 4 frente	17,79	
Resumen	Tiempo (s)	Tiempo (m)	Tiempo (h)
Situación actual	107,56	1,79	0,0299

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Los tiempos de desplazamiento del operario son menores en función de sus tareas, porque se enfoca en ejecutar ajustes a la estación de empaque y el estante de materia prima se encuentra justo al lado por lo cual no debe hacer grandes desplazamientos, solo para realizar las comprobaciones previas a iniciar la corrida.

4.2.3 Cálculos de los costos

Con la intención de percibir desde el punto de vista monetario el impacto originado por el tiempo que la máquina demora detenida durante el proceso de *setup*, se lleva a cabo un análisis de cuánto dinero genera la máquina por hora y cuánto demora cada *setup*.

Como muestra para el estudio, por medio de la página oficial de Samtec (s.f.) se averigua que el valor de un conector LSHM de 20 posiciones es de \$ 4.23. Ahora bien, basándose en una orden de trabajo donde se indica el *rate* por hora de la máquina, el cual es de 464 piezas por hora, entonces se estima lo siguiente:

$$\$4.23 * 464 \text{ pph} = \$1962.72$$

Los 4.23 dólares que representan el costo de cada conector se multiplican por el número de piezas por hora, a saber, 464, esto da como resultado que por cada hora que la máquina se mantiene trabajando, cumpliendo con el *rate* establecido, la empresa gana un total de \$1 925.72. En caso contrario, cada hora que la máquina queda detenida, ese monto es el que la empresa está dejando de percibir.

A continuación, se realiza un análisis del tiempo consumido por *set* del periodo de agosto a octubre 2024:

4.2.3.1 Análisis de agosto 2024

Tabla 4.13: Setup del mes de agosto 2024

#	Fecha	TT	Tipo de set up	Turno
1	2/8/2024	0:57:00	Posiciones	Turno 2
2	4/8/2024	3:27:52	Estilo	Turno 1
3	8/8/2024	2:59:50	Estilo	Turno 1
4	10/8/2024	3:16:32	Estilo	Turno 1
5	13/8/2024	2:59:47	Posiciones	Turno 3
6	16/8/2024	1:46:07	Posiciones	Turno 1
7	17/8/2024	4:44:23	Estilo	Turno 2
8	25/8/2024	1:00:46	Estilo	Turno 1
9	27/8/2024	2:34:28	Estilo	Turno 2
10	27/8/2024	1:57:16	Estilo	Turno 2
11	29/8/2024	1:35:54	Posiciones	Turno 1
		2:29:05		

Fuente: Elaboración propia, 2025.

En la tabla anterior se observan los *setups* hechos en el mes de agosto 2024, en total se registran en el sistema 11, los cuales van desde tiempos de 1 hora hasta las 4 horas,

esto en promedio representa 2.5 horas, dato que evidencia el tiempo promedio invertido al llevar a cabo un *setup* en la máquina LSHM durante el mes de agosto 2024.

$$\$1962.72 * 2.5h = \$ 4906,8$$

Tal como se aprecia en la fórmula, el costo ya conocido de ganancia por hora que genera la máquina LSHM es de \$ 1962.72, lo que se multiplica por el promedio de tiempo invertido en cada *setup* en el mes de agosto 2024; por consiguiente, en promedio en cada pausa de la máquina por motivo de *setup* la empresa deja de percibir \$ 4906.8.

4.2.3.2 Análisis de septiembre 2024

Tabla 4.14: Setup del mes de septiembre 2024

#	Fecha	Tiempo total	Tipo de	Turno
1	4/9/2024	1:18:29	Estilo	Turno 2
2	5/9/2024	1:21:30	Estilo	Turno 1
3	6/9/2024	1:25:40	Estilo	Turno 1
4	10/9/2024	2:11:11	Estilo	Turno 1
5	10/9/2024	0:55:39	Estilo	Turno 2
6	11/9/2024	1:30:24	Posiciones	Turno 1
7	13/9/2024	1:41:00	Posiciones	Turno 2
8	16/9/2024	1:35:43	Posiciones	Turno 1
9	17/9/2024	1:09:46	Posiciones	Turno 1
10	19/9/2024	2:27:27	Posiciones	Turno 1
11	20/9/2024	1:04:40	Estilo	Turno 2
12	20/9/2024	1:14:23	Estilo	Turno 2
13	22/9/2024	0:57:32	Posiciones	Turno 2
14	23/9/2024	1:19:59	Estilo	Turno 2
15	24/9/2024	2:53:31	Estilo	Turno 2
16	25/9/2024	1:20:35	Posiciones	Turno 1
17	27/9/2024	1:32:57	Estilo	Turno 1
18	27/9/2024	3:19:50	Estilo	Turno 2
19	29/9/2024	4:11:28	Estilo	Turno 3
		1:45:53		

Fuente: Elaboración propia, 2025.

En el mes de septiembre 2024, debido a la carga de trabajo y la variedad de estilos de conectores que se trabajan en la máquina LSHM, los *setups* son casi el doble que en el mes anterior. No obstante, aunque en esta ocasión hay más cambios de posiciones, usualmente se demora menos porque requieren de menos ajustes.

$$\$1962.72 * 1.75h = \$3434,76$$

El cálculo del monto que se deja de percibir por *setup* en septiembre 2024 disminuye en comparación con el mes anterior porque en promedio el tiempo que se invierte en esta tarea es de 1 hora con 45 minutos aproximadamente, lo cual multiplicado por lo que se percibe por hora funcional de la máquina da como resultado un total de \$ 3434.76 que se dejan de percibir por cada *setup* hecho en septiembre 2024.

4.2.3.3 Análisis de octubre 2024

Tabla 4.15: Setup del mes de octubre 2024

#	Fecha	TT	Tipo de se	Turno
1	1/10/2024	1:44:30	Estilo	Turno 1
2	2/10/2024	2:10:30	Posiciones	Turno 3
3	4/10/2024	2:38:35	Estilo	Turno 2
4	5/10/2024	1:27:16	Estilo	Turno 1
5	7/10/2024	1:59:55	Posiciones	Turno 1
6	8/10/2024	1:05:22	Estilo	Turno 1
7	9/10/2024	1:01:34	Posiciones	Turno 1
8	19/10/2024	2:28:53	Estilo	Turno 1
9	23/10/2024	1:22:26	Posiciones	Turno 2
10	25/10/2024	2:59:06	Estilo	Turno 1
11	26/10/2024	3:09:25	Estilo	Turno 2
12	28/10/2024	1:16:35	Posiciones	Turno 1
13	29/10/2024	1:30:01	Estilo	Turno 1
14	30/10/2024	2:30:04	Estilo	Turno 1
15	30/10/2024	5:30:58	Estilo	Turno 2
		2:11:41		

Fuente: Elaboración propia, 2025.

En cuanto a octubre 2024, se ejecutan un total de 15 paros por motivo de *setups*, dejando en este mes un promedio de 2.18 horas por *setup*. Al respecto, se llevan a

cabo más *setups* por motivo de cambio de estilo, estos usualmente demoran más, por esta razón se percibe una nueva alza en el tiempo promedio final.

$$\$1962.72 * 2.18h = \$4278,73$$

De este modo, en el mes de octubre 2024 hacer un *setup* para la empresa significa dejar de percibir un total de \$ 4278.73 en cada uno de estos, es el segundo valor más alto del trimestre en estudio. Relacionado a esto, en todos los casos el monto siempre se encuentra por encima de los \$ 2000, lo cual es un monto bastante considerable que la empresa está dejando de percibir a la hora de realizar intervenciones por *setup* en la máquina de LSHM.

4.3 ANALIZAR

Al conocer el objetivo del proyecto, los puntos por analizar se orientan a la disminución del tiempo invertido en el proceso de *setup*; por esta razón, comienza una investigación de causa raíz para definir en cuál área específica se van a tomar acciones y/o llevar a cabo implementaciones.

La primera herramienta por efectuar es una lluvia de ideas que permite identificar el problema según los involucrados directamente en el proceso.

4.3.1 Lluvia de ideas

Con el fin de obtener por parte de cada colaborador una percepción acerca de las causas que pueden originar un mayor tiempo en el proceso de *setup*, se desarrolla una plantilla que se le entrega a cada uno de los operadores de cada turno y al personal técnico que interviene directamente la máquina.

Tabla 4.16: Plantilla para las ideas de análisis de la causa raíz

Lluvia de ideas			
Causa	Tiempo excesivo para change over en máquina LSHM MPP		
Puesto:		Fecha	
Área		Turno	
Posibles causas			
1			
2			
3			
4			
5			

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Después de entregadas las plantillas, cada uno de los colaboradores asigna puntos a las causas que le parecen están generando el tiempo excesivo para luego realizar el *changeover* de la máquina de LSHM. Así, se recopila la información, se filtran las ideas juntando las similares y se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 4.17: Ideas recopiladas del personal operario y técnico

Lluvia de ideas	
1	Herramientas inadecuadas
2	Falta de coordinación con área técnica
3	Falta de personal técnico
4	Programación inadecuada de la máquina
5	Planificación inadecuada de órdenes
6	Personal no enfocado
7	Falta de conocimiento técnico
8	Falta de materia prima
9	Falta de procesos definidos
10	Rotación de personal
11	Fallos constantes en máquina
12	Atención tardía de tickets
13	Pedidos urgentes que afectan planificación
14	Set up inadecuados
15	Recorridos excesivos

Fuente: Elaboración propia, 2025.

La tabla anterior muestra las ideas recopiladas del proceso de recolección de información sobre las que los consultados consideran son las razones por las cuales el

proceso de *changeover* en la máquina LSHM tiene un tiempo tan alto. A continuación, se analiza cada uno de los puntos de la tabla:

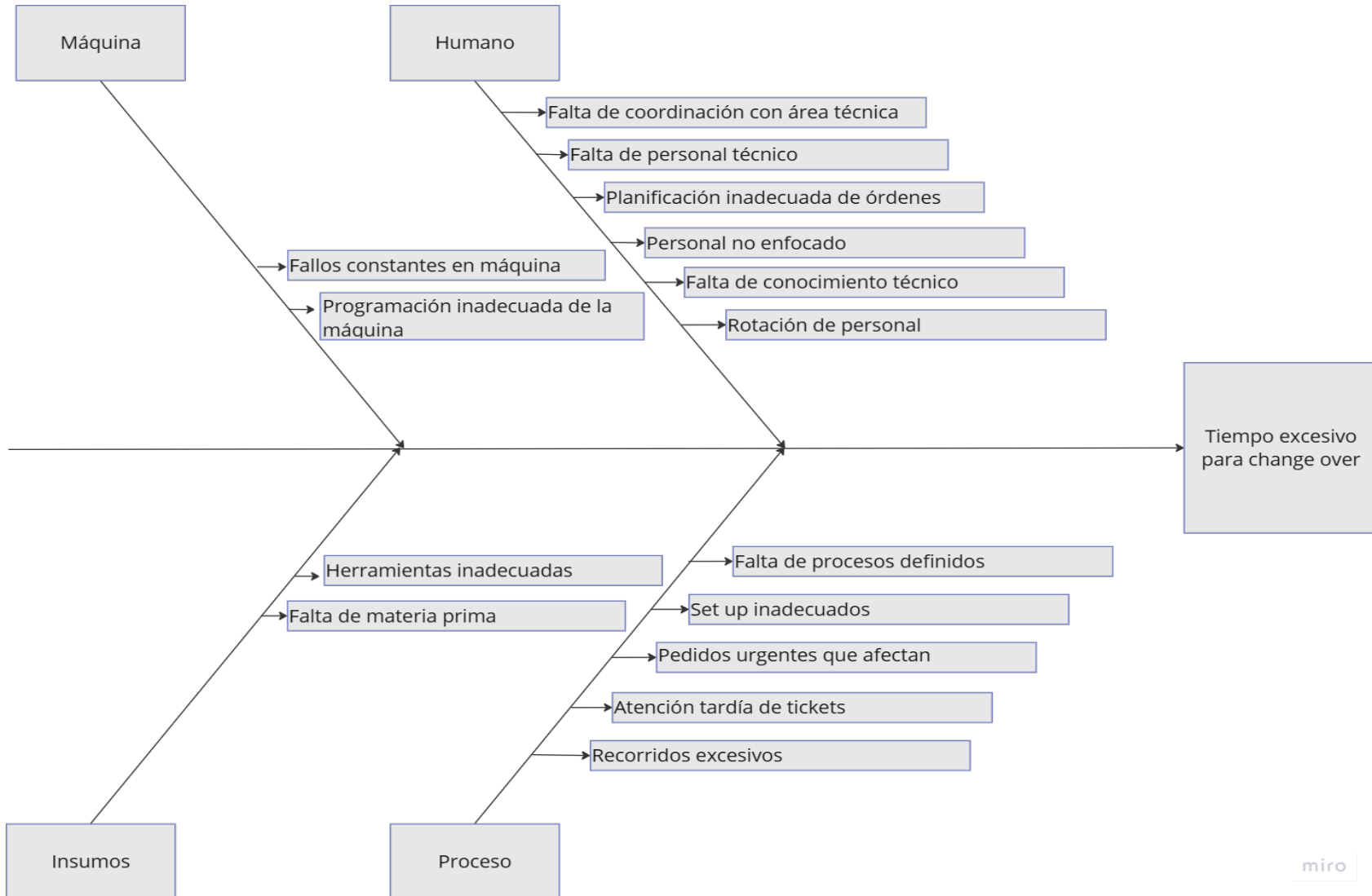
1. Herramientas inadecuadas. El *setup* requiere del uso de herramientas para realizar el montaje y desmontaje de componentes en la máquina. Si bien es cierto el área técnica cuenta con la mayoría de las herramientas necesarias para desempeñar sus labores, en ocasiones estas no se encuentran disponibles o, en su defecto, dependiendo de la tarea y la ubicación y/o forma del componente por trabajar, se requiere de una herramienta que cumpla la misma función, pero que se adapte mejor a la necesidad actual.
2. Falta de coordinación con el área técnica. Los operadores indican que en varias ocasiones todos los técnicos se encuentran cubriendo otro piso y la disponibilidad en cuanto a la máquina LSHM es muy baja, por lo cual los tickets generados tardan en atenderse.
3. Falta de personal técnico. En ocasiones se percibe que el personal técnico es insuficiente, esto se debe a varios aspectos, a saber: formaciones, asignaciones en otras áreas por urgencias de Producción, instalación de nuevas máquinas (normalmente por traslados de otras plantas), vacaciones y rotación de personal, ya sea por salidas, ascensos o diferentes movimientos, tanto programados como circunstanciales.
4. Programación inadecuada de la máquina. Existen distintos parámetros en la máquina que deben ser comprobados por el técnico y el operador. Estos parámetros, en caso de no ser los correctos según el producto que se esté corriendo, pueden afectar el rendimiento de la máquina. De este modo, aspectos como coordenadas para la colocación de piezas en el *pocket*, o calibración de la cámara pueden dificultar alistar la máquina para comenzar a producir.
5. Planificación inadecuada de las órdenes. Las órdenes de trabajo deben ser coordinadas correctamente por el Departamento de Producción, lo usual es que se corran lotes con características similares con el fin de que la máquina se detenga lo menos posible por *setup*; en caso de una mala programación, se deben realizar varios *setups* innecesarios al mes.

6. Personal no enfocado. Cuando se cuenta con el factor humano, es normal que la desatención en las tareas o exceso de confianza afecten el rendimiento de la persona, esto puede provocar que una tarea no se lleve a cabo de manera adecuada o se omitan pasos que pueden generar inconvenientes más adelante.
7. Falta de conocimiento técnico. El conocimiento técnico es indispensable para ejecutar intervenciones efectivas en la máquina. No obstante, las máquinas se desarrollan por la propia empresa o se diseñan para la empresa; en el caso de la máquina LSHM, esta es diseñada por la compañía, entonces no hay un manual o un historial en el que se pueda consultar por fallas específicas, pocos técnicos tienen el conocimiento para intervenciones complejas.
8. Falta de materia prima. En pocas ocasiones sucede la falta de materia prima, en especial por descuido o no asegurarse antes, es decir, se programa un *setup* y a la hora de colocar la materia prima en la máquina, los operarios se percatan de que no hay disponible o no se ha asignado y se debe realizar el pedido en ese momento, lo cual genera un gran atraso al proceso.
9. Falta de procesos definidos. En la actualidad existen instrucciones de cómo llevar a cabo los procesos de cambio entre lote y lote, sin embargo, estos no son específicos en varios aspectos, se omiten algunos pasos y/o no se encuentran actualizados a las necesidades de la máquina, y no se definen con claridad los pasos por seguir a la hora de efectuar el *setup*.
10. Rotación de personal. La rotación de personal es una constante en todas las empresas. Cuando se trata de una máquina que requiere el desarrollo de experiencia con el uso más que con formaciones de salón, es fundamental mantener al personal para que el traspaso de información, en caso de ascensos o traslados, sea más efectivo.
11. Fallos constantes en la máquina. La optimización de la máquina es clave para su funcionamiento adecuado. Si el *setup* no se realiza de manera adecuada, la máquina va a presentar fallos al activarse o, si su uso durante la corrida no es cuidadoso, puede generar complicaciones a la hora de ejecutarse las intervenciones por *setup*.

12. Atención tardía de *tickets*. La atención tardía de *tickets* puede darse por diferentes motivos y no es una constante: en ocasiones la atención puede ser inmediata, mientras en otras demorar varios minutos, esto depende de la carga de trabajo del departamento y el tipo de intervenciones.
13. Pedidos urgentes que afectan la planificación. Una de las ideologías de Samtec es la prioridad al servicio y la velocidad; por consiguiente, aunque ya estén programadas las asignaciones de la semana, es normal que surjan pedidos para entregarse en 3 días y se deba cambiar la planificación, interrumpiendo órdenes que se estén corriendo o aplazando las ya programadas.
14. *Setups* inadecuados. Para garantizar el funcionamiento correcto de la máquina, se debe asegurar que el *setup* se efectúe correctamente; al respecto, seguir los pasos definidos y tener orden resulta esencial para no omitir algún ajuste y regresar sobre los pasos ya realizados.
15. Recorridos excesivos. Las ubicaciones de los elementos necesarios para ejecutar las tareas son fundamentales con el propósito de evitar desplazamientos innecesarios y, por ende, incurrir en el uso inadecuado de espacios o mala manipulación, ya sea de materia prima o herramientas.

Una vez analizadas las posibles causas señaladas por los participantes, se distribuyen estas en un diagrama de Ishikawa, herramienta que permite crear una clasificación de las causas y la línea hacia el sector que presenta mayor afectación:

Figura 4.12: Diagrama de Ishikawa para el tiempo excesivo en changeover



Fuente: Elaboración propia, 2025.

De acuerdo con el diagrama de Ishikawa, las causas se clasifican según cada rama del mismo, como se expone a continuación:

- Máquina. Los fallos constantes en la máquina y la programación de la misma son los puntos indicados por los usuarios. Al ser una máquina, es normal que presente estos comportamientos, lo cual puede deberse a dos aspectos principales: fallos que impidan su uso o fallos que aparezcan en función de las intervenciones. Se debe descartar por completo que estos fallos sean ocasionados por intervención humana.
- Insumos. Antes de comenzar alguna tarea, se debe estar seguro de contar con lo necesario para ejecutarla; en caso contrario, se debe actuar con base en lo que se tiene; es un tema de planificación. Los departamentos involucrados en alimentar esta necesidad deben estar enterados de cualquier falencia existente, por lo tanto, la comunicación es indispensable en este aspecto.
- Humano. Los puntos acá señalados se refieren a la intervención humana en el proceso, desde la planificación previa que requiere de decisiones que podrían afectar el flujo de la máquina hasta la seguridad de que a la hora de ejecutar alguna tarea en la máquina se va a actuar con la competencia mínima para garantizar no generar atrasos o afectaciones en el desempeño de la máquina.
- Proceso. Los aspectos correspondientes al proceso sugieren deficiencias en este. Crear un proceso robusto es esencial para que este no dé espacio a dudas o salidas fáciles. Los procesos deben ser eficientes y adecuados al objetivo que justifica su creación. En el caso del *setup*, si este no es claro, las repercusiones pueden ser inmediatas, que afecten el *setup* en sí, o pueden ser progresivas, que generen problemas a lo largo de la corrida como un efecto de “bola de nieve”.

Analizado el diagrama de Ishikawa, se somete a votación con el fin de que los colaboradores que trabajan e intervienen en la máquina identifiquen, según su criterio, cuáles son las causas con mayor peso en cuanto al problema por analizar, a saber, el tiempo excesivo para el *changeover*.

4.3.2 Multivoto

Tabla 4.18: Votaciones

Tabla de multivoto	
A continuación se le brinda una lista de ideas que podrían estar generando el problema a analizar, por favor mediante el voto brinde un peso según su criterio a 5 opciones, en el orden que usted considere tenga mayor afectación, donde 5 representa la mayor afectación y 1 la menor afectación.	
Problema:	Tiempo excesivo para change over
Causa	Puntaje otorgado
1 Herramientas inadecuadas	
2 Falta de coordinación con área técnica	
3 Falta de personal técnico	
4 Programación inadecuada de la máquina	
5 Planificación inadecuada de órdenes	
6 Personal no enfocado	
7 Falta de conocimiento técnico	
8 Falta de materia prima	
9 Falta de procesos definidos	
10 Rotación de personal	
11 Fallos constantes en máquina	
12 Atención tardía de tickets	
13 Pedidos urgentes que afectan planificación	
14 Set up inadecuados	
15 Recorridos excesivos	

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Se colocan las 15 opciones del diagrama de Ishikawa y los votantes, de acuerdo con su criterio, les asignan puntajes según el grado de afectación al problema por analizar. Para esto, se eligen el operador, el técnico y el supervisor de cada turno; un total de nueve personas. Los resultados se aprecian en la siguiente tabla:

Tabla 4.19: Resumen de los resultados del multivoto

Causa	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	Total	Porcentaje	Porcentaje acumulado
1 Herramientas inadecuadas	3	1	3		4	4		4	2	21	16%	16%
2 Falta de coordinación con área técnica					1		1			2	1%	17%
3 Falta de personal técnico				1						1	1%	18%
4 Programación inadecuada de la máquina					2					2	1%	19%
5 Planificación inadecuada de órdenes				2						2	1%	21%
6 Personal no enfocado	2	2								4	3%	24%
7 Falta de conocimiento técnico			5							5	4%	27%
8 Falta de materia prima							2	5	5	12	9%	36%
9 Falta de procesos definidos	4	5	4		5	3	3	2	4	30	22%	59%
10 Rotación de personal				3						3	2%	61%
11 Fallos constantes en máquina					3					3	2%	63%
12 Atención tardía de tickets				4						4	3%	66%
13 Pedidos urgentes que afectan planificación						2				2	1%	67%
14 Set up inadecuados	5	4	2	5		5	4	3	3	31	23%	90%
15 Recorridos excesivos	1	3	1			1	5	1	1	13	10%	100%

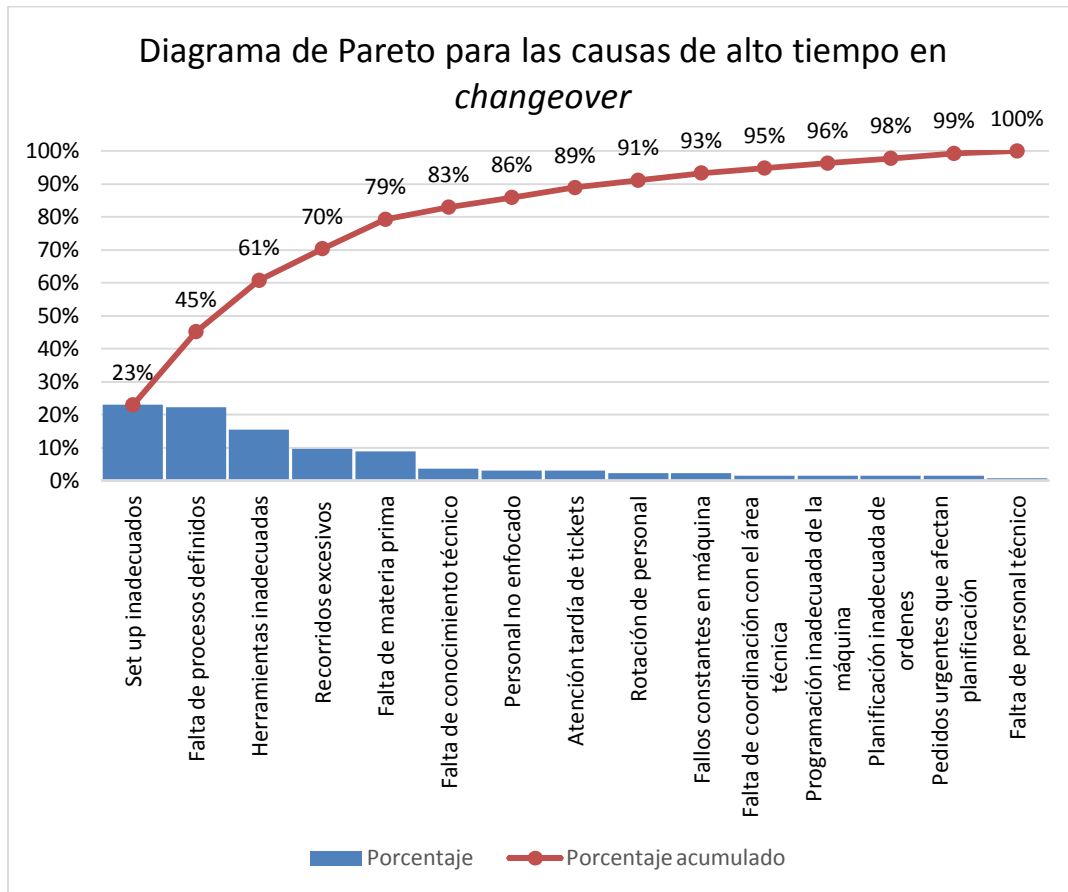
Fuente: Elaboración propia, 2025.

Finalizada la etapa de votación, se interpretan los resultados. De este modo, las causas correspondientes a *setups* inadecuados y falta de procesos definidos encabezan la puntuación con un 23 % y 22 % respectivamente. Estos aspectos se relacionan directamente al hacer referencia a que el *setup* no se encuentra optimizado como proceso.

Seguido de estas, herramientas inadecuadas se ubica en tercer lugar con un 16 % de los votos totales, pues las herramientas a mano muchas veces no son las más adecuadas para ejecutar las tareas del *setup*. Luego, en cuarto y quinto lugar, con una diferencia de un 1 %, se encuentran recorridos excesivos con un 10 % y falta de materia prima con un 9 %, causas orientadas al manejo de materia prima, lo cual es un aspecto relevante a la hora de preparar una corrida de producción. Los demás puntos no representan un peso significativo en la votación, al tener porcentajes menores al 4 % cada uno, incluso es muy probable que mejoren su condición al atenderse las causas más fuertes.

4.3.3 Diagrama de Pareto

Figura 4.13: Diagrama de Pareto para las causas de alto tiempo en *changeover*



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Como se observa de manera preliminar en los resultados de la votación, estos son los aspectos que entran en el 80/20 de la relación graficada en el diagrama de Pareto:

- *Setups* inadecuados. Los esfuerzos se deben orientar en encontrar la forma de mejorar la eficiencia del *setup*, que no solo brinde una mayor seguridad, sino que también se simplifique su ejecución, sin dejar de lado su efectividad.
- Falta de procesos definidos. Este aspecto va de la mano con el anterior. Al establecer y estandarizar el proceso de *setup*, todos pueden trabajar en una misma línea y, en caso de experimentarse algún inconveniente, identificar las causas gracias a que se trabaja en orden.

- Herramientas inadecuadas. Este aspecto indica que entre las implementaciones se debe considerar que las herramientas utilizadas por quienes participan en el proceso de *setup* les permitan realizar sus tareas de la manera más sencilla, además de buscar garantizar la disponibilidad de estas siempre que se lleve a cabo el procedimiento.
- Recorridos excesivos. Se debe efectuar un análisis de cómo disminuir el recorrido de los asociados durante la ejecución del *setup*, al prestar atención al orden de las tareas y a la ubicación de los insumos.
- Falta de materia prima. A pesar de no ser un problema constante, los votantes consideran que la disponibilidad de la materia prima es clave para que el proceso fluya de forma óptima.

CAPÍTULO V. PROPUESTA

5.1 MEJORAR

En el capítulo 4 se determina que la mayor causa de tiempo *down* en la máquina LSHM MPP ocurre por *setup*. Al analizar este proceso, se identifican las causas principales, entre estas, las de mayor relevancia son: *setups* inadecuados y falta de procesos definidos. Por esta razón, la primera propuesta se orienta a mejorar la eficiencia del proceso de *changeover*, continuando así con la siguiente etapa del SMED.

5.1.1 Propuesta 1. Implementación de SMED

La primera propuesta brinda los lineamientos que permiten poner en marcha la metodología SMED, cuyo fin es reducir el tiempo utilizado al realizar el cambio entre órdenes, lotes o tipos de producto.

5.1.1.1 Segunda etapa del SMED

En esta etapa se efectúa un análisis de las tareas del *setup*, clasificándolas como externas e internas, con el fin de establecer si es posible convertir tareas internas en internas. Para una mayor comprensión, a continuación se facilita una breve explicación de la diferencia entre estas:

- Tareas internas. Son todas aquellas que para llevarse a cabo se debe detener la máquina por completo. Estas tareas no pueden hacerse con la máquina trabajando ya que podrían afectar el producto, además de generar un peligro hacia quien opera la máquina y quien ejecuta la tarea de cambio.
- Tareas externas. Son todas aquellas tareas que se pueden ejecutar sin necesidad de interrumpir el proceso productivo y son afectadas por el funcionamiento de la máquina.

Una vez entendida la diferencia entre tareas internas y tareas externas, se clasifica cada una de las tareas ya conocidas del proceso de *setup* analizado en el capítulo 4:

Tabla 5.1: Clasificación de tareas

Tareas Operario	Interna	Externa
Ingresar ticket		X
Cambiar Pocket	X	
Recoger Bodies		X
Colocar reel pocket	X	
Colocar cinta pocket	X	
Ajuste Kdot	X	
Desinstalar reel	X	
Ajustar reel	X	
Montar Reel	X	
Tareas Técnico		
Se asigna ticket		X
Seleccionar tooling		X
Cambio tooling estación bodies	X	
Cambio estación de fill	X	
Cambio de 3 pallet	X	
Corre fill	X	
Cambio de 2 pallet	X	
Cambio de pallet load height	X	
Cambiar nido transferencia	X	
Ajuste piston de desecho	X	

Fuente: Elaboración propia, 2025.

De acuerdo con la tabla anterior, tan solo 4 de las tareas actuales se pueden realizar sin detener la máquina, lo cual implica un desbalance de tareas, pues esto indica que detener la máquina es indispensable para ejecutar el *setup*; por esta razón, se lleva a cabo una reunión con el encargado del Área de Mantenimiento y el técnico que interviene la máquina.

Reunión inicial

Se programa una reunión donde se invita al encargado de mantenimiento y al técnico que interviene la máquina y el resultado es el siguiente:

Organizador de la reunión

- Gerardo Anchía.

Invitados a la reunión

- Miguel Jiménez, jefe de mantenimiento.
- Javier Rojas, técnico a cargo de la máquina LSHM MPP.

Lugar

- Sala Sámara.

Puntos importantes de la reunión

- Se determina que no es posible convertir tareas internas en externas porque todas requieren abrir las guardas de seguridad y esto automáticamente detiene la máquina.
- Existen tareas del técnico que se le pueden asignar al operario para aprovechar el tiempo que se mantiene desocupado durante el proceso de *setup*.
- Se establece que el cambio de *pallets* es una tarea sencilla y puede asignarse al operario.

A partir de la reunión con el área técnica, se plantea que la mejor opción es orientar la propuesta hacia la división de tareas de manera más equitativa. Asimismo, luego de analizar el proceso actual, se modifica el diagrama comparativo desarrollado en el capítulo 4 con las modificaciones propuestas:

Tabla 5.2: Propuesta de distribución de las tareas en el proceso de setup de la máquina LSHM MPP

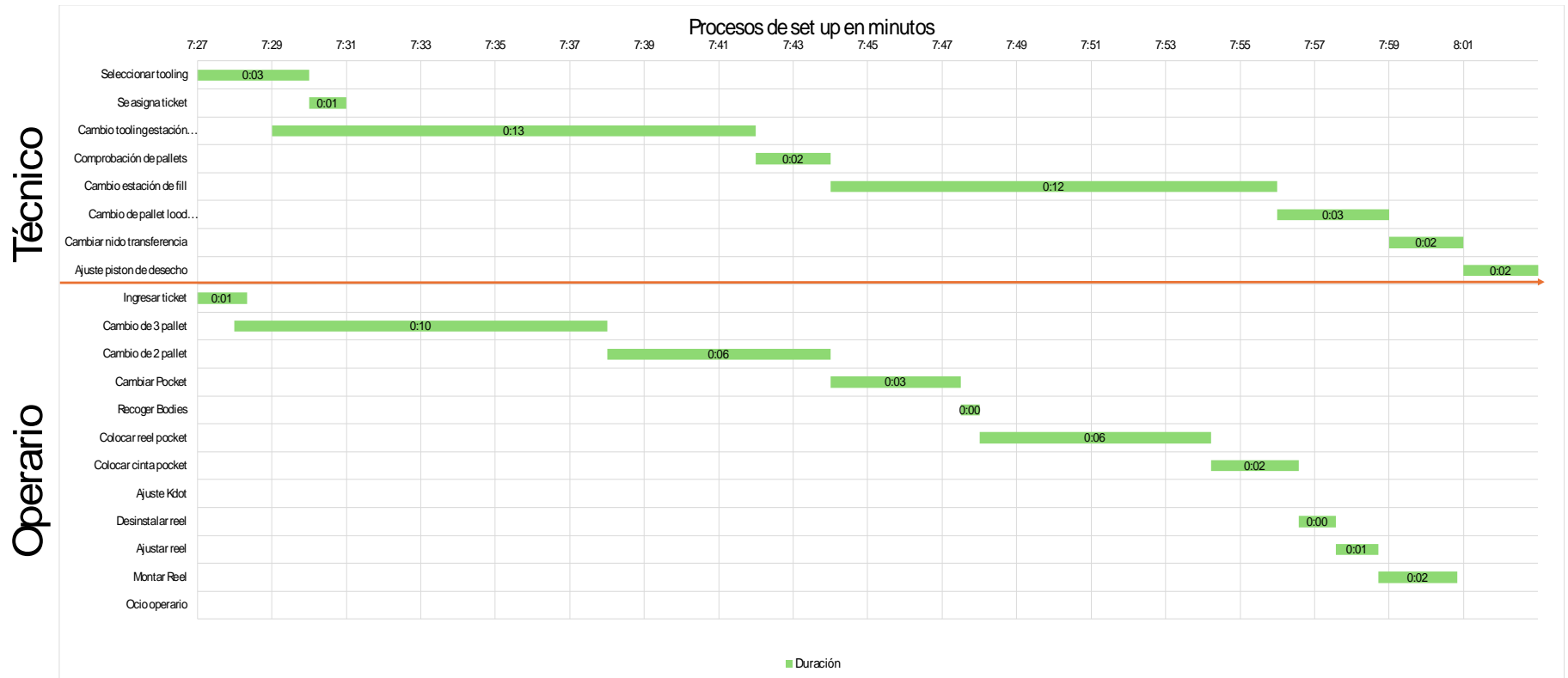
Tareas operario	Tareas técnico
Ingresar ticket	Duración
Cambio de 3 pallet	Seleccionar tooling
Cambio de 2 pallet	Se asigna ticket
Cambiar Pocket	Cambio tooling estación bodies
Recoger Bodies	Comprobación de pallets
Colocar reel pocket	Cambio estación de fill
Colocar cinta pocket	Cambio de pallet load height
Ajuste Kdot	Cambiar nido transferencia
Desinstalar reel	Ajuste piston de desecho
Ajustar reel	
Montar Reel	

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Como se observa en la tabla anterior, los pasos relacionados con el cambio de *pallets* se transfieren al operario, de esta forma se consigue un mejor equilibrio de tareas entre el operario y el técnico.

Para una mejor percepción de la distribución de tareas, se modifica el diagrama de distribución de tareas recopilado en el capítulo 4:

Figura 5.1: Diagrama comparativo de la propuesta para la distribución de tareas de los procesos de setup



Fuente: Elaboración propia, 2025.

De acuerdo con el diagrama propuesto, al mover el proceso de cambio de *pallets* del técnico al operario, el tiempo baja de modo considerable a aproximadamente un 50 %, considerando un proceso de *setup* limpio.

En cuanto al proceso de formación del operario, no es necesario utilizar tiempo extra ya que el operador emplea el tiempo libre durante el proceso de *setup* para realizar los pasos de cambio, siendo guiado por el técnico hasta lograr los cambios sin la necesidad de ser controlado durante el proceso.

Implementado por completo el cambio de asignación de tareas entre el operario y el técnico, se proyecta una mayor disponibilidad de la máquina y se mejora la capacidad productiva:

Tabla 5.3: Comparativa del tiempo actual con el tiempo de la propuesta

Tiempo actual de proceso limpio (h)	Tiempo propuesto de proceso limpio (h)	Mejora
1:02	0:34	45%

Fuente: Elaboración propia, 2025

Según la tabla anterior, el proceso actual en una ejecución limpia se demora 1:02 h, pero con el método propuesto se reduce el tiempo en un 45 %, al llegar a los 34 min durante una ejecución del proceso sin inconvenientes. Si se implementa la propuesta por completo, se percibiría una gran mejora en la eficiencia del proceso, por ende, una gran mejoría en la disponibilidad de la máquina.

5.1.1.1.1 Ejecución del plan piloto

Se propone ejecutar un plan piloto solo en el turno 1, los principales aspectos se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 5.4: Plan piloto para la primera propuesta

Plan piloto	
Director del proyecto:	Gerardo Anchía Rojas
Nombre de proyecto:	Implementacion de propuesta para reducir el tiempo de change over en la máquina LSHM MPP
Objetivo:	Reducir el tiempo del set up cambiando la distribucion de tareas
Alcance:	Seguimiento de cuatro semanas, a los set up realizados en turno 1
Métricas:	Tiempo consumido en proceso de set up, cantidad de set up durante el mes de noviembre
Recursos:	Maquina de LSHM MPP, operador de máquina, técnico a cargo de la máquina
Resultados esperados:	Validar si la modificacion en la distribución de tareas

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Durante el mes de noviembre 2024, se realiza un acompañamiento presencial a los *setups* hechos a la máquina LSHM MPP en el turno 1. Antes de comenzar, se les brindan indicaciones tanto al operario como al técnico sobre cómo se va a trabajar la distribución de tareas.

Tabla 5.5: Seguimiento del técnico al operario durante el plan piloto

Detalle del seguimiento del técnico al operario	
Acompañamiento del técnico durante el cambio de <i>pallets</i>	Primeros 3 <i>setups</i>
Comprobación del técnico al final del cambio de <i>pallets</i>	Siguientes <i>setups</i> hasta acabar el plan piloto

Fuente: Elaboración propia, 2025.

A lo largo de los primeros 3 *setups* del mes de ejecución del plan piloto en el turno 1, el técnico va a estar al lado del operario brindándole indicaciones y explicándole qué hacer. A partir de ahí, las comprobaciones del técnico son posteriores a completada la tarea de cambio de *pallets*, de esta manera el técnico puede seguir llevando a cabo las labores de cambio de componentes en las estaciones 1 y 2, al mismo tiempo que el

operario efectúa el cambio de *pallets*, tal y como se propone en el diagrama de tareas de la propuesta.

5.1.1.1.2 Resultados del plan piloto

Finalizado el mes de ejecución del plan piloto, se recopilan datos con el fin de medir el impacto que los cambios propuestos hayan generado en las métricas del tiempo de duración.

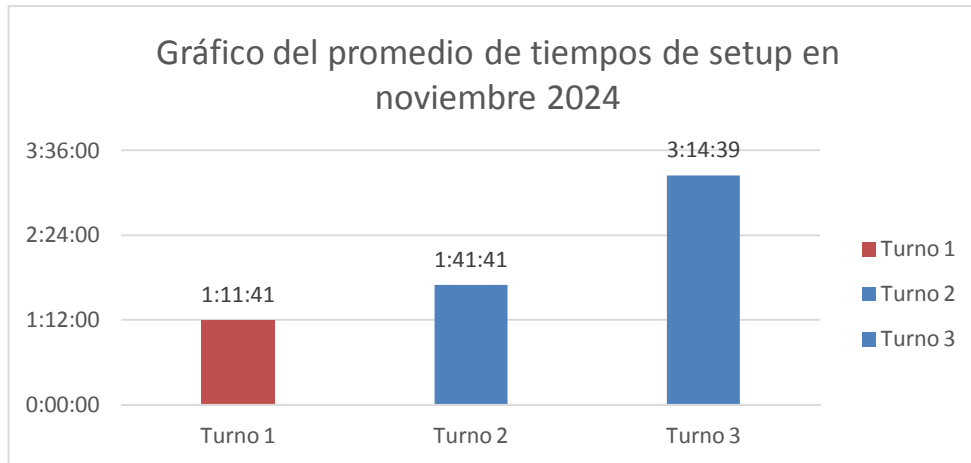
Tabla 5.6: Análisis de noviembre 2024

#	Fecha	Tiempo to	Tipo de se	Turno
1	4/11/2024	2:51:12	Estilo	Turno 3
2	6/11/2024	1:04:11	Posiciones	Turno 1
3	6/11/2024	1:46:46	Estilo	Turno 1
4	9/11/2024	0:57:00	Estilo	Turno 1
5	11/11/2024	2:17:27	Estilo	Turno 2
6	12/11/2024	1:03:23	Posiciones	Turno 1
7	14/11/2024	1:13:02	Estilo	Turno 1
8	15/11/2024	0:56:45	Estilo	Turno 1
9	15/11/2024	1:28:55	Estilo	Turno 1
10	16/11/2024	2:08:23	Posiciones	Turno 2
11	18/11/2024	1:03:29	Estilo	Turno 1
12	20/11/2024	3:38:06	Estilo	Turno 3
		1:42:23		

Fuente: Elaboración propia, 2025.

En la tabla anterior se observan en color naranja los *setups* completados en el turno 1 y en celeste los *setups* realizados en los turnos 2 y 3, los cuales se efectúan sin ninguna modificación. El tiempo más alto en los *setups* del turno 1 ocurre en los primeros tres de entrenamiento; posterior a esto, el tiempo mejora y se percibe bastante mejor en comparación con los otros dos turnos.

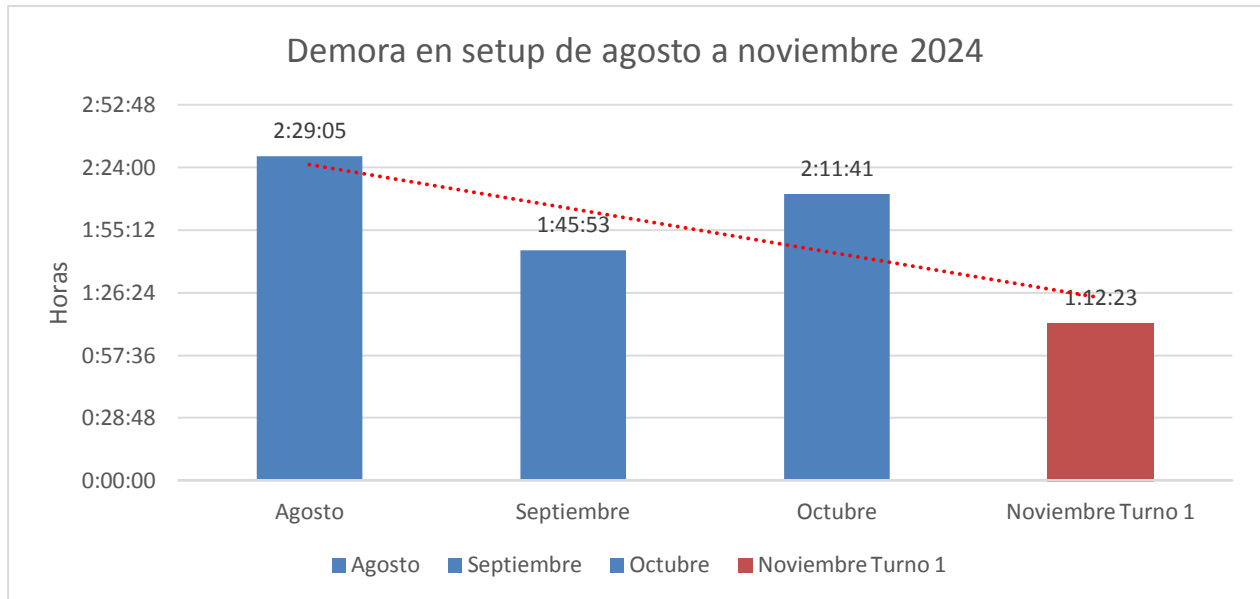
Figura 5.2: Gráfico del promedio de tiempos de setup en noviembre 2024



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Al apreciarse de manera gráfica la comparación a final del mes de la prueba, se comprende mejor que el tiempo promedio de *setup* del turno 1 es menor al tiempo de ejecución normal de *setup*. Por consiguiente, al distribuir las tareas, se pueden alcanzar cifras mucho más manejables para el Departamento de Producción, porque se mejora la disponibilidad de la máquina al pasar menos tiempo *down* por motivo de *setup*.

Figura 5.3: Gráfica comparativa del tiempo en setup de agosto a noviembre de 2024



Fuente: Elaboración propia, 2025.

En la gráfica anterior, se observa la diferencia del tiempo invertido en meses anteriores en cuanto al proceso de *setup*. Así, al compararse los meses de agosto a octubre de 2024 con los resultados obtenidos en el turno 1 durante el mes de noviembre 2024, periodo en el cual se ejecuta el plan piloto de la primera propuesta, se determina que conforme los colaboradores se adaptan al nuevo proceso y adquieren la práctica requerida, el tiempo va a mejorar. Esto no solo se refleja en la disponibilidad de la máquina, sino también en el monto que la empresa deja de percibir cada vez que la máquina en cuestión se encuentra de baja.

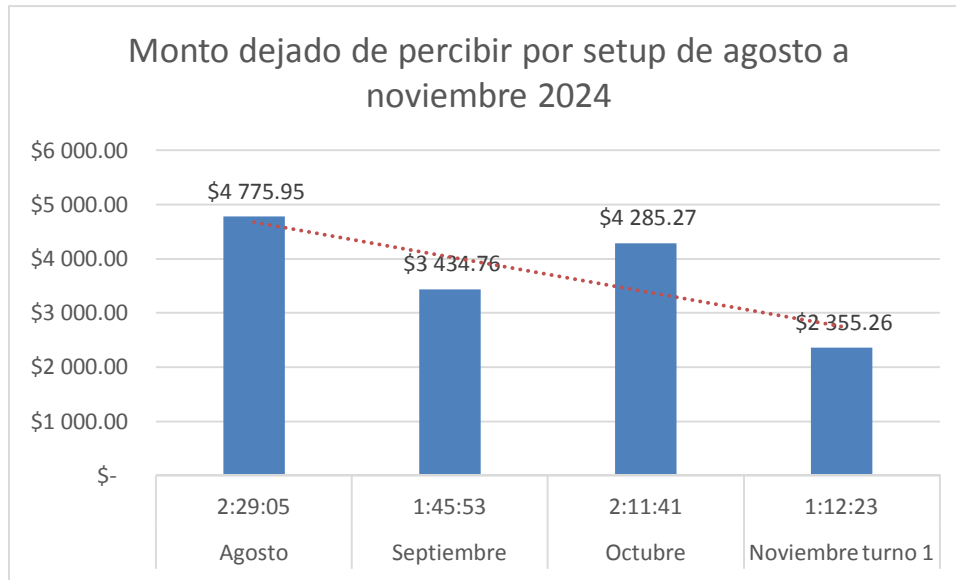
Tabla 5.7: Monto dejado de percibir por el tiempo de setup de agosto a noviembre de 2024

	Demora en set up	Monto
Agosto	2:29:05	\$ 4 775,95
Septiembre	1:45:53	\$ 3 434,76
Octubre	2:11:41	\$ 4 285,27
Noviembre turno 1	1:12:23	\$ 2 355,26

Fuente: Elaboración propia, 2025.

De acuerdo con la tabla anterior, el monto que se deja de percibir cada vez que se realiza un *setup* en agosto 2024 es de \$ 4775.95, en septiembre 2024 mejora un poco al bajar la cifra a \$ 3434.76, en agosto 2024 vuelve a subir a \$ 4285.53 y durante el mes de ejecución del plan piloto, cuando se interviene sobre el proceso de *setup*, el monto dejado de percibir por cada *setup* es de \$ 2355.26, la mejor cifra de los cuatro meses; por ende, se demuestra el beneficio que la implementación total puede aportar.

Figura 5.4: Gráfica del monto dejado de percibir por setup de agosto a noviembre de 2024



Fuente: Elaboración propia, 2025.

En la figura anterior, la línea de tendencia muestra una gran mejoría si se comparan los *setups* del mes de noviembre 2024 en el turno 1 con el promedio de los meses anteriores. Si se implementa totalmente el monto dejado de percibir, disminuiría aún más que los primeros valores obtenidos.

5.1.1.2 Tercera etapa del SMED

La tercera etapa del SMED consiste en estandarizar los procesos. Por lo tanto, esta propuesta se enfoca en el flujo que se recomienda seguir para cumplir con un eficiente proceso de *changeover*. Seguirlo y respetarlo es fundamental para que el proceso mantenga la línea de mejoría percibida con la primera propuesta.

5.1.1.2.1 Diagramas de flujo del técnico

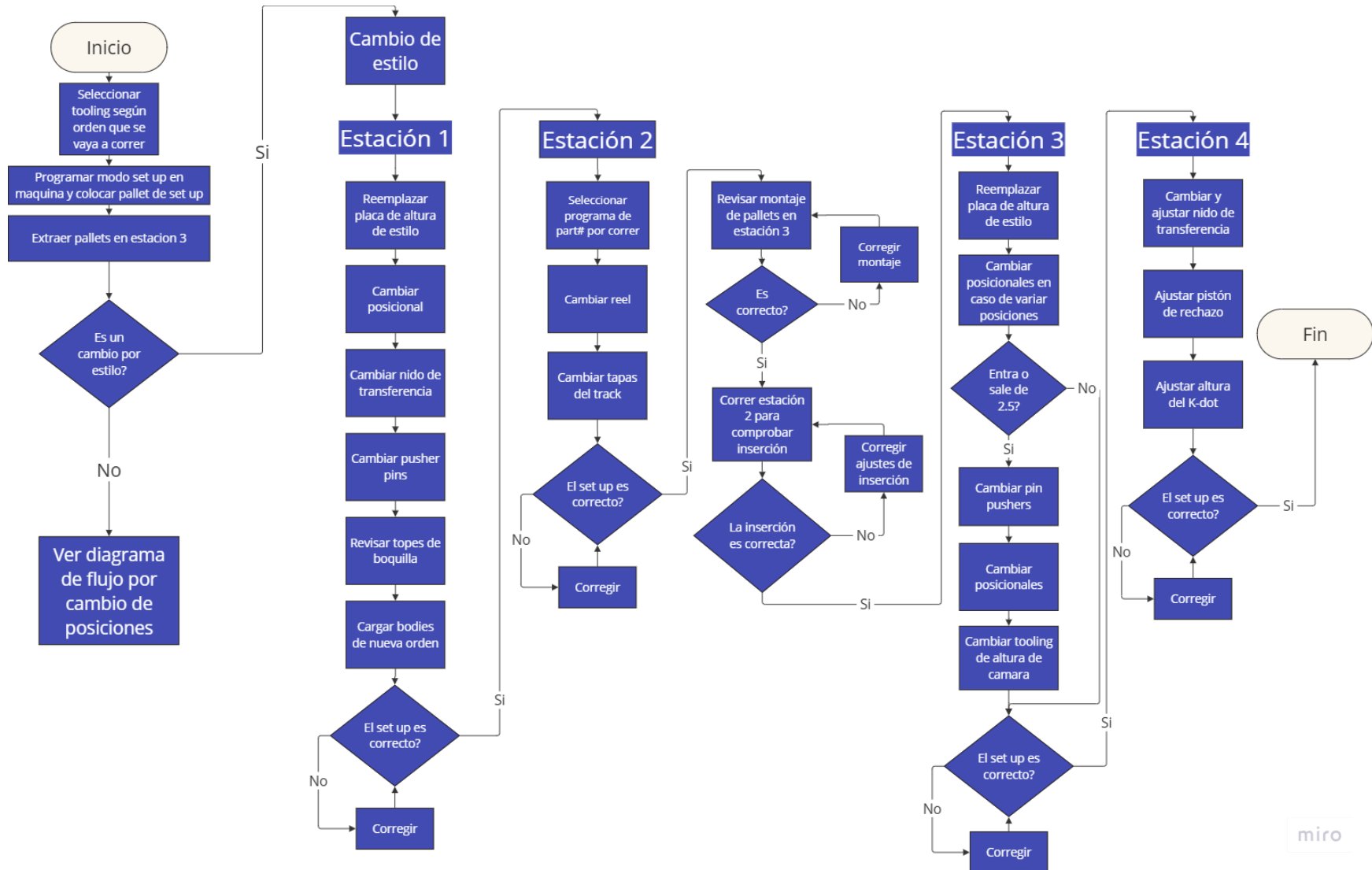
Respecto a la máquina LSHM MPP, existen dos tipos de *setup*: el cambio por el estilo del conector y el cambio por el número de posiciones de los pines en el conector; estos varían entre sí por una serie de características propias de cada número de parte.

La diferencia en el tipo de *setup* sucede por el tipo de intervenciones hechas. En el cambio por estilo, el cual es el cambio más largo, se realizan más cambios de

componentes en cada estación de la máquina, a diferencia del cambio por posiciones, que en su mayor parte son cambios en programación y ajustes en la máquina.

A continuación, se expone el diagrama por cambio de estilo para las tareas del técnico:

Figura 5.5: Diagrama de flujo por cambio de estilo para el técnico



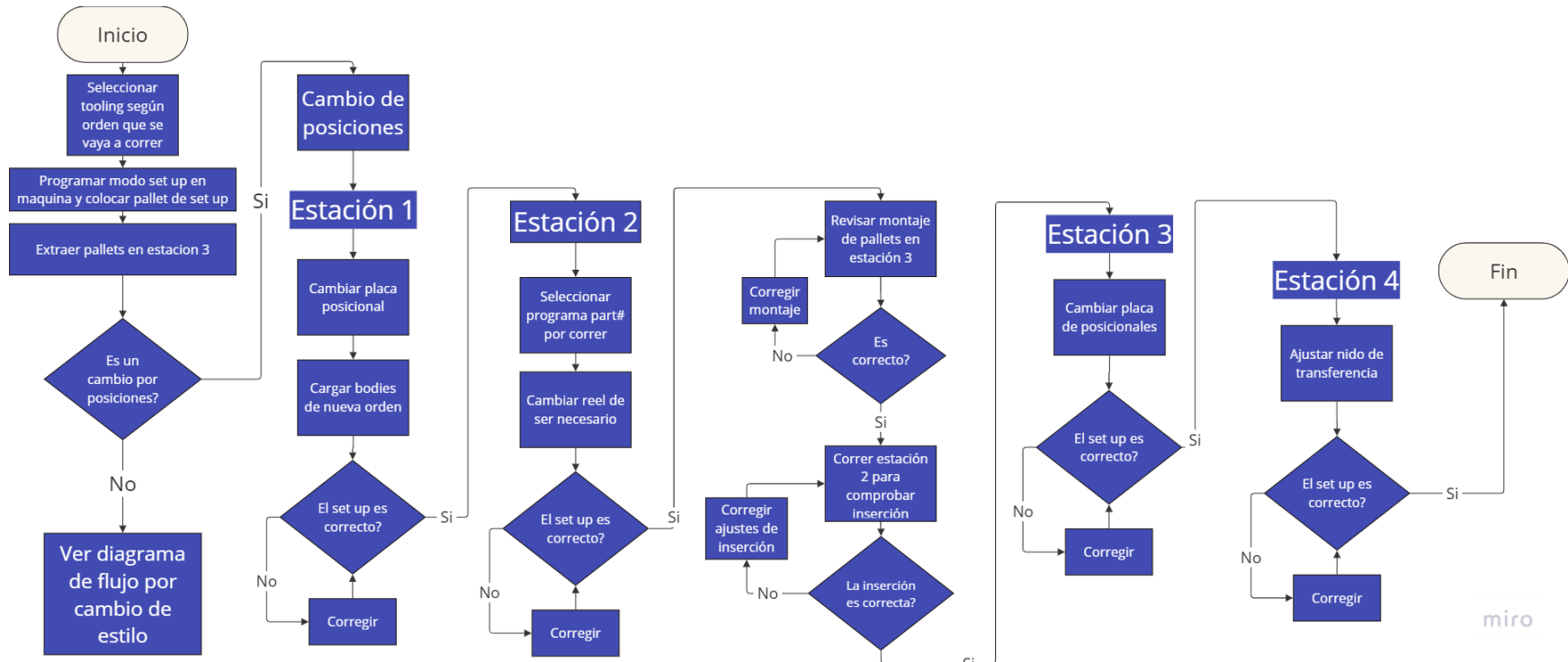
Fuente: Elaboración propia, 2025.

El diagrama anterior se divide en 5 secciones principales que guían al técnico paso a paso para completar el *setup* correctamente, estas secciones son:

- Sección preliminar: el técnico selecciona las herramientas necesarias para llevar a cabo el *setup*. Extrae los *pallets* en la estación 3 para que sean cambiados por el operario según se propone en la etapa 2 del SMED. Posterior a esto, el técnico avanza de acuerdo con el tipo de *setup* por realizar.
- Sección 1. La sección 1 muestra el paso a paso para ejecutar los cambios en la estación 1, que es la estación de *bodies*. Así, se efectúan ajustes al brazo robótico y se cambian los componentes encargados de transportar las piezas hasta la siguiente estación. Posterior a esto, se cargan los *bodies* de la nueva orden y se hace una comprobación del trabajo realizado.
- Sección 2. La sección 2 se enfoca en la estación de inserción, en esta se debe elegir el programa de una lista de recetas previamente cargadas que brindan los parámetros para efectuar la inserción de los pines en el conector. Se deben cambiar los componentes que varían según el estilo del conector por trabajar, también se cambia el *reel* de pines y se lleva a cabo una comprobación del trabajo hecho.
- Sección 2.5. Antes de comenzar los cambios en la estación 3, el operario realiza los cambios de los *pallets* y el técnico comprueba el trabajo desarrollado por el operario, con el fin de asegurarse que todo esté bien.
- Sección 3. En la sección 3, el técnico ejecuta los cambios referentes a la estación 3. De esta forma, se deben reemplazar los componentes que realizan la inspección de los conectores, lo cual depende de si se está entrando o saliendo del estilo 2.5, ya que este presenta características particulares en comparación con otros estilos. En ese caso, se debe completar un par de pasos adicionales que incluyen el cambio de componentes; posterior a esto, se lleva a cabo una comprobación del trabajo hecho.
- Sección 4. En la estación de empaque se efectúan ajustes referentes a los componentes encargados del transporte de los conectores, además del pistón de rechazo encargado de descartar las piezas que no superan las comprobaciones

de la estación 3. Se desarrolla una comprobación final del trabajo realizado y, de ser todo correcto, se finaliza el proceso.

Figura 5.6: Diagrama de flujo por cambio de posiciones para el técnico



Fuente: Elaboración propia, 2025.

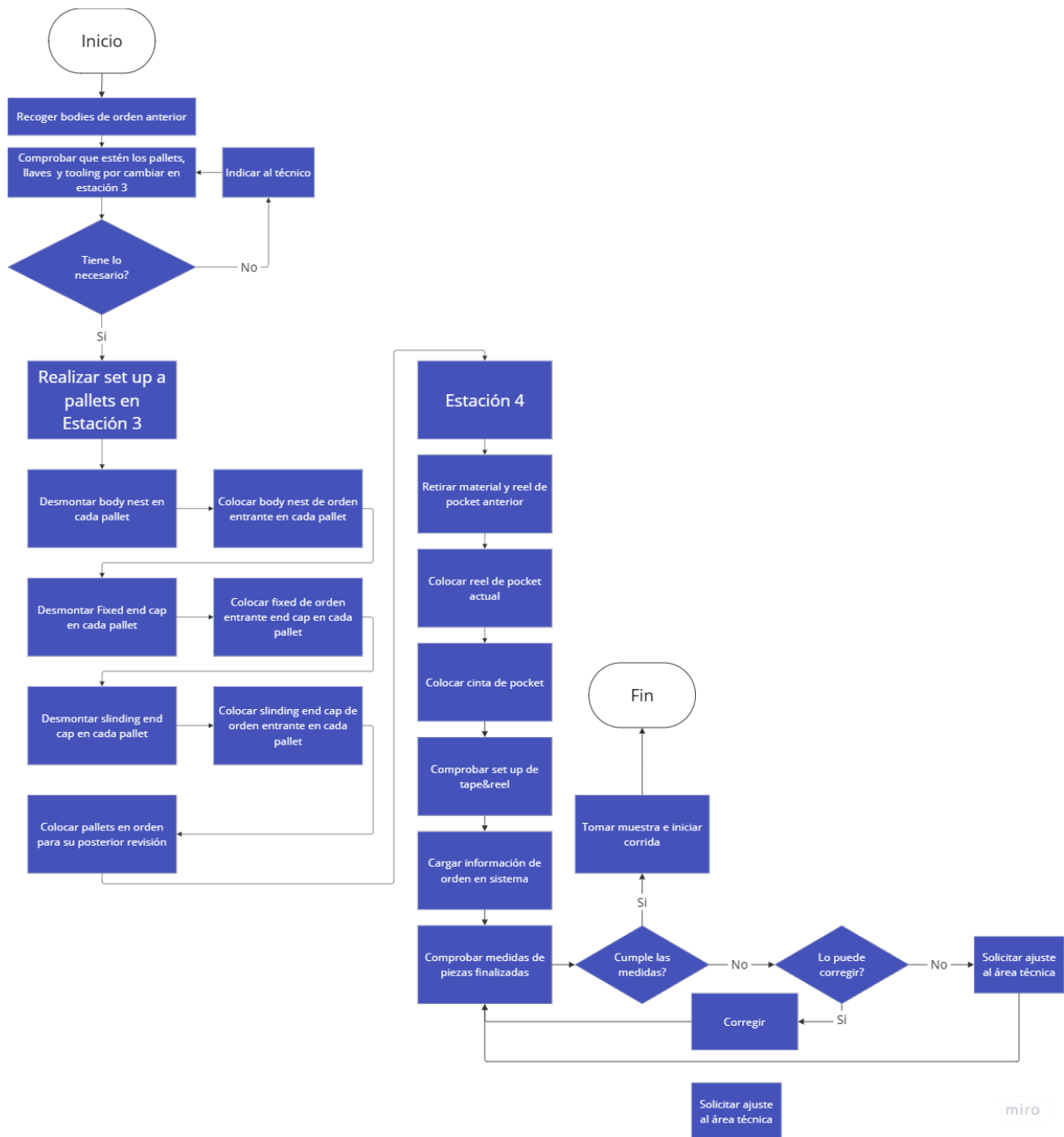
El diagrama de flujo anterior muestra el paso a paso correspondiente al proceso de *setup* cuando se lleva a cabo un cambio de posiciones. Como se observa, son menos intervenciones en comparación con el cambio por estilo, ya que en su mayoría las características varían según las dimensiones y no por cantidad de pines.

- Sección preliminar. Al igual que en el diagrama anterior, el técnico prepara las herramientas necesarias para iniciar el *setup*, así como la máquina para este proceso.
- Sección 1. En la sección 1 se realiza un solo cambio determinado por la altura del *body* por trabajar; de esta manera, se cambian los *bodies* por los que se van a trabajar a continuación y se comprueba el trabajo hecho.
- Sección 2. En la sección se efectúa la programación de la estación de inserción, esta no requiere ningún cambio de componentes a menos que sea necesario cambiar el *reel* de pines por cantidad.
- Sección 2.5. En este paso el técnico compara los *pallets* cambiados por el operario. En caso de que todo esté bien, procede con los ajustes de la estación 3, pero en caso contrario realiza las correcciones pertinentes.
- Sección 3. En la sección 4 se lleva a cabo el cambio de la placa de posicionales al igual que en la estación 1; posterior a esto, se comprueba que todo esté bien.
- Sección 4. En la estación de empaque, solo se ajusta el nido encargado de transportar las piezas para su empaque final, se comprueba que todo esté bien y se finaliza el proceso.

5.1.1.2.2 Diagrama de flujo del operario

El diagrama de flujo del operario no distingue entre *setups* por estilo o por posiciones, ya que las tareas son las mismas. En cuanto a la propuesta de distribuir las tareas de manera equitativa expuesta en este capítulo, los cambios en los *pallets* requieren de los mismos pasos y se desmontan los mismos componentes en ambos tipos de *setup*; por esta razón, solo se crea un diagrama de flujo.

Figura 5.7: Diagrama de flujo del operario



Fuente: Elaboración propia, 2025.

El diagrama de flujo anterior básicamente se resume en dos secciones, una orientada al cambio de *pallets* y la otra a las tareas de cambio de la estación de empaque.

- Sección preliminar. El operario comprueba que el técnico alista las herramientas necesarias para realizar el cambio de *pallets* y que estos se encuentran listos para ser intervenidos.
- Sección 1. El operario ejecuta el cambio en los *pallets*, respetando el paso a paso según se indica en el diagrama, con el propósito de que sea un proceso lo más posible controlado para detectar si se omite algún paso. Al final de este proceso, el técnico comprueba el trabajo hecho por el operador.
- Sección 2. Se desarrollan las intervenciones de la estación de empaque enfocadas en retirar el material sobrante de la orden anterior y colocar los materiales por utilizar en la orden por correr. Finalizado el *setup*, una vez que se comienza a correr la máquina, se toma una muestra y se le comprueban las dimensiones. Si estas cumplen correctamente, se prosigue con la corrida; en caso contrario, se debe hacer la solicitud al área técnica para llevar a cabo las correcciones pertinentes.

Al contar con estos diagramas de flujo, tanto el técnico como el operario tienen una guía clara del paso a paso para completar de manera eficiente el proceso de *setup*. Una característica importante de los diagramas de flujo es que aparte de ser una herramienta muy visual, también se pueden adaptar con facilidad a los cambios. Si se toma en cuenta que la empresa compite constantemente en el mercado, el tener herramientas que brinden flexibilidad es fundamental.

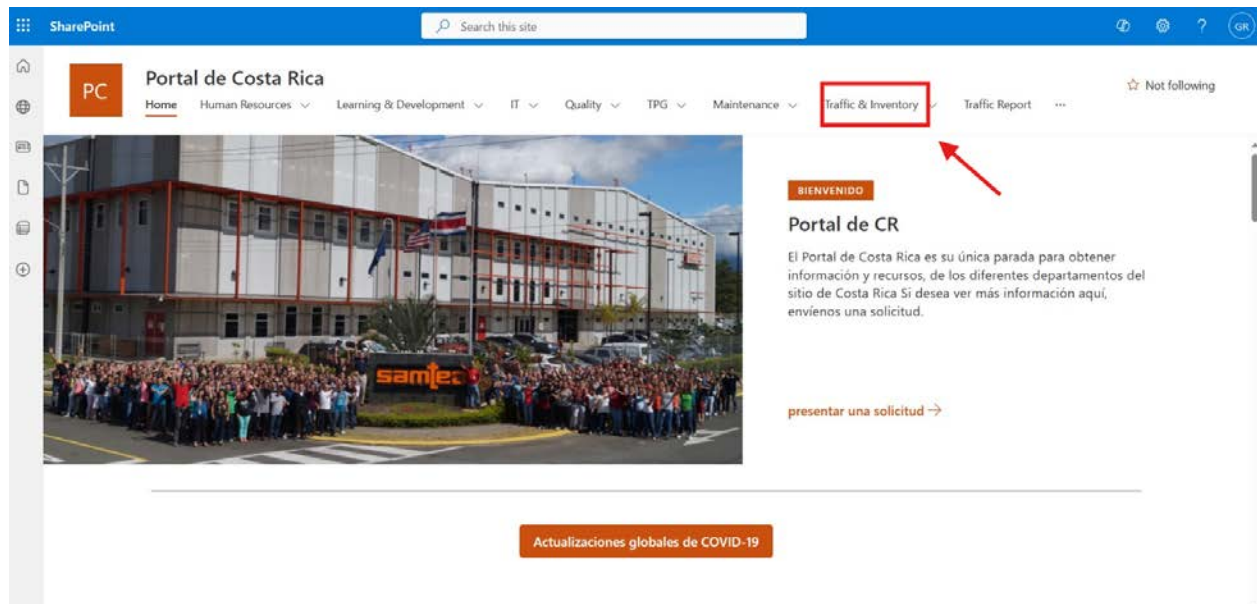
5.1.2 Propuesta 2. Segundo estante de materia prima

La segunda propuesta se enfoca en atender los puntos ubicados en las posiciones 2 y 3 durante el proceso de multivoto del capítulo 4, a saber: falta de materia prima y recorridos excesivos. Para atender estos aspectos, se propone realizar un pequeño cambio con la intención de reducir principalmente los desplazamientos del técnico. Esta propuesta se trata de colocar un estante adicional de materia prima al lado de la estación 1, en este estante se colocan los insumos de las estaciones 1 y 2. Por consiguiente, es necesario mover un estante de bodega a la ubicación de la máquina LSHM MPP.

De este modo, inicialmente se debe llenar un *ticket* en el que se solicita el desplazamiento del estante de su ubicación actual a la deseada. Al respecto, se deben seguir los siguientes pasos para completar la acción:

1. Primero, se ingresa al portal del *share point* desde el escritorio de cualquier computadora de la empresa.
2. Una vez abierto el portal, se selecciona la pestaña de “Traffic Inventory”.

Figura 5.8: Pasos para solicitar el movimiento de activos



Fuente: Portal SGN, 2025.

3. Abierta la pestaña de “Traffic Inventory”, se selecciona el tipo de movimiento, que en este caso es un movimiento interno; luego, se le da clic al botón de “Ingresar dispositivos”.

Figura 5.9: Pasos para solicitar el movimiento de activos



Fuente: Portal SGN, 2025.

4. Por último, se ingresan los datos del número de activo del estante, el nombre del artículo, la ubicación actual y la ubicación a donde se requiere mover. Luego de ingresar esta información, se selecciona al gerente que autoriza el movimiento y se envía la solicitud como paso final.

Figura 5.10: Pasos para solicitar el movimiento de activos

The screenshot shows a web interface for 'Movimiento de Activo Interno'. The top header features the SAMJEC logo and the title. The main form area is divided into several sections. On the left, there are four input fields: '#Placa/Etiqueta', 'Descripcion del Artículo', 'Ubicacion Actual' (with a dropdown menu showing 'CR-ADM'), and 'Nueva Ubicacion' (with a dropdown menu showing 'CR-ADM'). To the right of these fields are two buttons: '+ Agregar Línea' and 'Limpiar campos'. On the far right, there is a section for 'Persona que autoriza el movimiento (Gerente de Area)' with a 'Seleccionar Gerente' button. Below this is a 'Comentarios' section with a text area. At the bottom of the form, there are two buttons: 'Atras' and 'Enviar'.

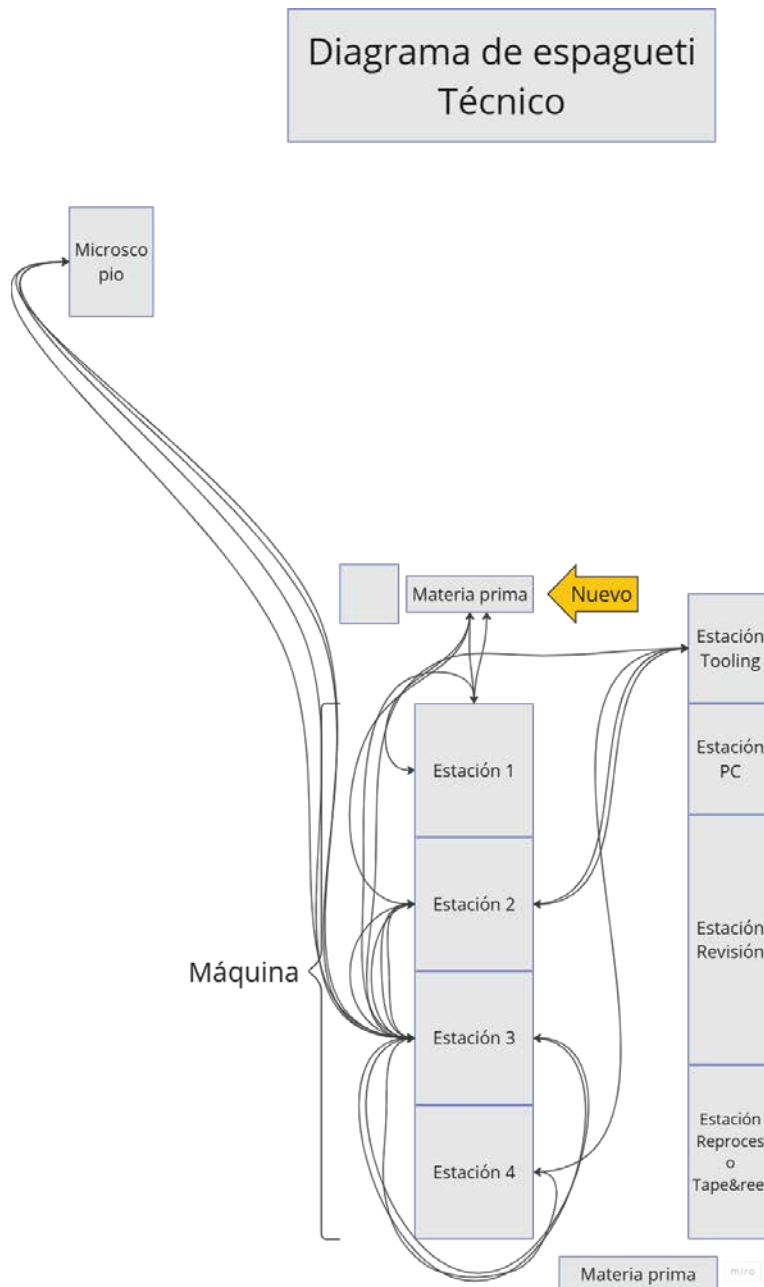
Fuente: Portal SGN, 2025.

Después de efectuar el traslado del estante a la localización solicitada, deja de ser necesario que el técnico se traslade hasta el estante de materia prima actual, pues el estante solicitado cuenta con 4 niveles, los cuales se utilizan de la siguiente manera:

- Nivel superior. En este nivel se ubican los *bodies* de la orden que se trabaja en un momento específico, estos se diferencian de los otros *bodies* para evitar confusiones.
- Segundo nivel. En este estante se colocan los *bodies* de órdenes que no se estén trabajando activamente en la máquina; es decir, son órdenes futuras que están en el plan de producción de la máquina.
- Tercer y cuarto niveles. En estos niveles se ubican los *reels* de pines ya que son más grandes y, por ende, ocupan un mayor espacio.

Al existir la posibilidad de contar con el estante adicional de materia prima, se propone un nuevo diagrama de recorrido:

Figura 5.11: Diagrama de recorrido para la propuesta del estante adicional de materia prima



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Por medio de esta propuesta del estante ubicado cerca del punto donde el técnico realiza la mayor cantidad de desplazamientos, se reducen considerablemente los mismos y disminuyen las probabilidades de que al transportar la materia prima ocurra alguna situación de confusión con las órdenes.

Además, tener más espacio de almacenamiento cerca de la máquina le permite al Departamento de Producción solicitar la materia prima de las siguientes órdenes con anticipación sin generarse una confusión porque se señalizan debidamente.

Como se observa en el diagrama de recorrido propuesto, el técnico ya no debe realizar recorridos excesivos, sus desplazamientos se centran entre las estaciones 1 y 3.

5.1.2.1 Implementación de la propuesta

Para la implementación de la presente propuesta, se realiza la solicitud del estante al equipo de facilidades por medio de un *ticket* de solicitud de movimiento de activos. Tal como se muestra en la propuesta, se siguen los pasos para llenar el formulario; ahora bien, el paso final se aprecia en la siguiente imagen:

Figura 5.12: Formulario de solicitud del movimiento de activos

The screenshot shows a Power Apps form titled "Movimiento de Activo Interno" for the company "samtec". The form is divided into several sections:

- Header:** "samtec" logo and "Movimiento de Activo Interno" title.
- Form Fields:**
 - #Placa/Etiqueta: 33651
 - Descripción del Artículo: Estante
 - Ubicación Actual: Edificio 2 piso 2
 - Nueva Ubicación: 80401/OMM/PPP/MP
- Authorization:** "Persona que autoriza el movimiento (Gerente de Area)" with a "Seleccionar Gerente" button and a profile for Walner Porras (walner.porras@samtec.com).
- Comments:** "Comentarios" section with a text area.
- Navigation:** "Atras" and "Enviar" buttons at the bottom.

Fuente: Portal SGN, 2025.

En el espacio de "Etiqueta", se coloca el activo del estante; luego, en el espacio de "Descripción del artículo", se indica "estante"; por su parte, la ubicación actual de los estantes es el Edificio 2, en el segundo piso, y la nueva ubicación es la opción que incluya la ubicación de las MPP. En este caso, el gerente que autoriza el movimiento es el de producción, Walner Porras.

Después de mover el estante, se hace un nuevo cálculo de los tiempos de desplazamiento del técnico para comprobar que en efecto ocurra una disminución del tiempo que tarda en realizar traslados entre áreas.

Tabla 5.8: Cálculos de desplazamiento para el técnico

Inicio	Fin	Tiempo (s)	Etapas
Estación de tooling	Estación 2 frente	4,38	Pallets
Estación 2 frente	Estación de tooling	4,38	
Estación de tooling	Estación 3 atrás	9,14	
Estación 3 atrás	Estación 1 frente	7,95	Est 1
Estación 1 frente	Material 2	2,03	
Material 2	Estación 1 atrás	3,48	
Estación 1 atrás	Estación 1 frente	3,90	
Estación 1 frente	Material 2	2,03	Est 2
Material 2	Estación 2 atrás	5,01	
Estación 2 atrás	Estación 3 atrás	4,17	Est 3
Estación 3 atrás	Estación 2 atrás	4,17	
Estación 2 atrás	Estación 3 atrás	4,17	
Estación 3 atrás	Micro 1	14,20	
Micro 1	Estación 3 atrás	14,20	
Estación 3 atrás	Estación 2 atrás	4,17	
Estación 2 atrás	Estación 3 atrás	4,17	
Estación 3 atrás	Estación 3 frente	13,30	
Estación 3 frente	Estación 3 atrás	13,30	
Estación 3 atrás	Micro 1	14,20	
Micro 1	Estación 3 atrás	14,20	Est 4
Estación 3 atrás	Estación 4 frente	14,19	
Estación 4 frente	Estación de tooling	6,70	
Resumen	Tiempo (s)	Tiempo (m)	Tiempo (h)
Situación actual	167,44	2,79	0,0465

Fuente: Elaboración propia, 2025.

El tiempo de desplazamientos del técnico luego de la implementación se reduce considerablemente; así, el técnico invierte 167,44 segundos en traslados durante el proceso de *setup*.

Tabla 5.9: Comparación del tiempo de recorrido del técnico antes y después de la implementación

Tiempo inicial (s)	Tiempo actual (s)	Reducción
254,97	167,44	34%

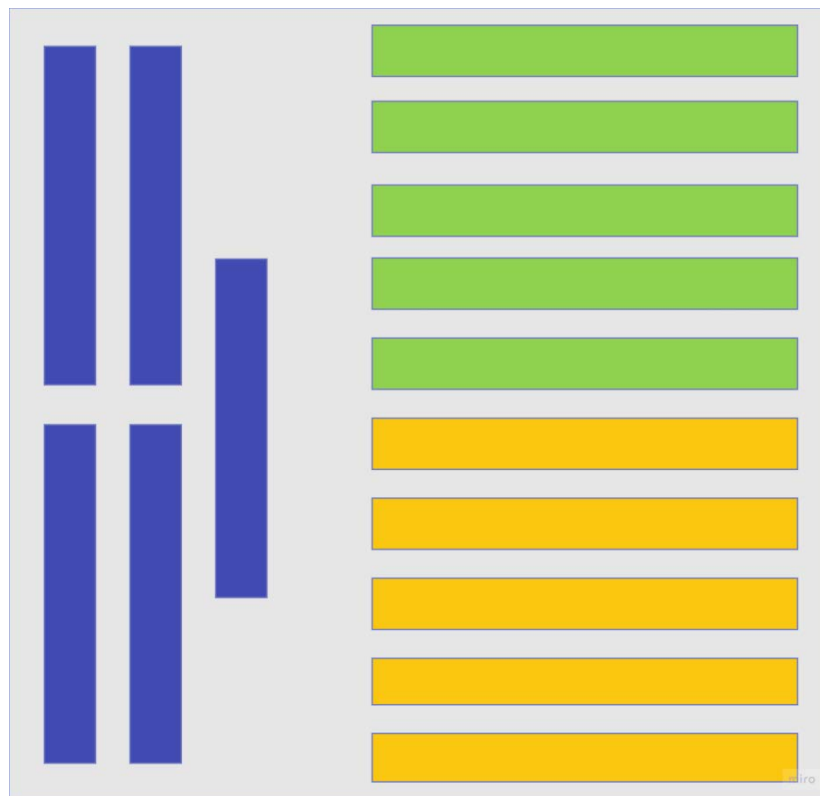
Fuente: Elaboración propia, 2025.

Como se observa en la tabla comparativa anterior, en las mediciones realizadas en el capítulo 4 el tiempo que el técnico invierte en desplazamientos es de 254,97 segundos durante el proceso de *setup*, pero con la implementación del estante adicional que almacena la materia prima en las estaciones 1 y 2, el nuevo tiempo que el técnico consume en traslados es de 167.44 segundos, lo cual representa una disminución del 34 %.

5.1.3 Propuesta 3. Bandejas para los componentes de cambio de pallets

Esta propuesta se orienta a reforzar los puntos referentes a *setups* inadecuados y falta de procesos definidos. El objetivo es brindar una herramienta visual que le ayude al operario a reducir en lo posible la probabilidad de error a la hora de realizar el *setup*; a su vez, le permite al técnico tener mayor certeza de que el cambio se ejecuta de manera adecuada.

Figura 5.13: Propuesta de bandeja para tooling



Fuente: Elaboración propia, 2025.

La anterior figura es un prototipo de la bandeja por emplear para llevar a cabo el *setup*. Al respecto, a la hora de preparar los *tooling* necesarios para realizar el *setup*, el técnico llena la primera bandeja con lo requerido para efectuar el cambio de *pallets*. Esta bandeja es de color amarillo. Adicional, se coloca una bandeja de color rojo con la finalidad de que los componentes retirados por el operario se coloquen en la segunda bandeja. Lo expuesto se resume a continuación:

- Bandeja amarilla. *Tooling* entrante, el técnico elige el *tooling* según el número de parte por correr y lo coloca en esta bandeja. Así, el operario toma los *tooling* de la bandeja amarilla a la hora de instalar los *pallets*.
- Bandeja roja. *Tooling* saliente, el operario coloca en esta bandeja los componentes que desmonte de los *pallets*, justo cuando los retire. De esta manera, se tiene un mejor control visual de lo removido y se reduce el riesgo de confusión.

La bandeja tiene la capacidad de contener los 15 componentes que se deben cambiar a la hora de realizar los cambios de *pallets*, son 3 componentes por *pallet*, para un total de 5 *pallets*, los cuales se representan con diferentes colores en el diseño previo:

- Color azul. En estos espacios se colocan los *bodies nest*.
- Color amarillo. Estos espacios están destinados a los *fixed end cap*.
- Color verde. Estos espacios contienen los *sliding end cap*.

Para llevar a cabo esta implementación, la empresa cuenta con la ventaja de tener una impresora 3D, esto facilita desarrollar las bandejas a un bajo presupuesto, el cual se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 5.10: Costos totales de la creación de bandejas

Actividad	Ejecutor	Costo
Diseño	Ingeniero de diseño	\$ 29,85
Programación de impresora	Ingeniero de herramientas	\$ 1,99
Impresión 3D de dos bandejas	Impresora 3D	\$ 16,00
	Costo total	\$ 47,84

Fuente: Elaboración propia, 2025.

La creación de las bandejas consta de tres actividades principales; en cuanto a estas, ya que la empresa posee los recursos suficientes para desarrollar las bandejas, todo se maneja de forma interna:

- Diseño. El diseño está a cargo del ingeniero de diseño, quien estima demorar aproximadamente 3 horas en crear el plano.
- Programación de la impresora. La programación de la impresora está a cargo del ingeniero de *tooling*. La intervención es mínima porque solo requiere ingresar los parámetros generados por el plano.
- Impresión 3D. Programada la impresora por el ingeniero de *tooling*, esta trabaja sin intervención hasta completar su tarea. Se estima un tiempo aproximado de 5 horas para tener listas ambas bandejas.

5.1.3.1 Implementación de la propuesta

En relación con la implementación de la propuesta, se programa una reunión con el ingeniero de diseño para formalizar la propuesta.

Organizador de la reunión

- Gerardo Anchía.

Invitado a la reunión

- Justin Barrientos, ingeniero de diseño.

Lugar:

- Sala Flamingo.

Puntos importantes de la reunión

- Se le presenta oficialmente el prototipo de la bandeja al ingeniero de diseño. Al ser un diseño sencillo, se estima una duración de 3 horas en la elaboración del plano.
- Se fija un lapso de 3 días para finalizar la tarea de diseño por temas de carga de trabajo.

Creado el diseño de las bandejas, este se envía al ingeniero de *tooling* para su impresión. Como se estima en un principio, el tiempo de su elaboración por parte de la impresora es de 5 horas.

Tabla 5.11: Costos totales de la creación de bandejas

Actividad	Ejecutor	Costo
Diseño	Ingeniero de diseño	\$ 29,85
Programación de impresora	Ingeniero de herramientas	\$ 1,99
Impresión 3D de dos bandejas	Impresora 3D	\$ 16,00
	Costo total	\$ 47,84

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Los costos finales son iguales a los estimados inicialmente. El monto final de \$ 47,84 contempla el tiempo invertido por el ingeniero de diseño, el ingeniero de *tooling* y la máquina de impresión 3D. El costo es considerablemente bajo gracias a que la empresa cuenta con la impresora para trabajos de este tipo.

Figura 5.14: Bandejas para el setup de la máquina LSHM MPP

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Las bandejas listas se llevan al piso de producción y se utilizan en un *setup*, con el fin de presentarlas al operario y crear familiaridad con su uso.

Figura 5.15: Uso de las bandejas en el proceso de setup

Fuente: Elaboración propia, 2025.

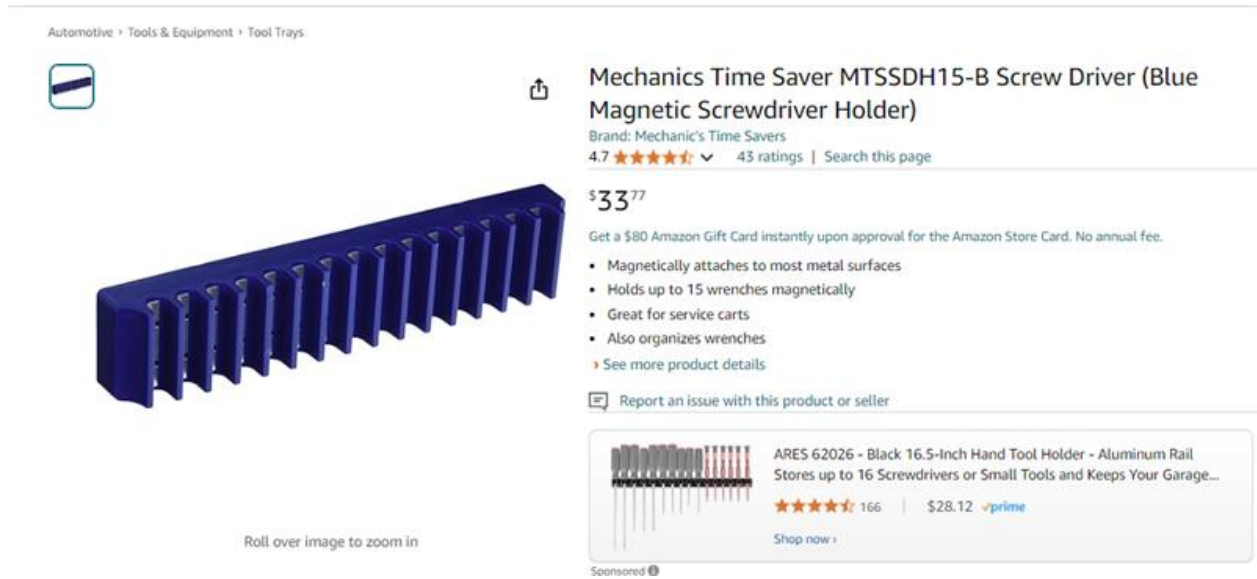
En la imagen anterior se muestran las bandejas siendo utilizadas. La imagen presenta la bandeja roja con los *toolings*, lo cual indica que el proceso de cambio de *pallets* ha finalizado, ya que la bandeja amarilla —la bandeja de *tooling* entrante— se encuentra vacía, mientras que la bandeja roja —la bandeja de *tooling* saliente— está llena.

5.1.4 Propuesta 4. Holder para herramientas de setups de pallets

La cuarta propuesta pretende asegurar que durante el proceso de *setup*, principalmente durante el cambio de *pallets*, el operario cuente con las herramientas necesarias para ejecutar sus tareas. Relacionado a esto, el técnico posee un carrito donde porta las herramientas para desempeñar sus funciones y, en cuanto a los cambios de *pallets*, se requieren dos llaves tipo Allen, una de 5/32 y otra de 3/4. Ahora bien, esta propuesta plantea colocar un *holder* de imán fijado a una pared de la estación 3 para que estas llaves queden fijas y estén disponibles en el momento necesario.

Por lo expuesto, se realiza una búsqueda en internet y se determina que la mejor opción, según lo requerido, es un *holder* hallado en Amazon.

Figura 5.16: Holder propuesto para las llaves Allen de la estación 3 en LSHM MPP



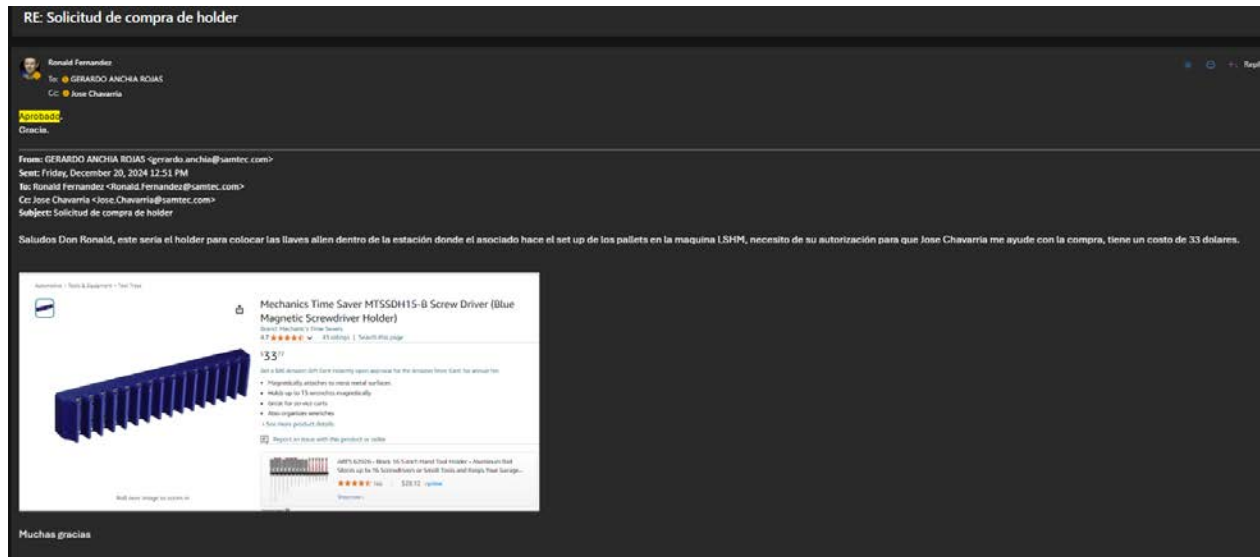
Fuente: Amazon, 2025.

El costo del *holder* es de \$ 33, pues al ser Samtec una empresa norteamericana y por acuerdos previos, no se genera un cobro adicional de envío, solo se necesita solicitarle la autorización al gerente de área mediante un correo, copiando al OSS (*operations support specialist*) del área. Una vez autorizada la compra, se lleva a cabo la misma. La instalación del *holder* propuesto es sencilla y no requiere más de 10 min, esta se programa para el primer *setup* a partir del momento en que esté disponible.

5.1.4.1 Implementación de la propuesta

Para realizar la implementación del *holder*, se sigue el protocolo como se indica en la propuesta, es decir, se redacta un correo al gerente de área con copia al OSS para que en cuanto se autorice la compra, se proceda con la misma.

Figura 5.17: Correo de autorización



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Con esta autorización por parte del gerente de área, se lleva a cabo la compra del dispositivo. La entrega depende de factores externos ajenos al control de la empresa, si se hace en combo o sola, o si vienen otros productos en camino. La empresa solo puede darle seguimiento al estado actual del producto.

Cuando el producto se encuentra en la empresa, se programa su instalación en la estación 3 de la máquina LSHM MPP en cuanto se comience un *setup*; al respecto, el mismo técnico efectúa la instalación del dispositivo porque no se requiere de ninguna modificación de la estructura.

Figura 5.18: Holder para las llaves Allen

Fuente: Elaboración propia, 2025.

El *holder* colocado en la estación 3 de la máquina LSHM MPP brinda un mayor orden y las llaves necesarias para ejecutar las tareas de cambio de *pallets* se encuentran visibles y a la mano. La disponibilidad inmediata a la hora de realizar el *setup* brinda una mayor fluidez al proceso y disminuye el margen de error al ejecutar tareas con herramientas inadecuadas.

5.1.5 Propuesta 5. Formación del proceso de setup

La quinta propuesta complementa todas las anteriores y no solo atiende los puntos del multivoto que obtienen mayor valoración, sino también otros que no se consideran tan relevantes, como el propio proceso de *setup*. Por consiguiente, el proceso de formación brinda una solución para los siguientes puntos mencionados en el capítulo 4:

- Herramientas inadecuadas.
- Personal no enfocado.
- Falta de conocimiento técnico.
- Falta de materia prima.
- Falta de procesos definidos.

- *Setups* inadecuados.
- Recorridos excesivos.

Los puntos principales del proceso de formación se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 5.12: Tabla resumen del proceso de formación

Formación a personal					
Instructor:	Gerardo Anchía R				
Tema:	Actualización de proceso de set up en máquina LSHM MPP				
Duración:	1 hora				
Personal convocado:					
Turno 1		Turno 2		Turno 3	
Miguel Jimenez	Encargado de manten	Técnico por definir		Técnico por definir	
Javier Arias	Técnico	Back up de técnico		Back up de técnico	
Back up de técnico		Henry Chavarría	Operario	Axel Sánchez	Operario
David Martínez	Operario	Back up de operario		Back up de operario	
Back up de operario					

Fuente: Elaboración propia, 2025.

La formación consta de tres sesiones, una sesión en cada turno, a las cuales asisten tanto el técnico asignado como el operario que interviene la máquina y sus respectivos *back up*, ya que ambos trabajan el *setup* en sincronía.

Cada formación se divide en tres partes:

1. Breve introducción a la metodología SMED.
2. Actualización del proceso de *setup*, nueva distribución de tareas y herramientas, y nuevas ubicaciones.
3. Espacio para consultas y/o comentarios.

Tabla 5.13: Costos generales por formación

Costos generales de formación				
Puesto	Costo promedio por hora	Personas por puesto	Horas por sesión	Costo total
Jefe de mantenimiento	\$ 12,00	1	1	\$ 12,00
Técnico	\$ 8,20	6	1	\$ 49,20
Operario	\$ 3,78	6	1	\$ 22,68
			Total	\$ 83,88

Fuente: Elaboración propia, 2025.

El costo aproximado del desarrollo de las formaciones de implementación es de aproximadamente \$ 83, porque se requiere de una hora de tiempo tanto de los técnicos como de los operarios, además del jefe de mantenimiento, para la ejecución práctica. Asimismo, para no interrumpir el proceso productivo de la máquina, se comprueba lo aprendido durante el tiempo de los *setups* propiamente.

5.2 CONTROLAR

La etapa de controlar en el proceso DMAIC tiene como objetivo asegurar que las mejoras implementadas se mantengan en el tiempo y los procesos continúen siendo eficientes y efectivos. Para lograrlo, se deben establecer controles y mecanismos de monitoreo que permitan detectar desviaciones y corregirlas de manera oportuna. A continuación, se detallan las acciones y herramientas recomendadas para esta etapa.

5.2.1 Establecimiento de indicadores clave de desempeño (KPI)

Con la intención de garantizar que los cambios implementados en el proceso de *setup* se mantengan, es fundamental definir y monitorear indicadores clave que permitan medir el desempeño del proceso. Algunos KPI recomendados son:

- Tiempo promedio de *setup*: medir el tiempo que toma realizar un cambio de lote y compararlo con el objetivo establecido (por ejemplo, menos de 1 hora).
- Tiempo de inactividad de la máquina: monitorear el tiempo en el que la máquina está detenida por motivos de *setup* o mantenimiento.
- Eficiencia del proceso: calcular la relación entre el tiempo productivo y el tiempo total disponible.
- Costo de *setup*: evaluar el impacto económico de los tiempos de *setup* en la producción.

Estos indicadores deben monitorearse de forma continua y reportarse en reuniones periódicas para asegurar que se mantengan dentro de los límites aceptables.

5.2.2 Implementación de planes de control

Los planes de control permiten asegurar que las mejoras se mantengan, estos incluyen:

- Procedimientos estandarizados: documentar los nuevos procesos de *setup*, incluyendo los pasos por seguir, las herramientas necesarias y las responsabilidades de cada colaborador. Estos procedimientos deben estar disponibles para todos los operarios y técnicos.
- Listas de verificación (*checklists*): crear listas de verificación para cada tipo de *setup* (cambio de estilo o cambio de posiciones), las cuales aseguren que todos los pasos se realicen correctamente y en el orden adecuado.
- Auditorías periódicas: llevar a cabo auditorías internas para verificar que los procedimientos se están siguiendo correctamente y no se han reintroducido prácticas ineficientes.

5.2.3 Capacitación continua

La formación del personal es clave para mantener los estándares de calidad y eficiencia. Por esto, se recomienda:

- Programas de capacitación recurrentes: realizar sesiones de capacitación periódicas para reforzar los conocimientos sobre los nuevos procesos y herramientas.
- Simulaciones y prácticas: llevar a cabo simulaciones de *setup* para que los operarios y técnicos practiquen y mejoren sus habilidades.
- *Feedback* constante: establecer un sistema de retroalimentación en el que los colaboradores puedan reportar problemas o sugerir mejoras adicionales.

5.2.4 Monitoreo en tiempo real

Implementar sistemas de monitoreo en tiempo real para detectar desviaciones en el proceso de *setup*, lo cual abarca:

- Sensores y sistemas automatizados: utilizar sensores en la máquina para medir el tiempo de *setup* y detectar fallos o retrasos.
- Paneles de control visual: instalar paneles en el Área de Producción que muestren en tiempo real el estado del proceso de *setup*, incluyendo tiempos, avances y alertas.

- Alertas tempranas: configurar alertas automáticas que notifiquen al personal técnico cuando el tiempo de *setup* exceda los límites establecidos.

5.2.5 Revisión y mejora continua

El proceso de control no debe ser estático, sino evolucionar para adaptarse a nuevas necesidades y desafíos. Por lo tanto, se recomienda:

- Reuniones de revisión: realizar reuniones mensuales o trimestrales para revisar el desempeño de los KPI, identificar áreas de mejora y ajustar los planes de control.
- Análisis de causas raíz: si se detectan desviaciones, utilizar herramientas como el diagrama de Ishikawa o el análisis de los 5 porqués para identificar las causas y corregirlas.
- Innovación tecnológica: evaluar constantemente nuevas tecnologías o herramientas que puedan optimizar el proceso de *setup*.

5.2.6 Documentación y comunicación

Mantener una documentación actualizada de todos los procesos y cambios implementados es clave para asegurar la sostenibilidad de las mejoras. Lo anterior abarca:

- Manuales de procedimientos: crear manuales detallados que describan los nuevos procesos de *setup*, incluyendo diagramas de flujo, responsabilidades y pasos por seguir.
- Comunicación efectiva: asegurar que todos los colaboradores estén informados sobre los cambios y tengan acceso a la documentación necesaria.
- Registros históricos: mantener registros de los tiempos de *setup*, costos y otros indicadores para poder comparar el desempeño actual con el histórico y evaluar el impacto de las mejoras.

5.2.7 Cultura de mejora continua

Finalmente, es importante fomentar una cultura de mejora continua dentro de la organización, lo que se puede alcanzar mediante:

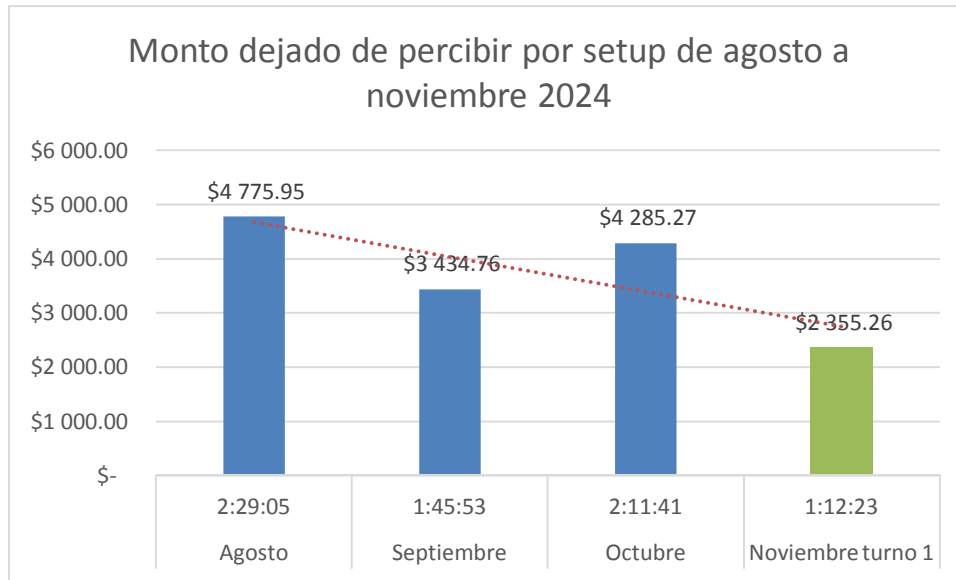
- Reconocimiento y recompensas: reconocer y recompensar a los colaboradores que contribuyan a mantener o mejorar los estándares de eficiencia.
- Participación activa: involucrar a los operarios y técnicos en la identificación de nuevas oportunidades de mejora.
- Compromiso de la gerencia: asegurar que la gerencia esté comprometida con el proceso de mejora continua y brinde los recursos necesarios para mantener los controles implementados.

Mediante la etapa de controlar, se asegura que las mejoras implementadas en el proceso de *setup* se mantengan en el tiempo y la empresa continúe operando de manera eficiente. De esta forma, por medio de la implementación de indicadores clave, procedimientos estandarizados, capacitación continua y sistemas de monitoreo, Samtec puede garantizar que los tiempos de *setup* se mantengan dentro de los límites deseados, con el propósito de reducir los costos asociados y mejorar la productividad general. Además, fomentar una cultura de mejora continua le permite a la empresa adaptarse a nuevos desafíos y mantener su ventaja competitiva en el mercado de dispositivos electrónicos.

5.3 RESUMEN DE LOS COSTOS TOTALES

En cuanto a la primera propuesta, a saber, la implementación de SMED, esta no le genera ningún costo adicional a la empresa ya que el recurso utilizado para la investigación es un departamento encargado de procesos, por ende, el análisis de mejoras e implementaciones está entre sus funciones, y el tiempo del operario y del técnico es durante la ejecución de sus labores a modo seguimiento o bajo indicaciones. Sin embargo, sí experimenta una afectación debido a la disminución del monto que deja de percibir por el tiempo que la máquina pasa en *setup*.

Figura 5.19: Gráfica del monto dejado de percibir por setup de agosto a noviembre de 2024



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Como se observa en la gráfica, durante la ejecución del plan piloto en el turno 1, se nota una disminución del 45 % del monto dejado de percibir en comparación con el mes anterior, pero en cuanto la curva de aprendizaje se estabilice, se prevé una mejoría mayor al disminuir el tiempo que la máquina permanece detenida por motivo de *setup*. La segunda propuesta tampoco genera ningún costo adicional al utilizarse activos ya existentes en la empresa que se encontraban sin uso. En este caso la propuesta se basa en la colocación de un estante adicional de materia prima. Si bien es cierto, el impacto económico no es relevante en esta propuesta, sí beneficia el tiempo de desplazamientos del técnico durante la ejecución del proceso de *setup*.

Tabla 5.14: Comparación del tiempo de recorrido del técnico antes y después de la implementación

Tiempo inicial (s)	Tiempo actual (s)	Reducción
254,97	167,44	34%

Fuente: Elaboración propia, 2025.

De acuerdo con la tabla anterior, la reducción del tiempo invertido en traslados es de un 34 %, esto no solo reduce la fatiga del técnico, sino que también le permite mejorar el enfoque en las tareas que realiza al tener lo necesario a un alcance más considerable.

En cuanto a las siguientes tres propuestas, las cuales se indican en la siguiente tabla, sí se requiere incurrir en un gasto, no obstante, gracias a los amplios recursos con los que cuenta la compañía, los costos se ven bastante reducidos.

Tabla 5.15: Resumen de los costos de las propuestas

Propuesta	Costos de implementación
Bandejas para componentes de cambio de pallets	\$ 47,84
Holder para herramientas de set up de pallets	\$ 33,00
Formacion de proceso de set up	\$ 83,88
Total	\$ 164,72

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Estos \$ 164.72 representan un monto bastante bajo si se compara con el beneficio que se percibe al aumentar la disponibilidad de la máquina. Tomando en cuenta que es un beneficio por hora, la mejora de la productividad diaria va a crecer en proporción a esta.

5.3.1 Retorno de la inversión

A continuación, se efectúa el cálculo del retorno de la inversión por la implementación de las propuestas de mejora:

$$ROI = \frac{\$164,72}{\$1937,07h} = 0.0846h$$

En la fórmula anterior se aprecia la relación entre el costo total de las implementaciones propuestas y el monto que la empresa comienza a percibir por hora con la implementación durante la ejecución del plan piloto en el mes de noviembre 2024 comparado con el monto dejado de percibir por hora en tiempo *down* en octubre 2024. La diferencia de estos dos meses da como resultado \$ 1937,07 por hora versus los \$ 164,72 de costos de implementación de las propuestas. Lo anterior indica que durante

la primera hora que la máquina se mantenga disponible gracias a las implementaciones propuestas, ya se notaría el retorno de lo invertido.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación, se detallan las principales conclusiones y recomendaciones obtenidas en el desarrollo del presente estudio.

Conclusiones

- El tiempo de *setup* es el principal causante de inactividad en la máquina LSHM MPP, al representar entre el 25 % y el 50 % de la jornada laboral, lo que afecta significativamente la eficiencia operativa.
- Se demostró que implementar la metodología SMED permite reducir el tiempo de *setup* al redistribuir las tareas entre el operario y el técnico, por lo tanto, se logra una disminución del tiempo promedio de *setup* en el turno piloto.
- La falta de procesos definidos y estandarizados se identificó como una de las principales causas del tiempo excesivo en los cambios de lote, lo que genera inconsistencias y errores durante el proceso.
- La redistribución de tareas entre el operario y el técnico demostró ser efectiva, ya que el operario asume responsabilidades como el cambio de *pallets*, lo cual libera al técnico para enfocarse en tareas más complejas.
- La implementación de bandejas organizadoras para los componentes de *setup* reduce los errores y mejora la eficiencia al proporcionar una guía visual clara para el operario.
- La colocación de un estante adicional de materia prima cerca de la máquina disminuye los desplazamientos del técnico en un 34 %, lo que optimiza el tiempo dedicado al *setup*.
- La formación del personal es clave para el éxito de las mejoras al permitirles a los operarios y técnicos familiarizarse con los nuevos procesos y herramientas.
- El uso de herramientas adecuadas, como el *holder* para las llaves Allen, mejora la disponibilidad de las herramientas esenciales durante el *setup*; de este modo, se evita invertir tiempo en búsqueda y preparación.
- El análisis FODA posibilitó identificar las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas relacionadas con el proceso de *setup*, lo cual proporciona una base sólida para la toma de decisiones.

- La implementación de diagramas de flujo estandarizados para los procesos de *setup* ayuda a clarificar los pasos por seguir, con el propósito de reducir la variabilidad y los errores humanos.
- El monitoreo continuo de los tiempos de *setup* mediante indicadores clave de desempeño (KPI) permite evaluar el impacto de las mejoras y detectar desviaciones en el proceso.
- La reducción del tiempo de *setup* provoca un impacto económico positivo porque disminuye el monto dejado de percibir por la empresa durante los tiempos de inactividad.
- La colaboración entre áreas, como Producción y Mantenimiento, es fundamental para implementar las mejoras y asegurar que los cambios se realicen de manera coordinada.
- La cultura de mejora continua en Samtec facilita la aceptación y adopción de los cambios propuestos, lo que demuestra la importancia de involucrar a todos los niveles de la organización.
- El proyecto demostró que pequeñas mejoras, como la reorganización de herramientas y la capacitación del personal, pueden tener un impacto significativo en la eficiencia operativa y la productividad de la empresa.

Recomendaciones

- Extensión de las mejoras a todos los turnos: los resultados positivos obtenidos en el turno 1 sugieren que la implementación de las mejoras en los demás turnos podría generar beneficios similares. Se recomienda ejecutar el plan de implementación gradual mediante la formación propuesta para asegurar que todos los equipos estén capacitados y adaptados a los nuevos procesos.
- Capacitación continua del personal: para garantizar la sostenibilidad de las mejoras, es necesario continuar con la formación del personal en la metodología SMED y en los nuevos procesos de *setup*. Esto incluye no solo a los operarios y técnicos, sino también a los supervisores y líderes de equipo.
- Monitoreo y evaluación constante: es recomendable establecer un sistema de monitoreo continuo para evaluar el desempeño del proceso de *setup* y detectar

posibles áreas de mejora. Esto permite realizar ajustes oportunos y mantener la eficiencia operativa.

- Optimización de herramientas y recursos: aunque se implementaron mejoras en la disponibilidad y organización de herramientas, se sugiere explorar nuevas tecnologías o herramientas que puedan simplificar aún más el proceso de *setup*, como sistemas automatizados de cambio de componentes.
- Fortalecimiento de la comunicación entre áreas: la coordinación entre el Departamento de Producción, Mantenimiento y bodega es clave para evitar retrasos en la disponibilidad de materiales y herramientas. Se recomienda establecer protocolos de comunicación más eficientes para agilizar estos procesos.
- Exploración de nuevas tecnologías: dado el rápido avance tecnológico en la industria, Samtec podría beneficiarse de la adopción de tecnologías emergentes, como sistemas de mantenimiento predictivo o inteligencia artificial, para optimizar sus procesos productivos.
- Replicación del enfoque en otras áreas: los buenos resultados de este proyecto sugieren que metodologías similares podrían aplicarse en otras áreas de la empresa donde se identifiquen problemas de eficiencia, lo que contribuye así a una mejora generalizada en la productividad.

REFERENCIAS

Libros

Cuatrecasas, L. (2017). *Ingeniería de procesos y de planta: ingeniería lean*. Profit Editorial.

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. (6° ed.). McGraw Hill.

Muñoz, J. A., Zapata, C. A. y Medina, P. D. (2022). *Lean manufacturing: modelos y herramientas*. Editorial UTP.

Niebel, B. W. y Freivalds, A. (2009). *Ingeniería industrial: métodos, estándares y diseño del trabajo*. (12° ed.). McGraw Hill.

Rajadell, M. y Sánchez, J. (2010). *Lean manufacturing: la evidencia de una necesidad*. Ediciones Díaz de Santos.

Proyectos de investigación

Aguilar, N. (2016). *Aplicación de SMED en el cambio de formato para incrementar la productividad de una blistera en el área de empaque de un laboratorio farmacéutico-Lima*. [Tesis de Ingeniería Industrial, Universidad César Vallejo]. Repositorio de la Universidad César Vallejo.

Alfaro, R. S. (2021). *Reducción del porcentaje de defectos en la calidad del producto de la línea de manufactura Neuro en la empresa Zúrich Medical Technologies S. A.* [Tesis de bachillerato, Universidad Central]. Repositorio de la Universidad Central.

Arcela, C. L. (2019). *Aplicación del SMED para mejorar la productividad en la línea de producción de reglas en la empresa Artesco S. A. 2019*. [Tesis de Ingeniería Industrial, Universidad César Vallejo]. Repositorio de la Universidad César Vallejo.

- Díaz, D. Y. (2017). *Aplicación de la técnica SMED para mejorar la productividad en el área de torno de la empresa Sergo Industrial S. A., Lima 2016*. [Tesis de Ingeniería Industrial, Universidad César Vallejo]. Repositorio de la Universidad César Vallejo.
- García, J. G. y Trisollini, G. G. (2021). *Metodología SMED para mejorar la productividad del área de producción en una empresa de termoformado de envases desechables de plástico*. [Tesis de Ingeniería Industrial, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio de la Universidad Ricardo Palma.
- Martínez, A. G. (2017). *Implementar la metodología de las mejoras enfocadas (16 grandes pérdidas) para la sección de Subdivisión y Empaque de la empresa STEIN CORP*. [Tesis de licenciatura, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. Repositorio del Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Pertuz, A. J. (2018). *Implementación de la metodología (SMED) para la reducción de tiempos de alistamiento (setup) en máquinas encapsuladoras de una empresa farmacéutica en la ciudad de Barranquilla*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- Quesada, M. (2015). *Plan piloto de implementación de TPM en la empresa Gualapack Costa Rica*. [Tesis de licenciatura, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. Repositorio del Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Rey, F. (2009). Reducción de los tiempos de cambios de utillaje en la producción. *Técnica Industrial*, (284), 65-70. <https://www.tecnicaindustrial.es/wp-content/uploads/Numeros/66/77/a77.pdf>
- Rojas, V. y Víquez, J. (2022). *Desarrollo de una propuesta que mejore la productividad en la línea de líquidos 1, con el fin de optimizar el sistema de envasado de*

medicamentos líquidos en el Laboratorio de Productos Farmacéuticos de la Caja Costarricense de Seguro Social en la Uruca San José Costa Rica. [Tesis de licenciatura, Universidad Técnica Nacional]. Repositorio de la Universidad Técnica Nacional.

Villegas, J. (2023). *Propuesta para reducir el desperdicio de materia prima en el proceso de extrusión de la empresa Resinplast Costa Rica durante el periodo 2021-2022.* [Tesis de licenciatura, Universidad Técnica Nacional]. Repositorio de la Universidad Técnica Nacional.

Fuentes de Internet

Aiteco Consultores. (2019). *Multivotación: seleccionando las mejores ideas.* <https://www.aiteco.com/multivotacion-seleccionando-las-mejores-ideas/>

Amazon. (2025). *Mechanics Time Saver MTSSDH15-B Screw Driver (Blue Magnetic Screwdriver Holder).* <https://www.amazon.sg/Mechanics-Time-MTSSDH15-B-Magnetic-Screwdriver/dp/B001PB9VVC>

ASQ. (2005). *El retorno de inversión.* <http://asq.org/quality-progress/2005/05/problem-solving/el-retorno-de-inversion.html>

Castillero, O. (2019). *Registro anecdótico: qué es y cómo se usa en psicología y educación.* <https://psicologiymente.com/clinica/registro-anecdótico>

Clavijo, C. (2023). *Crea un manual de ventas que impulse a tu equipo (con ejemplos).* <https://blog.hubspot.es/sales/manual-de-ventas>

EBAC. (2023). *¿Qué es la lluvia de ideas y cómo hacerla?* <https://ebac.mx/blog/que-es-la-lluvia-de-ideas>

Lean Tools. (2017). *Diagrama SIPOC*. <https://www.herramientaslean.com/mapeo-de-procesos-sipoc/>

Minitab. (2025a). *Elementos básicos de un diagrama de Pareto*. <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/quality-tools/supporting-topics/pareto-chart-basics/>

Minitab. (2025b). *Revisión general de diagrama de causa y efecto*. <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/quality-tools/how-to/cause-and-effect-diagram/before-you-start/overview/>

Muñoz, E. (2023). *Optimizando proyectos Agile: la síntesis DMAIC para mejoramiento continuo*. <https://es.linkedin.com/pulse/optimizando-proyectos-agile-la-s%C3%ADntesis-dmaic-para-edward-mu%C3%B1oz-garro-xd95e>

Project Management Institute. (2020). *¿Qué es un project charter?* <https://www.pmi.org/learning/library/project-charter-template-improving-planning-process-1986>

Riquelme, M. (2016). *Análisis FODA*. <https://www.analisisfoda.com>

Rodrigues, N. (2024). *¿Qué es el diagrama de Ishikawa, para qué sirve, cómo crearlo y ejemplos?* <https://blog.hubspot.es/sales/diagrama-ishikawa>

SafetyCulture. (2024). *Cómo el método DMAIC puede ayudar a su empresa a mejorar su rendimiento*. <https://safetyculture.com/es/temas/dmaic/>

SafetyCulture. (2025). *Paseo por el gemba: significado, proceso y ejemplos*. <https://safetyculture.com/es/temas/gemba-walk/>

Salazar, B. (2019). *Diagrama de recorrido*.
<https://www.ingenieriaindustrialonline.com/ingenieria-de-metodos/diagrama-de-recorrido/>

Samtec. (s.f.). *Productos*. <https://www.samtec.com/solutions/>

Sánchez, I. (2021). *Formato para formular un project charter*.
<https://es.scribd.com/doc/126626909/Formato-Para-Formular-Un-Project-Charter>

Santos, D. (2023a). *15 herramientas de planeación estratégica estelares para 2023*.
<https://blog.hubspot.es/marketing/herramientas-planeacion-estrategica>

Santos, D. (2023b). *Qué es el seguimiento de un proyecto y cómo hacerlo*.
<https://blog.hubspot.es/marketing/seguimiento-de-proyectos>

Santos, D. (2024). *Mapeo de procesos, qué es, cómo realizarlo y las mejores herramientas*. <https://blog.hubspot.es/marketing/mapeo-de-procesos>

Teoría General del Sistema. (2010). *Diagramas causales*.
<http://teoriageneralsistema.blogspot.com/2010/11/diagramas-causales-un-diagrama-causal.html>

Universidad del Sur de California. (2025). *Guías de investigación*. https://libguides-usc-edu.translate.goog/writingguide/secondarysources?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc

APÉNDICES Y ANEXOS

APÉNDICE 1: GLOSARIO DE TÉRMINOS

- *Time down*: Se refiere al período durante el cual la máquina no está operativa o no está produciendo debido a paradas planificadas o no planificadas.
- *Sudden service*: Es un reflejo de la filosofía de Samtec de ofrecer un servicio rápido, confiable y centrado en el cliente, lo que ha contribuido a su reputación como un proveedor líder en la industria de conectores.
- *Changeover*: Es el proceso de preparar y ajustar una máquina, línea de producción o equipo para cambiar de la fabricación de un producto a otro.
- *Fill*: Se le llama así al proceso en el que se insertan los pines en el *body*.
- *Body*: Componente plástico del conector en que se insertan los pines y demás complementos del conector.
- *Ground plane*: Lámina metálica que se inserta en la parte central de algunos conectores.
- *Reel*: Carrete utilizado por lo general como contenedor de materia prima, comúnmente usado en Samtec para almacenar pines, *pocket*, cables, entre otros.
- *Pocket*: Contenedor plástico utilizado para empacar los conectores de manera individual con el objetivo de proteger su integridad. Normalmente se encuentra en forma de carrete.
- Retorno de la inversión ROI: Por su sigla en inglés *return on investment*, cuyo equivalente en español es RSI (retorno sobre la inversión), es una de las métricas que deben considerarse en el análisis, ya que refleja las ganancias financieras obtenidas con cada acción implementada.