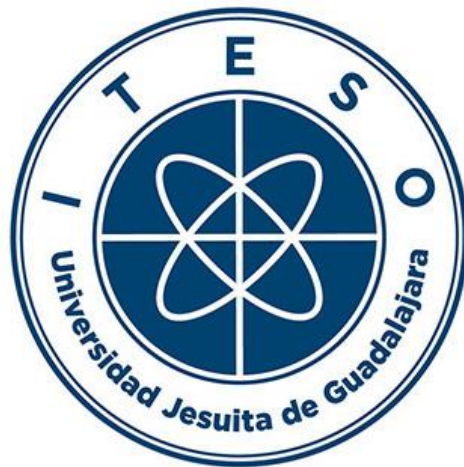


Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente

Reconocimiento de validez oficial de estudios de nivel superior según acuerdo secretarial 15018, publicado en el Diario Oficial de la Federación del 29 de noviembre de 1976.

Departamento de Economía, Administración y
Mercadología
Maestría en Administración



**INTERVENCIÓN ESTRATÉGICA EN EL PROCESO DE GESTIÓN Y
MANUFACTURA DE ENSAMBLES ELECTRÓNICOS (PCBA)**

TRABAJO RECEPCIONAL que para obtener el **GRADO** de
MAESTRO EN ADMINISTRACIÓN

Presenta: **JOSÉ ELIGIO MARTINEZ ULLOA**

Tutor **DR. IGNACIO ALVAREZ PLACENCIA**

Tlaquepaque, Jalisco. 7 de diciembre de 2025.

Contenido

Maestría en Administración	1
INTRODUCCIÓN	13
CAPÍTULO 1.....	15
Fundamentación del trabajo	15
1.1. Descripción de la organización que se planea intervenir y su contexto	15
1.2. Problemática percibida	18
1.3. Análisis de elementos del entorno en relación con la problemática	20
1.3.1. Manufactura de productos electrónicos en México	23
1.3.2. La Calidad en la economía de las empresas.....	24
1.3.3. Riesgos detectados por la organización	24
1.4. Validación de las condiciones de la intervención	26
1.5. Delimitación y área funcional por intervenir	28
1.6. Diagnóstico preliminar: primera hipótesis	28
1.6.1. Análisis de la problemática	35
1.6.2. Hipótesis inicial.....	36
1.7. Objetivos de la intervención	37
1.8. Relevancia y pertinencia del trabajo	38
CAPÍTULO 2.....	39
Marco conceptual de referencia	39
2.1. Estado de la cuestión	39
2.1.1. <i>Antecedentes de las tarjetas electrónicas</i>	39
2.2. Conceptos y enfoques teóricos relacionados	40
2.2.1. Proceso de impresión de soldadura en tarjetas electrónicas.....	40
2.2.2. Descripción de procesos clave de soldadura para en la manufactura de tarjetas electrónicas.....	41
2.3. Análisis de referencia para el cambio	45

CAPÍTULO 3..... 47

Diagnóstico profundo: Marco de referencia y estrategia de intervención 47

- 3.1. Definición de la estrategia de intervención, selección de las herramientas requeridas y el cronograma del diagnóstico profundo 47
 - 3.1.1. Definición de la estrategia de intervención 47
 - 3.1.2. Selección de las herramientas requeridas 48
 - 3.1.3. Cronograma del diagnóstico profundo 59
 - 3.1.4. Ejecución de actividades de intervención 60
- 3.2. Definición de los factores prioritarios a intervenir y/o cambiar en la problemática 62
- 3.3. Metas de información (qué quiero conocer con mi diagnóstico profundo) 63
 - 3.3.1. Análisis de defectos reportados por cliente 63
 - 3.3.2. Requerimiento del cliente utilizando diagrama CTQ 66
- 3.4. Identificación, descripción y cuantificación de métricas iniciales (medición antes de la intervención) 67
- 3.5. Descripción del análisis: correlación e interpretación de la información 76

CAPÍTULO 4..... 77

Implementación: Planeación de la intervención 77

- 4.1. Justificación de la intervención..... 77
 - 4.1.1. Análisis de información relacionada con el desempeño operativo de la organización 79
 - 4.1.2. Consideraciones costo/beneficio de la intervención..... 82
- 4.2. Actividades, herramientas e instrumentos..... 84
 - 4.2.1. Análisis detallado de defectos que están impactando el desempeño operativo 84
 - 4.2.2. Interpretación de los defectos de soldadura en el Proceso de Manufactura de PCBA 86
 - 4.2.3. Antecedentes de los equipos para soldadura de componentes con diseño “Through-hole Technology” 89
 - 4.2.4. Análisis de datos y su aplicación en la identificación de defectos 95

4.2.5. Herramientas para Análisis de causa Raíz relacionadas a problemas de Insuficiencias de Soldadura en PCBA.....	100
4.2.6. Herramientas para identificar y prevenir errores durante el proceso de manufactura.....	101
4.3. Etapas del proceso de aplicación de la intervención.....	103
4.3.1. Cronograma de la implementación de la estrategia.....	103
4.3.2. Imprevistos.....	105
4.3.3. Estrategias para mitigar riesgos	107
CAPÍTULO 5.....	108
Implementación: Exposición de hallazgos	108
5.1. Sistematización y medición de resultados.....	108
5.1.1. Selección del Producto y su Relevancia Estratégica	108
5.1.2. Descripción técnica y funcionalidad del dispositivo	109
5.1.3. Desempeño Operativo del producto seleccionado	110
5.1.4. Interacción Tecnológica y Mapeo del Proceso de Manufactura para la fabricación de PCA de Interfaz de Relevadores.....	114
5.1.5. Verificación de la Documentación y Parámetros de Soldadura.....	118
5.2. Organización de la información obtenida.....	119
5.2.1. Ejercicio de Optimización de desempeño de <i>PCBA de Interfaz Relevadores</i> en Proceso de Soldadura Selectiva	120
5.2.2. Listado de Elementos a utilizar para la experimentación y condiciones iniciales de operación	122
5.2.3. Metodología de Evaluación y Criterios de Aceptación	125
5.2.4. Resultados del ejercicio.....	127
5.3. Impacto de la intervención en la organización.....	134
5.3.1. Impacto en el Modelo de Capacidad y el Plan de Producción.....	137
5.3.2. Impacto Financiero.....	141
5.3.3. Impacto en el Enfoque Colaborativo Multifuncional	143
5.3.4. Sostenibilidad y Aseguramiento de la Calidad en el Proceso de Soldadura	144
CAPÍTULO 6.....	148

Discusión final.....	148
6.1. Relevancia y trascendencia disciplinaria de la estrategia de intervención	148
6.1.1. Transformación de la Perspectiva en Proyectos de Mejora Continua: Integración de Enfoques Operativos y Financieros	149
6.1.2. Contribuciones a la Organización desde la Comunicación Interna.....	151
6.2. Aspectos de mejora para intervenciones subsecuentes	152
CONCLUSIONES.....	154
BIBLIOGRAFÍA	156
Anexo A: PFMEA Inicial	161
Anexo B: Actualización de PFMEA	162
Anexo C: Actualización de Control Plan	163
Anexo D: Actualización de Documentos de Operación.....	164
Anexo E: Comunicación interna.....	165
Glosario	167

Índice de siglas

AIAG: Automotive Industry Action Group

AMEF: Análisis de Modos y Efectos de Falla

AOI: Automatic Optical Inspection

ASQ: American Society of Quality

CAPA: Corrective Action and Preventive Action

CFR: Código Federal de Regulaciones

COGS: Cost of Goods Sold

CTQ: Critical to Quality

DEAM: Departamento de Economía, Administración y Mercadología

DPPM: Defective Part per Million

DPU: Defects Per Unit

ECO: Engineering Change Order

EMS: Electronic Manufacturing Services

ERP: Planificación de Recursos Empresariales

FDA: Food and Drug Administration

FODA: Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas

IC: Integrated Circuit

IDI: Investigación, Desarrollo e Innovación

ISO: International Standard Organization

KPI: Key Process Indicator

MES: Manufacturing Execution System

MML: Matriz de Marco Lógico

NPI: New Product Introduction

NVAT: Non-Value-Added Time

PCB: Printed Circuit Board

PCBA: Printed Circuit Board Assemblies

ODM: Original Design Manufacturer

OEM: Original Equipment Manufacturer

PPV: Purchase Price Variance

RCA: Análisis de Causa Raíz

ROA: Return on Assets

ROI: Retorno Sobre Inversión

RoHS: Restriction of Hazardous Substances

SAP: Systems, Applications, and Products in Data Processing

SIPOC: Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers

SMD: Surface Mounting Device

SMS: Site Management System

SMT: Surface Mount Technology

SQE: Supplier Quality Engineer

TC: Transformation Cost

THT: Through-Hole Technology

TOG: Trabajo de Obtención de Grado

UPH: Unidades por hora

VAT: Value Added Time

VSM: Value Stream Mapping

Índice de tablas

Tabla 1.	Matriz de Marco Lógico (MML) para la intervención en el proceso de soldadura de PCBAs.	 46
Tabla 2.	Diagrama SIPOC para el proceso de Soldadura por Tecnología de Montado de Superficie (PCBA).	 50
Tabla 3.	Diagrama SIPOC para proceso de Soldadura por Tecnología de Ola.	 50
Tabla 4.	Análisis FODA (SWOT) aplicado al proceso de fabricación de tarjetas electrónicas.	 54
Tabla 5.	Cronograma del diagnóstico profundo.	 59
Tabla 6.	Ejercicio de lluvia de ideas sobre propuestas de valor para la iniciativa de mejora del proceso de Introducción de nuevos productos durante año fiscal 2025.	 65
Tabla 7.	Los tres procesos universales de gestión de la calidad.	 78
Tabla 8.	Relación con KPIs Financieros Claves.	 83
Tabla 9.	Condiciones de soldadura mínima aceptables para orificios con soporte en terminales de componentes.	 89
Tabla 10.	Cronograma de actividades.	 104
Tabla 11.	Requerimiento de perfilado para proceso de soldadura selectiva libre de plomo (Lead Free).	 119
Tabla 12.	Recursos materiales para realización del ejercicio.	 123
Tabla 13.	Información técnica inicial para la manufactura de la PCA de Interfaz de Relevadores.	 125
Tabla 14.	Comparativa estructurada de las variables consideradas para el ejercicio.	 126
Tabla 15.	Resumen del ejercicio de mejora en parametría y su impacto en la calidad del producto.	 131
Tabla 16.	Condiciones de Operación de la organización	 137
Tabla 17.	Resumen del ejercicio de mejora en parametría y su impacto en la Capacidad operativa de la organización.	 139

Índice de gráficos

Figura 1.	Métrico de desempeño de corridas de calificación (NPI) durante el año fiscal 2024.	 19
Figura 2.	Proceso general de manufactura de dispositivos electrónicos.	 22
Figura 3.	Diagrama de flujo para el proceso de introducción de nuevos productos.	 30
Figura 4.	Árbol de problemas como herramienta para identificación de las causas y efectos potenciales relacionados con el problema central.	 35
Figura 5.	Diagrama general de proceso de soldadura de tarjetas electrónicas.	 41
Figura 6.	VSM del proceso de fabricación de Tarjetas electrónicas.	 56
Figura 7.	Project Chart para ejecución de actividades de intervención.	 61
Figura 8.	Diagrama de CTQ de PCBAs.	 66
Figura 9.	Gráfica de desempeño de estaciones críticas de inspección durante el periodo de Octubre 2023 a Septiembre 2024.	 68
Figura 10.	Diagrama de Pareto de defectos como escapes a cliente.	 70
Figura 11.	Gráfica de Total Scrap % of Parts Sales correspondiente al año fiscal 2024.	 71
Figura 12.	Gráfica de tendencia de margen de utilidad durante el año fiscal 2024.	 75
Figura 13.	Gráfica de desempeño actualizada de estaciones críticas de inspección durante el periodo de Octubre 2023 a Enero 2025.	 80
Figura 14.	Diagrama de la Trilogía de Juran.	 81
Figura 15.	Gráfica de Pareto de principales defectos detectados durante la operación de Rayos X.	 85
Figura 16.	Imágenes de referencia para condiciones aceptables y no aceptables para el proceso de soldadura de componentes THT de acuerdo a IPC.	 87
Figura 17.	Referencia de soldadura para componentes de soldadura vertical.	 88
Figura 18.	Secuencia de operación de una máquina de soldadura por ola.	 90

Figura 19.	Secuencia de operación de una máquina de soldadura Selectiva.	 93
Figura 20	Sistema de inspección avanzada por rayos X en línea 3D.	 95
Figura 21	Gráfico de dispersión (Scatter Plot) de correlación de Procesos atribuibles de defectos y Clientes afectados.	 97
Figura 22	Gráfico de dispersión (Scatter Plot) de correlación de Procesos atribuibles de defectos y Procesos previos de manufactura.	 98
Figura 23	Diagrama de Causa-Efecto para identificación de causa raíz de problemas de insuficiencia de soldadura en PCBAs	 101
Figura 24	Referencia visual de producto: PCBA De Interfaz Relevadores	 110
Figura 25	Desempeño Operativo del producto PCBA de Interfaz Relevadores previo a la implementación de acciones de mejora.	 111
Figura 26	Gráficas de Pareto de defectos detectados durante la operación de Rayos X de PCBA de Interfaz Relevadores.	 113
Figura 27	Evidencia de inspección en Rayos X de PCBA de Interfaz Relevadores.	 114
Figura 28	Diagrama de Flujo para la fabricación de PCBA de Interfaz Relevadores.	 115
Figura 29	Versaflow 3/66 - Plataforma de máquina modular para soldadura selectiva XL.	 117
Figura 30	Referencia gráfica de relevador de la serie S8(UL) de Sensata/Cynergy3.	 121
Figura 31	Condición de contaminación en uniones de soldadura en relevador S8.	 129
Figura 32	Desempeño Operativo del producto PCBA DE INTERFAZ RELEVADORES posterior a la implementación de acciones de mejora.	 136
Figura 33	Métrico de desempeño PCBA de Power BI.	 146
Figura 34	Métrico de desempeño PCBA en Plataforma de Gestión del sitio.	 147

Abstract

La presente intervención estratégica se enfocó en la optimización del sistema de gestión y administración para la manufactura de ensambles de tarjetas de circuitos impresos en una empresa de servicios de manufactura electrónica. El objetivo central fue mejorar el proceso de manufactura durante su etapa de introducción de nuevos productos para mitigar ineficiencias y asegurar la calidad en la producción masiva. La metodología empleada se fundamentó en el marco de la planificación avanzada de la calidad del producto y el análisis de modos y efectos de falla, utilizando un enfoque participativo con herramientas de diagnóstico como el árbol de problemas. Los datos del año fiscal 2024 revelaron que el 45% de los lotes de calificación presentaron fallas, operando con un rendimiento de 3 sigmas. En términos financieros, esta problemática derivó en una reducción del 12% en el margen de utilidad neta y un incremento del 25% en los costos de transformación debido a retrabajos y desperdicios de materiales. Los hallazgos identificaron que la causa raíz reside en una gestión reactiva del equipo de ingeniería ante cambios de diseño. Este trabajo aporta un plan de mejora estratégica, diseñada para reducir los tiempos de planificación en un 20% y disminuir la tasa de defectos a menos del 2%. La propuesta fortalece la competitividad organizacional al establecer una estructura proactiva que garantiza la recuperación de la rentabilidad y la satisfacción del cliente.

Palabras clave: Gestión de Operaciones, Estrategia de Calidad, Optimización de Procesos, Competitividad en el Mercado, Análisis Financiero, Rentabilidad.

Intervención Estratégica en el Proceso de Gestión y Manufactura de Ensamblés Electrónicos (PCBA)

INTRODUCCIÓN

La conversación en la que se suscribe este trabajo gira en torno al proceso de manufactura de dispositivos electrónicos en la industria manufacturera, un aspecto crítico para las empresas que buscan expandir su presencia en el mercado y mejorar su portafolio de clientes y productos.

La incorporación de procesos innovadores no solo es una oportunidad para diversificar el negocio, sino que también es un reto que involucra varias áreas como ingeniería, manufactura, calidad y atención a clientes. En este contexto, la planificación efectiva y la gestión de la calidad juegan un papel clave para garantizar que los productos cumplan con las expectativas del mercado y de los clientes.

Sin embargo, el proceso de manufactura no siempre es sencillo. La falta de preparación para la producción en volumen puede causar retrasos, aumentos en los costos y defectos en los productos, lo que genera insatisfacción en los clientes y compromete la reputación de la empresa. La organización utiliza la metodología de Planificación Avanzada de la Calidad del Producto o APQP por sus siglas en inglés (Automotive Industry Action Group, 2024), como parte del proceso de lanzamiento de nuevos productos, que se posiciona como una herramienta estratégica para prevenir problemas en la etapa de producción masiva y asegurar la satisfacción del cliente.

Durante el año fiscal 2024, se identificó que un 45% de los lotes enviados a cliente de tarjetas electrónicas, también conocidas como PCB por sus siglas en inglés (Keim, 2020), fallaron en el proceso de calificación debido a defectos de

soldadura ocasionados durante el proceso de fabricación, lo que afectó directamente el desempeño de la organización, posicionando su rendimiento en un nivel de 3 sigmas, muy por debajo del estándar esperado de 6 sigmas. Este bajo desempeño no solo impacta la eficiencia operativa, sino que también tiene consecuencias financieras negativas, lo que resalta la necesidad de mejorar el proceso de introducción de nuevos productos de dispositivos electrónicos.

El objetivo de esta intervención es mejorar la gestión y administración del proceso de fabricación de tarjetas electrónicas. Para lograr este objetivo, se abordarán áreas clave en el proceso de introducción de nuevos productos, ingeniería, así como el proceso de manufactura. Este enfoque integral permitirá identificar las principales áreas de oportunidad y optimizar la planificación y ejecución de cada etapa del proceso, garantizando así que los productos lleguen al mercado de manera eficiente y con la calidad esperada.

Como resultado de esta intervención, se espera que la organización logre un incremento significativo en la eficiencia de sus procesos, reduciendo la tasa de defectos en los lotes enviados a sus clientes y elevando su desempeño global a un nivel más cercano al estándar de 6 sigmas. Esto no solo impactará positivamente los planes de comercialización y la satisfacción del cliente, sino que también fortalecerá la competitividad de la compañía en el mercado, contribuyendo a su crecimiento y desarrollo sostenible.

CAPÍTULO 1

Fundamentación del trabajo

1.1. Descripción de la organización que se planea intervenir y su contexto

La compañía a intervenir es una empresa transnacional con más de 45 años de experiencia en la industria de manufactura electrónica. Esta empresa se dedica al diseño, manufactura, servicio post venta, así como administración de cadena de suministro de productos electrónicos en tres diferentes sectores: Médico y Ciencias de la salud, Industrial y Telecomunicaciones, así como Aeroespacial y Defensa, asociándose con empresas de todo el mundo para transformar sus conceptos y prototipos en productos de marca de alta gama y lanzarlos exitosamente al mercado.

Actualmente cuenta con localidades en 4 estados en Norte América, 3 países en Europa, 3 en Asia y 2 sitios en México; además, cuenta con más de 25,000 empleados en sus diferentes sitios a nivel global. Originalmente, la compañía inició operaciones como una empresa dedicada al diseño y desarrollo de productos electrónicos; posteriormente sus capacidades se extendieron hasta incluir procesos de manufactura relacionados con PCB, sub ensambles electrónicos y mecánicos, producto terminado, con un modelo de negocio enfocado a Servicios de Manufactura Electrónica o EMS por sus siglas en inglés (Mayes, 2025).

La filosofía de la organización está enfocada en ayudar a sus clientes a fabricar sus productos con altos estándares de calidad y a un precio justo, concepto que se ve reflejado tanto en la misión y visión de la empresa, así como en su política de calidad. Por este motivo, su estrategia comercial se centra en un mercado altamente competitivo, con soluciones innovadoras de ingeniería para productos electrónicos complejos y con requerimientos regulatorios demandantes.

Los fundamentos de la estrategia de la empresa se basan en el compromiso de ser el mejor socio de la industria de manufactura. La organización tiene capacidades integradas y flexibles para asumir los desafíos más complejos de los clientes para brindar soluciones ágiles y ayudar a acelerar el éxito en la introducción del producto (dispositivos electrónicos) en el mercado. Para ello, la compañía ha diseñado 5 áreas principales de negocio alineadas con la estrategia global:

- Diseño y desarrollo.
- Soluciones para la cadena de suministro.
- Introducción de nuevos productos.
- Servicio de Manufactura.
- Servicios de sostenimiento y post venta.

La estructura organizacional de esta compañía tiene un modelo matricial donde cada región cuenta con un grupo directivo y un grupo de gerencia funcional para cada sitio, mismos que de manera piramidal reportan resultados financieros, regulatorios y de calidad en cada nivel de la estructura operativa.

La estructura laboral de la compañía se encuentra dividida en dos grupos principales:

- Personal de labor directa, que se refiere a personal directamente relacionado a la transformación del producto que está integrado por personal de manufactura, control de materiales e inventarios y control de calidad de producto.
- Personal de labor indirecta, quienes desempeñan puestos administrativos, áreas de desarrollo e ingeniería y posiciones gerenciales y de administración de personal y recursos humanos.

Cada sitio cuenta con su propia estructura gerencial, que está encabezada por un gerente general, gerentes funcionales de los diferentes departamentos, tales como ingeniería de calidad, ingeniería de procesos, gerentes de programa y servicio al cliente, departamento de control de materiales, ingeniería de mejora continua y gerentes de operaciones; a su vez, cada una de estas gerencias funcionales cuentan con su propia organización en sus diferentes niveles incluyendo en algunos casos personal de labor directa e indirecta.

El sitio a intervenir es una planta de manufactura de dispositivos electrónicos que cuenta con una población aproximada de 1,500 empleados en sus diferentes áreas, operando 6 días a la semana dividida en 3 turnos laborales de 7.5 horas para labor directa y un turno administrativo de 9.5 horas operando de lunes a viernes.

1.2. Problemática percibida

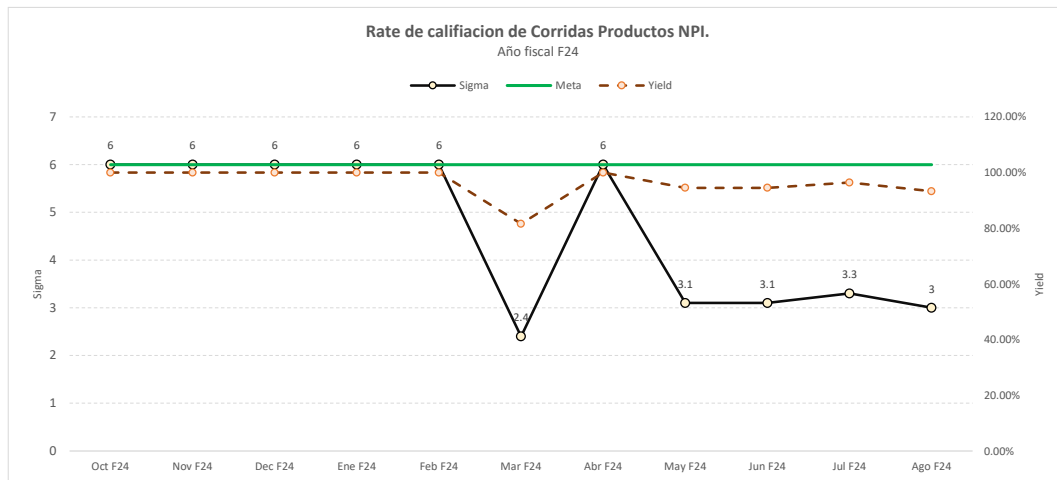
Alineado con la estrategia de crecimiento y desarrollo de la compañía en el mercado, el área relacionada con la introducción de nuevos productos es considerada clave dentro de la organización, ya que por medio de este servicio se busca la expansión de nuevos negocios, así como el crecimiento de los proyectos existentes al integrar productos adicionales a su portafolio de productos. Las empresas contratan a esta compañía para diseñar, desarrollar y lanzar sus productos; sin embargo, no siempre están preparados para la fabricación en volumen, lo que da como resultado:

- Retrasos en el lanzamiento del producto, lo que reduce la ventana de mercado a sus clientes.
- Aumento de costos y disminución de ganancias al cliente y a la compañía.
- Inestabilidad constante debido a cambios recurrentes en los productos.
- Desafíos de calidad que resultan en devoluciones de productos defectuosos, aumento de desperdicios, retrabajos y daños a la reputación de la organización.

Durante el año fiscal 2024, los representantes del área de ingeniería de este sitio recibieron notificaciones de diversos clientes reportando la presencia de defectos de soldadura en tarjetas electrónicas (PCBA), atribuibles al proceso de fabricación, como se muestra en la Figura 1. Estos defectos fueron identificados durante el proceso de recepción y calificación de nuevos lotes por parte de los clientes, en la etapa de introducción de nuevos productos para su producción en masa.

Figura 1.

Métrico de desempeño de corridas de calificación (NPI) durante el año fiscal 2024.



Nota: El gráfico representa el nivel de desempeño de la organización con relación a la efectividad del proceso de introducción de nuevos productos durante el año fiscal 2024.

Fuente: Fuente Propia con información obtenida de la base de datos propiedad de la organización.

A lo largo de este ciclo, el desempeño de los productos en etapas de calificación de nuevos productos se ubicó en un nivel promedio de 3 sigmas, muy por debajo de la línea base esperada de 6 sigmas, registrando que el 45% de los lotes que se enviaron a sus clientes fallaron el proceso de calificación debido a que fueron reportados con defectos durante el proceso de inspección de calidad por parte del cliente. Este bajo desempeño tiene un impacto directo en los planes de venta y comercialización de estos productos, afectando la satisfacción del cliente, el tiempo para el lanzamiento del producto, así como la confiabilidad del producto y del proceso de manufactura.

Cada lote reportado con errores requiere ser procesado nuevamente, consumiendo más recursos de los planeados, afectando su costo de transformación con un incremento promedio del 25% del costo inicial cotizado, debido a que se requerirá consumir material adicional para nuevas órdenes de calificación, incurrir en tiempo extra de labor para alcanzar las fechas de embarque comprometidas así como costos relacionados a el proceso de retorno de las unidades con fallas para ser reparadas y enviadas de nuevo su cliente original.

Actualmente se han implementado algunas contramedidas para minimizar los escapes de productos defectuoso, tales como un incremento en la cantidad de personal en el área de calidad que realizan funciones de inspección del producto al 100% previo a cada embarque. Este incremento en la cantidad de personal de labor directa, así como en el tiempo de proceso operativo, afectan directamente a el costo del producto reduciendo en un 12% su margen de utilidad de acuerdo a los registros financieros de la compañía.

1.3. Análisis de elementos del entorno en relación con la problemática

En la industria de la manufactura de dispositivos electrónicos, se le conoce como dispositivos electrónicos a aquellos aparatos que se integran en una combinación de componentes formados en circuitos y que están diseñados y fabricados para controlar señales eléctricas y digitales con el propósito de procesar, transmitir o almacenar algún tipo de información.

En esta industria existen modelos de negocio que están relacionados con la tercerización de diversas actividades de procesos de manufactura, diseño y/o distribución de productos. De acuerdo con John Meyes, en su artículo “*OEM, EMS, CEM, ODM, CMO: What's the difference and why does it matter?*” (2025), se describen a continuación algunos de estos modelos:

- *OEM (Original Equipment Manufacturer)*: Se refiere a toda aquella empresa que fabrica algún producto original y que puede ser utilizados en otros dispositivos de marca.
- *EMS (Electronic Manufacturing Services)*: Son empresas dedicadas a la manufactura de productos electrónicos cuya principal función es el diseño, fabricación, prueba, reparación, servicios de garantía y distribución de componentes y productos electrónicos.
- *ODM (Original Design Manufacturer)*: Se refiere al sector de la industria dedicado al diseño e ingeniería, manufactura y ensamble de productos que son comercializados por otras marcas.

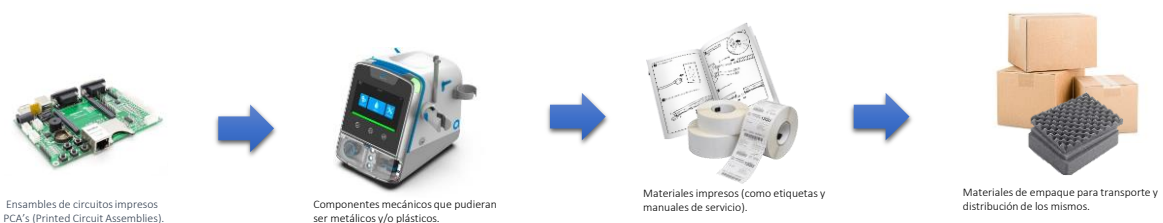
Generalmente las empresas conocidas como *OEM* contratan a otras compañías *EMS* como terceros para llevar a cabo las actividades que pudieran ser consideradas de menor valor, tales como el ensamble de productos, con el objetivo de reducir costos de producción y fabricación y permitir que la empresa *OEM* concentre sus esfuerzos y recursos en la investigación, conceptualización, diseño y desarrollo de nuevos productos, así como logística, mercadotecnia, y comercialización y distribución.

En cuanto a las partes que integran la cadena de producción, de manera general, los dispositivos electrónicos están conformados por ensambles de circuitos impresos conocidos como PCBA (*Printed Circuit Board Assemblies* por su denominación en inglés), que pudieran ser ensamblados en conjunto con componentes mecánicos, ya sean partes plásticas o metálicas y tornillería o adhesivos.

Regularmente estos dispositivos son empacados en cajas de cartón o empaques especiales para su distribución y pueden ir acompañados de materiales impresos tales como manuales e instructivos para usuario además de estar identificados con etiquetas impresas. En la Figura 2 se ilustra de manera general el proceso de manufactura de dispositivos electrónicos.

Figura 2.

Proceso general de manufactura de dispositivos electrónicos.



Nota: La imagen muestra una referencia general del proceso de manufactura de dispositivos electrónicos.

Fuente: Imagen adaptada de varias fuentes digitales para propósitos ilustrativos.

1.3.1. Manufactura de productos electrónicos en México

La industria de manufactura electrónica desempeña un papel fundamental en la economía del país. Durante el último año, esta industria ha experimentado un crecimiento significativo porque las empresas enfrentan actualmente dificultades con sus cadenas de suministro y la disponibilidad de materiales. Estos desafíos hacen indispensable la búsqueda de nuevas soluciones operativas para optimizar los costos en el suministro de productos, además de procesos de fabricación más eficientes y de mayor calidad.

Por consiguiente, países como México han generado gran interés y una visión optimista de crecimiento porque la industria electrónica representa allí un sector importante y en constante desarrollo. El Banco de Información Económica reportó que, en enero de 2024, México alcanzó un total de \$17,359,634 miles de pesos en ventas de productos relacionados con la manufactura y fabricación de equipos de computación, comunicación, medición y otros componentes y accesorios electrónicos. Esta cifra representa un aumento del 48% respecto a las ventas registradas en enero de 2019 bajo el mismo concepto (INEGI, 2024).

La proximidad de México con los Estados Unidos de América, los problemas con la localización y disponibilidad de materia prima derivados de la pandemia de COVID-19, y las estrategias de externalización de procesos de fabricación como el *Nearshoring*, que buscan optimizar gastos operativos al ubicar la producción cerca del mercado final, han impulsado el crecimiento y desarrollo de este territorio, tal como lo describe Thomson Reuters en su artículo “*Nearshoring*: La solución actual para el comercio exterior” (Reuters, 2024).

1.3.2. La Calidad en la economía de las empresas

Para las organizaciones actuales, estos son tiempos difíciles, debido a que la industria está siendo afectada por un crecimiento exponencial de nuevas empresas con propuestas innovadoras en sus modelos de negocio y tecnologías. Asimismo, los clientes en la actualidad tienen acceso inmediato a mucha información y datos que les brinda la capacidad de buscar mayores y mejores opciones en el mercado de acuerdo con sus necesidades. Por este motivo, el hecho de contar con un proceso de comercialización rápido, eficiente y de excelente calidad es fundamental para la competitividad de las compañías, puesto que existe una enorme presión en el mercado.

De acuerdo al artículo “*The Rising Economic Power Of Quality*”, publicado por la Sociedad Americana de Calidad (ASQ, 2024), las organizaciones exitosas han aprendido a ofrecer calidad de clase mundial a través de productos, procesos y personas sin importar cuán implacable sea el entorno empresarial. Estas empresas aprovechan el enorme potencial económico de la gestión de la calidad para alcanzar el liderazgo en sus respectivos mercados.

1.3.3. Riesgos detectados por la organización

La Compañía bajo esta intervención busca con esta intervención lograr cero defectos en todo su proceso de fabricación. Un elemento crítico para este éxito será su capacidad de entregar productos complejos, libres de defectos, a tiempo y a un precio justo.

La expectativa del cliente sobre la calidad de sus productos es alta, puesto que esta compañía atiende a un sector de empresas con productos electrónicos complejos y exigentes requisitos regulatorios. La organización cuenta con una estrategia de crecimiento financiero a nivel global que exige que una cultura enfocada en la calidad sea un elemento fundamental en su estrategia comercial. Finalmente, la visión y la misión de la compañía son claras y buscan guiar su forma de operar con el objetivo de que la calidad sea un diferenciador en el mercado de servicios de manufactura electrónica (EMS).

A través de encuestas de satisfacción realizados a sus clientes, los comentarios centrados en la calidad fueron predominantemente negativos durante el año fiscal 2023 y 2024, resaltando oportunidades de mejora en procesos relacionados a lanzamiento de nuevos productos. Por otro lado, se han identificado los siguientes retos en corto plazo:

- El entorno regulatorio en los siguientes años continúa evolucionando a través de cambios en las regulaciones y prácticas de aplicación de las normativas.
- La actualización y armonización de requerimientos regulatorios tales como el 21 CFR Parte 820 de la FDA con ISO 13485 referida al sistema de gestión de calidad aplicable para dispositivos médico, requerirán de un proceso de transformación importante en uno de los principales sectores productivos dentro de la organización.

Después del impacto de la pandemia por COVID-19, se ha registrado un aumento significativo en el volumen y el rigor de las inspecciones o auditorías externas lo que implicará un monitoreo constante para asegurar cumplimiento en sus diferentes áreas operativas.

1.4. Validación de las condiciones de la intervención

Como parte de sus estrategias de crecimiento, la compañía ha definido programas para identificar oportunidades de mejora, basándose en sus diferentes métricas de desempeño. Uno de los indicadores más relevantes es la efectividad del proceso de introducción de primeros productos. Este indicador se evalúa mediante los resultados de inspección y aprobación del cliente para los lotes de calificación, comparando la cantidad de lotes aprobados contra el total de lotes de calificación producidos por la organización.

Este elemento resulta crítico para la empresa, puesto que busca mantener altos estándares de cumplimiento. Esto asegura el buen funcionamiento y la confiabilidad de los productos fabricados una vez que se encuentren en operación en campo. Dada esta necesidad, se percibe una disposición al cambio por parte de los representantes de la gerencia y la dirección, así como de los miembros del equipo de ingeniería. Aunado a esta percepción, la compañía ya está desarrollando una iniciativa enfocada en la concientización de los colaboradores. Esta iniciativa busca desarrollar conductas de calidad en cada una de las diferentes áreas de operación.

El programa se enfoca principalmente en el personal de labor indirecta, donde los representantes del departamento de calidad forman una parte primordial como agentes de cambio que pueden impulsar esta propuesta. Las posiciones claves dentro de la organización involucradas en estas iniciativas e identificadas para este proyecto son las siguientes:

- Vicepresidente Regional.
- Gerente General de Planta.
- Director Regional de Calidad.
- Director Regional de Recursos Humanos.
- Miembros del departamento de Ingeniería de las diferentes áreas involucradas.

La organización tiene un sentido de urgencia debido a la necesidad de mejorar sus indicadores de calidad y la satisfacción de sus clientes; sin embargo, esto está alineado a la expectativa de progreso del proyecto a desarrollar. Por lo tanto, el objetivo que plantea la organización es obtener la visibilidad de un diagnóstico general inicial que provea un plan estratégico de mejora a largo plazo. Este plan deberá ser compartido con la dirección y se solicitará mostrar avances del proyecto en fechas a convenir con las partes interesadas. La compañía requiere que este proyecto de intervención se lleve a cabo durante el año fiscal 2025, mismo que comprende desde el mes de octubre de 2024 hasta el mes de septiembre de 2025.

Para el trabajo colaborativo de esta intervención, se llevarán a cabo sesiones de trabajo con los miembros de la compañía. La disponibilidad requerida será de seis horas por semana por parte del consultor (aproximadamente dos horas, tres días a la semana) y de dos horas semanales por parte de las áreas involucradas.

1.5. Delimitación y área funcional por intervenir

Este proyecto de intervención se estará llevando a cabo con un enfoque en el proceso de gestión y administración para la fabricación de tarjetas electrónicas, también conocidas como PCBA. Se estarán abordando áreas involucradas en el proceso de manufactura, tales como ingeniería de introducción de nuevos productos, ingeniería de calidad, ingeniería de procesos y pruebas e ingeniería de manufactura, así como área de gestión de programas y atención a clientes. El personal administrativo de estas áreas cuenta con una jornada laboral de lunes a viernes de 7 a.m. a 4:30 p.m.

1.6. Diagnóstico preliminar: primera hipótesis

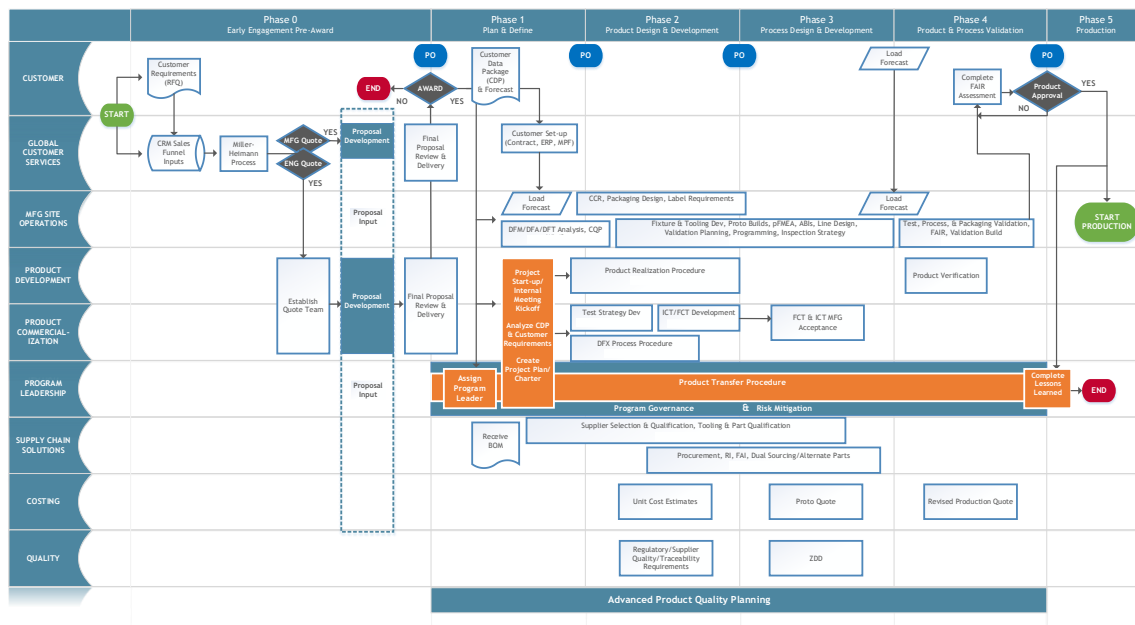
Para la introducción de nuevos productos, la organización emplea la metodología de Planificación Avanzada de la Calidad del Producto (APQP), acrónimo de *Advanced Product Quality Planning*. Esta metodología, originada en la industria automotriz y descrita por la AIAG, tiene como objetivo asegurar el desarrollo y la producción de productos de alta calidad que cumplan consistentemente con los requisitos y las expectativas del cliente (Automotive Industry Action Group, 2024).

APQP es un marco preventivo que incluye una serie de herramientas y pasos esenciales, como la evaluación de riesgos través de la metodología del Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) de diseño y proceso (Juran, 1999), los planes de control y las pruebas de producción. Su correcta ejecución garantiza que toda la planificación y preparación necesaria se realice antes de la producción en masa. Al enfocarse en la prevención de problemas de calidad, APQP mejora la satisfacción del cliente y fomenta la mejora continua, impactando positivamente en el desempeño financiero y el sistema de administración de la organización.

Como parte del diagnóstico preliminar de este proceso administrativo, se realizó una evaluación inicial de las partes interesadas que interactúan durante la ejecución de la metodología APQP para la fabricación de tarjetas electrónicas. La Figura 3 ilustra la complejidad del proceso, mostrando la interrelación de múltiples documentos y actividades que deben ser ejecutados en distintas fases por representantes de diferentes departamentos.

Figura 3.

Diagrama de flujo para el proceso de introducción de nuevos productos dentro de la organización.



Nota: Diagrama de flujo que detalla la interacción interdepartamental y la secuencia de procesos (negociación-fabricación) en la introducción de nuevos productos.

Fuente: Imagen obtenida de documentación propiedad de la organización.

Adicionalmente, se realizan entrevistas a representantes del equipo de manufactura, áreas de ingeniería y representantes de la gerencia funcional quienes comparten las siguientes observaciones como causas potenciales en la generación de defectos en líneas de operación durante este proceso de introducción:

Análisis de involucrados – Personal Labor Directa

- Grupo I – Observaciones compartidas por parte de miembros del equipo de manufactura:
 - Las ayudas visuales que son publicadas para ensamble son confusas en su contenido (fotos o texto no claro, error en la secuencia de proceso) y no son actualizadas después de las corridas de calificación.
 - El personal no cuenta con el herramental completo al momento de la operación para realizar sus actividades.
 - Representantes del área de ingeniería realizan cambios en las instrucciones de trabajo sin notificar al personal de manufactura por lo que no se identifican en tiempo y forma las modificaciones que afectan el proceso.
 - Los flujos de las unidades son confusos al momento de ejecutar en línea de manufactura.
 - Los menús del sistema de trazabilidad y ejecución de fabricación (MES) están en inglés por lo que algunos módulos no se entienden.
 - Existe rotación de personal y al moverlos no se provee de la capacitación adecuada para realizar la nueva tarea asignada.
 - En ocasiones se cambia la presentación de la materia prima y se tiene que adecuar el proceso (ejemplo: cambio de presentación en rollo a tubo para material de SMT) sin las previsiones adecuadas.

- Grupo II – Observaciones por parte del personal de equipo de Inspectores de calidad:
 - El personal menciona que han identificado herramientas de inspección dañadas (microscopios, lupas, plantillas) y no han sido reparadas o reemplazadas lo que dificulta la ejecución de sus actividades.
 - Las ayudas visuales para inspección no son claras. Las imágenes de referencia son confusas.
 - No se tiene el entrenamiento adecuado para conocer los criterios de inspección de acuerdo con el estándar IPC (Institute for Printed Circuits, 2020) o estándares de cliente.
 - Se realizan cambios en los documentos que no son notificados a los inspectores.
 - No siempre se retroalimenta al personal de la línea de los defectos reportados por el cliente para evitar recurrencias.
 - Existe presión por parte de supervisores de manufactura para alcanzar los números de producción lo que genera estrés en inspectores de calidad que apresuran el proceso.
 - No se respetan los paros de línea por recurrencia de errores identificados en los productos.
 - El sistema *MES* para captura de defectos identificados en los productos está configurado en idioma inglés por lo que existe riesgo de que los datos que se capturan en sistema sean incorrectos.

- Los documentos de los clientes como Dibujos y estándares de calidad que en ocasiones se indican como referencias están en inglés lo que hace complicado entender la información.

Análisis de involucrados – Personal Labor Indirecta

Tras una sesión de lluvia de ideas, el equipo de ingeniería y gerencia comparte la retroalimentación clave sobre la ejecución del proceso APQP. Estas observaciones se centran en los factores que consideran causas potenciales de la generación y escape de defectos en las líneas de operación durante el proceso de NPI (Introducción de Nuevo Producto).

- Grupo III – Observaciones por parte de representantes del equipo de ingeniería de Calidad, Procesos, NPI y Manufactura:
 - La información que se recibe por parte del cliente no siempre es clara y está completa.
 - La programación de las corridas de calificación no considera tiempos requeridos para la configuración adecuada de los programas y sistemas operativos lo que genera una compresión de las actividades a realizar.
 - Las corridas de calificación son programadas por parte del equipo de planeación en turnos en los que no se cuenta con el soporte completo del equipo de ingeniería o del cliente (por ejemplo, turno nocturno).

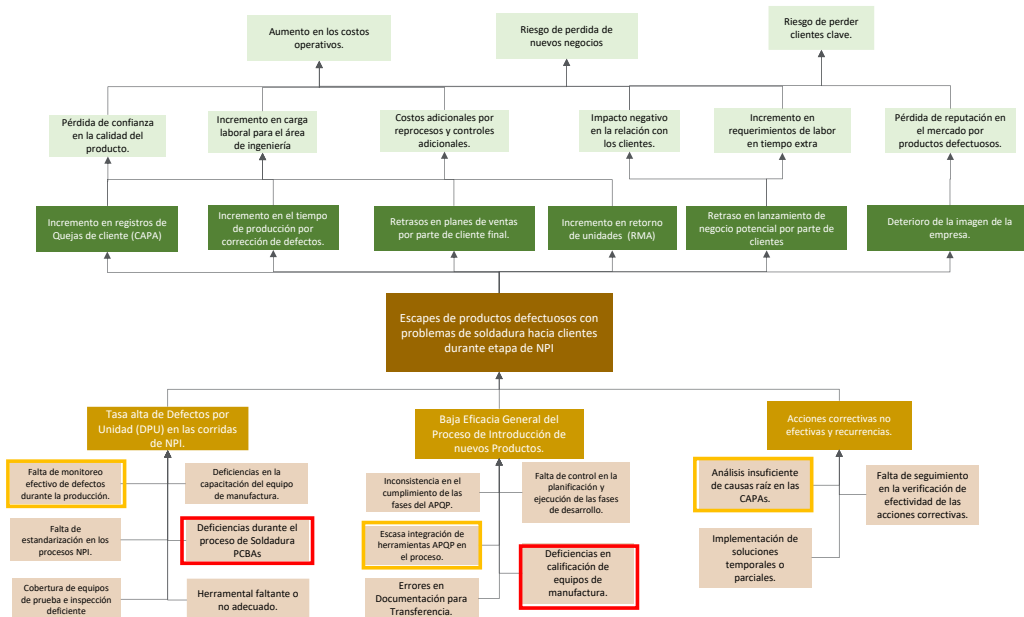
- Se cuenta con un número limitado de recursos para ejecutar todas las actividades requeridas dentro del proceso de APQP.
 - Existen cambios de planes y prioridades por parte del cliente o la organización que son comunicados al equipo sin la planeación pertinente lo que genera descontrol y tropiezos durante la ejecución.
 - No existe una verificación de herramientas deficientes previo a la introducción a operación o liberación a producción en masa.
 - Los problemas de diseño en productos no son identificados de manera adecuada en etapas tempranas del arranque del producto.
 - Se presentan errores en implementación de cambios de ingeniería (ECO) derivados del proceso de introducción del producto en ambientes de manufactura.
- Grupo IV – Representantes de la gerencia y dirección regional. La alta dirección percibe que el equipo de ingeniería está operando de manera reactiva, lo que contrasta con la expectativa de una gestión proactiva. Se espera que el equipo lidere la definición e implementación de controles preventivos para evitar errores y fugas. Esto implica:
 - Comprender a fondo las necesidades y requisitos del cliente.
 - Asegurar su correcta implementación en los procesos de producción.
 - Demostrar un mayor liderazgo en las celdas de manufactura para garantizar la calidad del producto final.

1.6.1. Análisis de la problemática

A partir de un ejercicio de lluvia de ideas realizada como parte del diagnóstico inicial, y utilizando la técnica de árbol de problemas de acuerdo a la metodología del marco lógico para la planificación, seguimiento y evaluación de proyectos y programas de la CEPAL - Serie Manuales de Ortigón et al (2005), se identificaron las causas y efectos potenciales relacionados con el problema central, tal como se muestra en la Figura 4.

Figura 4.

Árbol de problemas como herramienta para identificación de las causas y efectos potenciales relacionados con el problema central.



Nota: Mediante el uso de la metodología de árbol de problemas se identifican las principales causas y consecuencias de dentro de la problemática que observa la organización.

Fuente: Elaboración Propia.

Del análisis preliminar, se identificaron las causas de los defectos generados durante el proceso de manufactura. Este fenómeno constituye el mayor contribuidor a las ineficiencias en la soldadura de tarjetas electrónicas y ha provocado escapes de fallas al cliente, haciendo imprescindible un análisis más profundo.

Además, dado su impacto negativo en la satisfacción del cliente y en la competitividad de la empresa, es urgente proponer soluciones efectivas y adaptadas a las características del proceso de fabricación. Por lo tanto, comprender las causas estructurales y las implicaciones de este problema es clave para desarrollar estrategias que permitan mitigar sus efectos.

1.6.2. Hipótesis inicial

Una intervención efectiva en el proceso de soldadura de PCBA, al abordar las causas más significativas de los defectos de manufactura, reducirá la Tasa de defectos por unidad (DPU). Esto, a su vez, mejorará el rendimiento (*yield*) y optimizará significativamente la capacidad instalada de la planta, minimizando la necesidad de retrabajo y el desperdicio.

Esta mejora en el desempeño de calidad se traducirá directamente en una disminución de los defectos entregados a clientes (DPPM) y de las acciones correctivas y preventivas (CAPA). Dicha reducción no solo incrementará la satisfacción del cliente, sino que también mitigará el impacto financiero negativo asociado a las fallas de calidad. Existe una relación directa entre un desempeño de calidad bajo (medido por el *yield*) y los defectos que escapan al cliente.

Al optimizar la manufactura y prevenir estas fallas en las etapas críticas del proceso, la organización potenciará su eficiencia operativa, logrando un mayor volumen de producto de alta calidad con un uso optimizado de recursos y activos.

1.7. Objetivos de la intervención

Haciendo uso de la metodología S.M.A.R.T. (Específicos, Medibles, Alcanzables, Relevantes y con un Tiempo definido) (Doran, 1981), se define el objetivo de este proyecto de intervención:

- **Específico:** Lograr que el equipo de manufactura e ingeniería involucrado en los procesos de transformación del producto mantenga estándares consistentes de calidad al proporcionar herramientas adecuadas para facilitar la administración y planeación de las fases de ejecución de manufactura.
- **Medible:** El éxito se medirá por la reducción del tiempo en la fase de planificación y ejecución en un 20% y al alcanzar una tasa de defectos inferior al 2% en lotes embarcados de productos durante la operación en su lanzamiento de calificación.
- **Alcanzable:** A través de un seguimiento constante y un enfoque en la mejora continua, se implementarán mejoras en los procesos de gestión de introducción de primeros productos.

- **Relevante:** Este objetivo es crucial para mejorar la eficiencia y la calidad del proceso de manufactura, y está alineado con los esfuerzos de innovación de la empresa, contribuyendo directamente a la satisfacción del cliente y a la reducción de costos por reprocesos.
- **Tiempo:** Este objetivo se alcanzará en un periodo de 12 meses.

1.8. Relevancia y pertinencia del trabajo

Para la organización, mantener altos estándares de calidad es fundamental, ya que permite a sus clientes posicionar exitosamente sus productos y soluciones en el mercado. Este factor contribuye directamente al cumplimiento de los objetivos de crecimiento y expansión establecidos para los próximos años. En este contexto, la realización de un proyecto de intervención con un enfoque estructurado resulta clave para identificar áreas críticas de oportunidad en el sistema de gestión y administración de la introducción de nuevos productos.

Mediante esta propuesta, se desarrollarán estrategias concretas que permitirán alcanzar un nivel excepcional de calidad en la manufactura, que fortalecerá la posición de la compañía como un diferenciador estratégico en el sector de Servicios de Manufactura Electrónica (EMS). Además, estoy convencido de que este proyecto contribuirá de manera significativa a mi desarrollo profesional y personal, al brindarme la oportunidad de aplicar las herramientas y conocimientos adquiridos durante esta maestría, con el apoyo de mis tutores y la colaboración activa de los colegas con quienes interactuaré.

CAPÍTULO 2

Marco conceptual de referencia

2.1. Estado de la cuestión

2.1.1. Antecedentes de las tarjetas electrónicas

Hoy en día es bastante común interactuar con dispositivos electrónicos en nuestra vida cotidiana y en una gran variedad de formas y tamaños para varias aplicaciones. Antes de la invención de las placas de circuito impreso o PCB, los dispositivos electrónicos funcionaban a través del ensamble de múltiples cables y componentes de gran tamaño, lo que era complicado para lograr la masificación de los productos y el alcance para más usuarios.

El desarrollo de PCB para circuitos electrónicos revolucionó este sector al permitir que cada vez sean desarrollados dispositivos más pequeños y eficientes (Fineline Global Group, 2024). Técnicamente, una tarjeta electrónica se refiere a una base o placa de circuito impreso construida por pistas de material conductor laminadas sobre una base conductora y montada sobre placas de material aislante que puede estar formado de varias capas que permitirán la conexión de los componentes electrónicos entre sí. El circuito impreso se utiliza para conectar eléctricamente a través de las pistas conductoras, y sostener mecánicamente, por medio de la base, un conjunto de componentes electrónicos.

Las pistas son generalmente fabricadas a base de cobre, mientras que las tarjetas se fabrica generalmente de resinas de fibra de vidrio reforzada o polímeros como la baquelita entre otros (Keim, 2020). Un evento crucial que impulsó la popularización y crecimiento de las tarjetas electrónicas fue la creación de los circuitos integrados (IC). Como Horowitz y Hill lo describen en el libro “*The Art of Electronics*” (2015), los IC son simplemente conjuntos de transistores y otros componentes construidos a partir de un solo chip de material semiconductor que reemplazaron a los transistores discretos. Con la introducción de estos componentes, el uso de tarjetas electrónicas se volvió indispensable para los desarrolladores de dispositivos, consolidando su relevancia tecnológica.

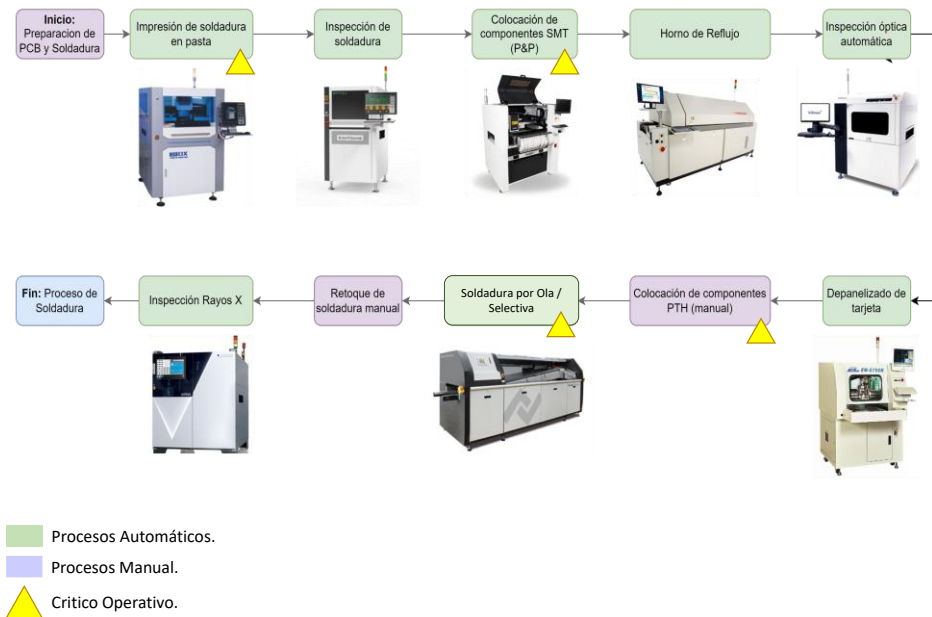
2.2. Conceptos y enfoques teóricos relacionados

2.2.1. Proceso de impresión de soldadura en tarjetas electrónicas

En la manufactura de PCBA (ensambles de tarjetas de circuitos impresos), los procesos de soldadura son clave para unir los componentes electrónicos a la tarjeta. Existen diferentes tipos de tecnologías para lograr este cometido, desde el proceso de impresión de soldadura en pasta, que es una de las partes más importantes del proceso de ensamblaje de montaje en superficie, hasta métodos de soldado de componentes que pasan a través de un flujo de soldadura por efecto de ola o soldadura selectiva compuestos de soldadura fundida. En la Figura 5 se ilustra un diagrama de flujo típico para el proceso general soldadura de tarjetas electrónicas.

Figura 5

Diagrama general de proceso de soldadura de tarjetas electrónicas.



Nota: Referencia de un flujo típico de manufactura de tarjetas electrónica a través del proceso de soldadura.

Fuente: Imagen adaptada de varias fuentes digitales para propósitos ilustrativos.

2.2.2. Descripción de procesos clave de soldadura para en la manufactura de tarjetas electrónicas

A continuación, se describe de manera general los procesos involucrados en la manufactura de tarjetas electrónicas, también conocidas como PCBA.

- a. Impresión de soldadura en pasta: En el proceso de impresión, se lleva a cabo el depósito con precisión de soldadura en pasta sobre la tarjeta de circuito impreso. Esto se logra a través de un proceso de serigrafía en el que la pasta de soldadura es colocada a través de una lámina perforada

también conocida como estencil en cada una de las almohadillas conductoras de la tarjeta. El método más común para aplicar pasta de soldadura sobre el estencil es utilizando una cuchilla de goma y posteriormente por medio de herramientas llamadas raspadores o “*squeegees*” ubicadas dentro de la máquina de impresión de pasta se aplica fuerza para mover la pasta de soldadura a través de la plantilla y hacia la PCB (Keens, 2024).

- b. Proceso de inspección de soldadura: Generalmente existen dos métodos principales para inspeccionar PCB impresos, ya sea a través de máquinas de inspección en 2D y 3D. La inspección 3D de soldadura en pasta tiene la capacidad no solo de comprobar que la cobertura del área de soldadura en pasta es adecuada de acuerdo al estándar definido por la organización, sino que también puede medir con precisión la forma y el volumen de los depósitos de soldadura en pasta en cada una de las ubicaciones donde fue colocada (Koh Young America, 2024).
- c. Proceso de colocación de componentes SMT (*Pick and Place*): Para llevar a cabo este proceso se utiliza una máquina de colocación automática de componentes, también conocidas como “*Pick and Place*”. Estas máquinas están diseñadas para colocar componentes de montaje superficial (SMD, por sus siglas en inglés) de forma rápida y precisa en cada una de las ubicaciones requeridas de acuerdo al diseño digital de la tarjeta electrónica. Estos dispositivos utilizan un cabezal con múltiples boquillas que funciona a través de aire y vacío, por medio de esta recoge los componentes de un

alimentador y los coloca con precisión en las ubicaciones designadas en la PCB, utilizando tecnología de visión para asegurar la alineación correcta (The hub for Surface Mount Technology, 2024).

- d. Horno de reflujo: Un horno de reflujo es un equipo utilizado para soldar componentes electrónicos de montaje superficial (SMD) a la tarjeta. El proceso de soldadura por reflujo se basa en la convección del calor dentro del horno sobre la soldadura en pasta previamente aplicada, para calentarla de manera controlada hasta que se funde y conecte los componentes a las almohadillas de cobre de la tarjeta. El horno de reflujo se divide en varias zonas de temperatura, diseñadas para llevar a cabo un ciclo térmico específico que incluye cuatro etapas principales: precalentamiento, remojo, reflujo y enfriamiento (NeoDen, 2021).
- e. Inspección óptica automática: La AOI (*Automated Optical Inspection* o Inspección Óptica Automatizada) es un sistema utilizado en el proceso de fabricación de tarjetas de circuito impreso para inspeccionar de manera automática las placas en busca de defectos después de etapas como la colocación de componentes (pick-and-place) y el proceso de soldadura por reflujo, ya que asegura la calidad del ensamblaje además de ayudar a identificar posibles errores. En un proceso de AOI, una cámara de alta resolución captura imágenes de la PCB y las compara con un modelo ideal preprogramado y a través de este modelo de comparación, el equipo determina si el producto es aceptable o no. Los principales aspectos que verifica una máquina AOI incluyen la verificación de presencia y orientación

de componentes, detección de soldaduras defectuosas en uniones inter metálicas, faltantes de componentes, así como la verificación de polaridad y alineación de los mismos (Vitoriano & Amaral, 2011).

- f. Proceso de ensamble de componentes con tecnología *Trough- Hole Technology* (THT): El proceso de ensamble de componentes con tecnología *Trough- Hole Technology* o ensamble a través de orificios se refiere al método de montaje en el que los elementos son insertados en agujeros perforados en las tarjetas de circuitos impresos y soldados en sus terminales por el lado opuesto del dispositivo (Global Well PCBA, 2025). Típicamente este proceso de montaje se realiza de manera manual y es soldado a través del uso de máquinas de soldadura por ola.
- g. Soldadura por efecto Ola o Selectiva: Se refiere al proceso por el que los componentes electrónicos de tecnología “THT” son soldados a la placa de circuito impreso a través del uso de olas de pasta de soldadura fundida formando una cascada de fluido soldante por el que atraviesa la PCBA para unir el metal de los componentes a la tarjeta por el lado contrario a donde fueron montados los mismos y permitiendo que las zonas metálicas que quedan expuestas creen una conexión eléctrica (UnityPCB, 2024).
- h. Inspección Rayos X: El proceso consiste en utilizar radiación de rayos X para penetrar en la placa de circuito impreso y capturar imágenes detalladas de sus componentes internos.

El objetivo principal es identificar defectos que pueden no ser visibles a través de métodos de inspección visual convencionales (Wang, 2023).

2.3. Análisis de referencia para el cambio

Con la información recabada y analizada hasta este punto sobre el estado de la cuestión, los conceptos técnicos y el contexto de la organización, se procederá al análisis de referencia utilizando el método de la Matriz de Marco Lógico (MML) para abordar el problema central.

La Metodología de Marco Lógico fue desarrollada en 1969 como una herramienta útil para facilitar la conceptualización, el diseño, la ejecución y la evaluación de proyectos a partir de sus variables e indicadores (Ortegón, Pacheco, & Prieto, 2005). Para crear la MML de esta intervención, es necesario estructurar los elementos clave del proyecto, partiendo del objetivo general y detallando las actividades específicas. El propósito de esta intervención está centrado en mejorar la calidad, eficiencia y consistencia del proceso de soldadura de PCBA (ensamblaje de circuitos impresos), tal como se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1.

Matriz de Marco Lógico (MML) para la intervención en el proceso de soldadura de PCBA.

Requerimiento de la Organización	Indicadores Verificables	Medios de Verificación	Supuestos o Riesgos
Objetivo General: Mejorar la calidad y eficiencia del proceso de soldadura en el ensamble de PCBA's	-Reducción del 20% en los defectos de soldadura en 6 meses. -Incremento del 15% en la productividad en 6 meses.	-Informes de producción. -Reportes de calidad y auditorías.	-Disponibilidad de recursos suficientes para la implementación.
Objetivo Específico: Optimizar el proceso de soldadura mediante la estandarización, capacitación y mejora del control de calidad.	-Procedimientos estandarizados y documentados para el proceso de soldadura. -100% del personal capacitado en las nuevas técnicas en 3 meses.	-Procedimientos operativos estándar (POE). - Lista de asistencia a capacitaciones.	- Resistencia del personal al cambio. - Disponibilidad del equipo para capacitación.
Resultados Esperados: 1. Reducción de defectos. 2. Aumento de la productividad. 3. Estándares implementados. 4. Personal capacitado.	-Reducción del 20% en fallos de soldadura. - Incremento del 15% en el rendimiento del ensamble. - 100% de cumplimiento en las inspecciones de calidad.	-Informes de calidad. - Informes de producción antes y después de la intervención. - Auditorías de calidad.	- Fallas en el suministro de materiales o equipos.
Actividades: 1. Análisis del proceso. 2. Desarrollo de estándares. 3. Capacitación del personal. 4. Implementación de controles de calidad. 5. Monitoreo del proceso.	-Informe de análisis y diagnóstico del proceso de soldadura. - Plan de estándares documentado y aplicado. - Número de empleados capacitados. - Auditorías de calidad implementadas mensualmente.	- Informes de diagnóstico. - Documentos de estandarización. - Registros de capacitación. - Resultados de auditorías internas.	- Cambios tecnológicos que afecten el proceso. - Falta de cooperación por parte del personal.

Nota: La Matriz de Marco Lógico para la intervención del proceso de soldadura de tarjetas electrónicas es utilizada como proceso de conceptualización, diseño, ejecución y evaluación de proyectos a partir de sus variables.

Fuente: Fuente Propia.

CAPÍTULO 3

Diagnóstico profundo: Marco de referencia y estrategia de intervención

3.1. Definición de la estrategia de intervención, selección de las herramientas requeridas y el cronograma del diagnóstico profundo

3.1.1. Definición de la estrategia de intervención

Esta propuesta estratégica para la manufactura de tarjetas electrónicas busca incrementar la rentabilidad organizacional mediante la reducción de defectos, la eficiencia en los tiempos de producción y la optimización de recursos.

La intervención se fundamenta en la metodología de Planificación Avanzada de la Calidad del Producto (Automotive Industry Action Group, 2024), garantizando una ejecución estructurada para alcanzar los siguientes objetivos cuantificables:

- Reducción de la Tasa de Defectos (DPU): Disminuir la Tasa de Defectos por Unidad (DPU) a menos del 2% en los lotes de producción del producto estratégico, en concordancia con los objetivos de negocio.
- Optimización de Tiempos de Producción: Reducir el tiempo total de ciclo en un 20% a través de la mejora continua de procesos y la eliminación de desperdicios.
- Incremento de la Eficiencia Financiera: Mejorar el margen de utilidad de la organización mediante la reducción de costos asociados a reprocesos y desperdicios (*scrap*).

- Aseguramiento de la Satisfacción del Cliente: Elevar la calidad del producto entregado para disminuir significativamente las reclamaciones de los clientes.

3.1.2. Selección de las herramientas requeridas

Para la implementación de la estrategia de intervención se utilizarán las siguientes herramientas de gestión y mejora de procesos:

- Diagrama SIPOC (MacNeil, 2024): Para caracterizar los procesos y definir entradas, procesos y salidas clave.
- Análisis FODA (Raeburn, 2024): Para identificar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de los diferentes procesos de manufactura, tales como SMT, Ensamble manual y soldadura por ola y selectiva.
- *Value Stream Mapping (VSM)* (Team Asana, 2024): Para visualizar el flujo de valor e identificar oportunidades de eliminación de desperdicios.
- Diagramas de Pareto (Juran & Godfrey, 1999): Para priorizar las principales fuentes de defectos en la producción.
- Análisis financiero a través de la evaluación de estados de resultados de la planta a intervenir.

Diagrama SIPOC para caracterización de proceso

El diagrama SIPOC (Acrónimo de *Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers*) es una herramienta fundamental que proporciona una visión general de un proceso, documentando a sus proveedores, entradas, procesos, salidas y clientes. Este diagrama ilustra el flujo de materiales o datos entre los participantes y se utiliza frecuentemente para comprender o mejorar procesos, especialmente aquellos vinculados a la experiencia del cliente (MacNeil, 2024).

A través del diagrama SIPOC, se ha realizado un análisis exhaustivo de cada proceso involucrado en la fabricación de las tarjetas electrónicas utilizadas por la organización. Dichos procesos se han dividido según su tecnología: Montaje Superficial (SMT) y Tecnología de Agujero Pasante (THT). La evaluación detallada de estos elementos clave se presenta en la Tabla 2 (Proceso SMT) y la Tabla 3 (Proceso THT). Este análisis no solo describe la operación productiva, sino que, además, alinea cada elemento SIPOC con decisiones estratégicas y operativas que buscan maximizar la eficiencia, la competitividad y la rentabilidad del negocio.

Tabla 2.

Diagrama SIPOC para el proceso de Soldadura por Tecnología de Montado de Superficie (PCBA).

S	I	P	O	C
Proveedores	Entradas	Proceso	Salidas	Cientes
Proveedores de Químicos	Soldadura en Pasta Flux	Mediante el proceso de Impresión de pasta de soldadura, se aplica pasta de soldadura sobre las áreas de las almohadillas (pads) en la PCB usando una plantilla o stencil. Los componentes SMD (Surface Mount Devices) se colocan automáticamente sobre la PCB mediante máquinas pick-and-place. La PCB pasa por un horno de reflujo donde la pasta de soldadura se derrite y luego se solidifica, creando las uniones entre los componentes y la PCB.	PCBA con componentes SMD colocados y soldados a la tablilla de acuerdo a especificaciones de cliente.	Ciente Interno: - Proceso de Ola. - Proceso de ensamble Final. Ciente Externo.
Proveedores de Materia Prima	Componentes SMT			
Departamento de Ingeniería Procesos	Herramental - Dispensador de Pasta Herramental - Esténcil Máquina - Impresora de Pasta Programa - Impresión de Pasta Máquina - Inspección de volumen de pasta Programa - Inspección Soldadura de Pasta (SPI) Programa - Inspección de volumen de pasta Máquina - Pick and Place para colocación de componentes Programa - Colocadora de componentes para máquina Pick and Place Máquina - Horno de Reflujo. Programa - Perfil de Horno de Reflujo Documento - Ayuda visual para proceso de inspección de pasta			
	Departamento de Ingeniería de Pruebas Máquina - AOI Programa - Inspección Automática Óptica (AOI) Documento - Ayuda visual para proceso de Inspección AOI			

Fuente: *Fuente Propia.*

Tabla 3.

Diagrama SIPOC para proceso de Soldadura por Tecnología de Ola / Selectiva.

S	I	P	O	C
Proveedores	Entradas	Proceso	Salidas	Cientes
Proveedores de Químicos	Soldadura en Barra Flux	Este proceso se utiliza principalmente para componentes THT (Through-Hole Technology), pero también puede complementar el SMT en placas híbridas. La PCB pasa por una máquina que aplica flux, un químico que ayuda a limpiar y preparar las superficies metálicas para la soldadura, posteriormente la PCB se mueve sobre una ola continua de soldadura fundida, donde los pines de los componentes THT quedan soldados al atravesar la ola para finalmente solidificar la soldadura aplicada mediante un proceso de enfriamiento formando las uniones eléctricas y mecánicas.	PCBA con componentes SMD y PTH colocados y soldados a la tablilla de acuerdo a especificaciones de cliente.	Ciente Interno: - Proceso de ensamble Final. Ciente Externo.
Proveedores de Materia Prima	Componentes Pin Through-Hole (PTH)			
Departamento de Ingeniería Procesos	Herramental - Dispensador de Soldadura Herramental - Pallet de ensamble Máquina - Soldadora por Tecnología de Ola Programa - Ola de Soldadura Programa - Perfil Ola de Soldadura			

Fuente: *Fuente Propia.*

Resumen de Análisis SIPOC

La calidad de las entradas (*inputs*) impacta directamente las salidas (*outputs*); por ejemplo, una mala aplicación de pasta de soldadura en SMT puede generar defectos que afecten después en soldadura de ola o soldadura selectiva.

- Puntos críticos:
 - En SMT: Precisión de la máquina pick-and-place y perfil de temperatura del horno.
 - En Soldadura de Ola / Selectiva: Ajuste correcto del equipo y limpieza adecuada.
 - Medidas de calidad: Implementar inspecciones y pruebas en ambas etapas para garantizar que cada proceso entregue una salida libre de defectos.
- Consideraciones estratégicas para la optimización de beneficios para la organización.
 - *Suppliers* (Proveedores): Evaluar la confiabilidad y capacidad de los proveedores clave para evitar interrupciones e implementar contratos estratégicos para asegurar costos competitivos y estabilidad en el suministro.
 - *Inputs* (Entradas): Optimizar la gestión de inventarios para reducir costos y garantizar disponibilidad e invertir en entrenamiento de personal para mantener estándares de calidad.

- *Process* (Proceso): Implementar herramientas de mejora continua (*Lean, Six Sigma*) además de evaluar la viabilidad de automatizar procesos adicionales para incrementar la eficiencia.
- *Outputs* (Salidas): Alinear los *KPIs* operativos con los objetivos estratégicos del negocio.
- *Customers* (Clientes): Diversificar la cartera de clientes para reducir riesgos de dependencia. desarrollando relaciones estratégicas de largo plazo con clientes clave.
- Consideraciones de impacto financiero y administrativo para la compañía:
 - Evaluar el impacto del costo de los materiales en el margen de contribución.
 - Analizar escenarios de retorno de inversión (ROI) en tecnología avanzada (máquinas más rápidas y precisas).
 - Mitigar riesgos por la dependencia de componentes críticos en mercados volátiles (ej. semiconductores) a través de desarrollo de proveedores alternos y estrategias de *nearshoring*.
 - Referente al impacto en sostenibilidad, integrar criterios de manufactura verde y cumplir con regulaciones ambientales (ej. RoHS).

Análisis FODA (SWOT)

El análisis FODA o *SWOT* (por sus siglas en inglés) es una técnica ampliamente utilizada para identificar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de una organización o de un proyecto específico. Su propósito es ayudar a detectar oportunidades de mejora competitiva, ya que mediante el análisis adecuado de estos factores se puede planificar estratégicamente el crecimiento de las organizaciones (Raeburn, 2024).

Mediante la aplicación del Análisis FODA, se han identificado las principales fortalezas de la organización dentro del proceso de manufactura de PCBA, que representan ventajas competitivas clave que deben aprovecharse para impulsar el desempeño organizacional. En paralelo, el análisis de las amenazas externas ha permitido reconocer factores potencialmente adversos que podrían impactar a la organización.

Estos hallazgos sientan las bases para el desarrollo de estrategias de mitigación y planes de contingencia, buscando minimizar el impacto de dichos riesgos e incrementando la resiliencia y la capacidad de respuesta de la compañía ante desafíos futuros. Los resultados detallados de este ejercicio se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4.

Resultados de análisis FODA aplicado al proceso de fabricación de tarjetas electrónicas.

Fortalezas (Strengths)	Debilidades (Weaknesses)
Alta precisión y eficiencia: Las máquinas automatizadas para fabricación de tarjetas electrónicas con las que cuenta la organización ofrecen alta precisión en la colocación de componentes, lo que mejora la consistencia y calidad de las uniones de soldadura.	Costos de maquinaria elevados: La adquisición e instalación de equipos SMT y la capacitación del personal pueden requerir una inversión significativa para los casos en los cuales la compañía requiera de instalar o reemplazar equipos
Velocidad en la producción: El proceso es rápido y permite soldar múltiples componentes simultáneamente. Esto es importante ya que la organización cuenta con productos de altos volúmenes de producción.	Complejidad del proceso: La configuración de las máquinas para características tales como parámetros, temperatura de reflujo y velocidad de colocación, puede ser compleja y requiere conocimientos técnicos avanzados incrementando los costos de capacitación y contratación.
Capacidad de producción en masa: La organización cuenta con capacidades de soldadura por ola, que es ideal para altos volúmenes de producción de tarjetas electrónicas que requieren el uso de tecnologías tradicionales (PTH)	Dependencia de materiales específicos: Se requiere el uso de materiales específicos tales como soldaduras sin plomo o ciertos adhesivos, que pueden ser costosos o difíciles de obtener en caso de problemas en la cadena de suministro.
Integración con inspección automatizada: Las líneas de producción cuentan con equipo de inspección automatizada, lo cual facilita la detección temprana de defectos y asegura un control de calidad elevado a través de métodos como AOI y rayos X.	Mantenimiento especializado: La maquinaria para la fabricación de tarjetas electrónicas necesitan mantenimiento regular, y la falta de personal capacitado puede provocar tiempos de inactividad o costos elevados por fallas en equipos o de sus componentes.
Menor consumo de energía: Los hornos de reflujo y las tecnologías de soldadura SMT pueden estar optimizados para menor uso de energía en comparación con métodos tradicionales.	Sensibilidad del proceso a variaciones en el diseño y calidad de materiales: Variaciones en el equipo, material o químicos utilizados pueden generar defectos si no se controlan adecuadamente. Estos defectos tienen como consecuencia impactos financieros debido a SCRAP, retrabajos o tiempo de labor adicional.
Oportunidades (Opportunities)	Amenazas (Threats)
Avances en automatización: La incorporación de inteligencia artificial al sistema integral de manufactura así como aprendizaje automático para optimizar la inspección de calidad y ajustar parámetros en tiempo real.	Obsolescencia de equipos: Los rápidos avances tecnológicos pueden hacer que los equipos utilizando actualmente para la manufactura de tarjetas electrónicas queden obsoletos en pocos años.
Crecimiento de la demanda global de dispositivos electrónicos: Lo cual ayuda a impulsar la necesidad de tarjetas electrónicas de alta calidad y a precios competitivos.	Escasez de componentes: La dependencia de la cadena de suministro global puede llevar a escasez de componentes o a retrasos, afectando la producción.
Alianzas con proveedores locales para asegurar la cadena de suministro y reducir tiempos de entrega y costos de transporte de componentes.	Competencia en costos: Competidores de bajo costo o ubicados en zonas de producción económica pueden presionar a la baja los precios.
Integración de Líneas de manufactura para fabricación de tarjetas 100% automatizadas para eficiente el proceso de transformación del producto y reducir los riesgos de calidad y desperdicio al minimizar las variaciones por manipulación de producto y equipos.	Regulaciones ambientales: La necesidad de cumplir con regulaciones ambientales y de seguridad (como la restricción de sustancias peligrosas o RoHS) puede agregar costos y complejidad al proceso.

Nota: Las estrategias derivadas del análisis FODA se enfocan en maximizar el valor para la empresa mediante decisiones estratégicas y operativas que consideren aspectos financieros, organizacionales y de mercado.

Fuente: Fuente Propia.

Value Stream Mapping (VSM) para el proceso de fabricación de tarjetas electrónicas

El Mapa de Flujo de Valor (VSM) es un método de diagrama de flujo que se utiliza para ilustrar y analizar un proceso de producción. Es un componente clave dentro de las metodologías ágiles de gestión de proyectos. Su objetivo principal es maximizar el valor para el cliente mediante la eliminación de desperdicios en cada fase, optimizando los procesos de fabricación y suprimiendo tareas innecesarias o que obstaculizan la producción (Team Asana, 2024).

Se aplicó la metodología VSM con el fin de identificar oportunidades de optimización en el proceso de soldadura de PCBA. Este análisis se centró en la mejora de la eficiencia, la calidad y la rentabilidad operativa de la organización, abordando específicamente los tiempos de ciclo y los desperdicios asociados a la soldadura.

El proceso evaluado abarcó la soldadura de componentes electrónicos en tarjetas electrónicas, cubriendo desde la entrada de materiales a la línea de producción hasta la inspección de calidad posterior a la soldadura. Específicamente, se incluyó el flujo de un horno de soldadura por reflujo y el proceso de soldadura por ola y/o selectiva. En la Figura 6 se muestra el Mapa de Flujo de Valor resultante para el proceso analizado dentro de la organización.

3. Colocación de Componentes (*Pick and Place*): Montaje automatizado de componentes en la PCB utilizando máquinas de tecnología *Pick and Place*.
4. Soldadura por Reflujo: Las tarjetas pasan por el horno para fundir la pasta y fijar los componentes.
5. Inspección Visual Automática (AOI): Verificación de defectos de soldadura (puentes, falta de soldadura, etc.). En caso de defectos las piezas son retrabajadas para la corrección manual de defectos detectados en AOI.
6. Despenalizado: Se remueve excesos de los paneles de las tarjetas electrónicas para separar las PCB individuales de un panel más grande donde fueron fabricadas.
7. Colocación de Componentes (THT): Montaje manual de componentes en la PCB.
8. Soldadura de Ola / Selectiva: Proceso de soldadura de componentes electrónicos de tecnología de montaje a través de agujeros (THT, *Through-Hole Technology*).
9. Retoque Manual: Corrección manual de las condiciones de la soldadura utilizando soldadura en rollo y cautín.
10. Inspección Automática Rayos X: Verificación de defectos de soldadura (puentes, falta de soldadura, etc.). En caso de defectos las piezas son retrabajadas para la corrección manual de defectos detectados en rayos X.

Indicadores Clave de VSM

Con los tiempos sumados y diferenciados entre VAT y NVAT, se calcula el lead time con el objetivo de proponer mejoras específicas para lograr una mayor eficiencia en el proceso de fabricación de PCBA.

- Tiempo de Ciclo Total (Lead Time): 503 minutos por lote (100 tarjetas).
- Tiempo de Valor Agregado (VAT): 22 minutos.
- Tiempo de No Valor Agregado (NVAT): 481 minutos (esperas y retrabajo).
- Desempeño de calidad de mayor impacto: 98% (X-Ray)
- Inventario Intermedio: 4 lotes acumulados entre despenalizado y proceso de Ola incluyendo ensamble de THT.

Desperdicios Identificados

1. Tiempos de Espera: Retención de lotes antes de entrar al proceso de ensamble manual (THT) y soldadura por Ola y/o Selectiva, debido a configuraciones prolongadas.
2. Defectos: Fallas recurrentes de soldadura, generando retrabajo.
3. Sobreproducción: Inventario acumulado en la estación X-Ray.

El Análisis del Mapa de Flujo de Valor (VSM) identificó oportunidades clave para la reducción de tiempos de espera y la mitigación de defectos en el proceso de soldadura de PCBA. La implementación de acciones correctivas derivadas de este análisis permitirá optimizar el flujo de trabajo, disminuir los niveles de retrabajo y, consecuentemente, mejorar la calidad final del producto.

La calidad en los procesos de Montaje Superficial (SMT) y soldadura por ola/selectiva tiene una relación directa con el control de costos, la satisfacción del cliente y la generación de ingresos. Por lo tanto, la inversión en controles de calidad robustos y en soluciones de automatización e inspección temprana no solo generará ahorros significativos, sino que también impulsará la rentabilidad general y la competitividad de la empresa.

3.1.3. Cronograma del diagnóstico profundo

Referente a el Cronograma del diagnóstico profundo, La implementación de la estrategia se llevará a cabo en un plazo de 12 meses, siguiendo las fases mostradas en la Tabla 5.

Tabla 5.

Cronograma del diagnóstico profundo.

Fase	Actividades clave	Duración
Diagnóstico Inicial	Recopilación de datos, análisis SIPOC y FODA	2 meses
Análisis Profundo	Evaluación VSM, diagramas de Pareto y Six Sigma	3 meses
Implementación	Aplicación de mejoras y adquisición de tecnología	4 meses
Monitoreo y Ajustes	Seguimiento de KPIs y corrección de desviaciones	3 meses

Nota: Descripción de las fases para el diagnóstico profundo de la intervención.

Fuente: Fuente Propia.

3.1.4. Ejecución de actividades de intervención

El *Project Charter* es una parte esencial del proceso de documentación del proyecto, ya que proporcionan una estructura de proyecto a través de la definición los objetivos, el alcance y las partes interesadas del proyecto, al tiempo que proporciona un esquema claro para alinear la comprensión y establecer expectativas para todas las partes involucradas (Good, 2023). Se estará utilizando el siguiente formato de *Project Charter*, mostrado en la figura 7, para documentar el plan de actividades a realizar, así como la efectividad de las mismas.

Figura 7.

Project Chart para ejecución de actividades de intervención.

Project Charter

Título del Proyecto																																																									
Intervención Estratégica en el Proceso de Gestión y Manufactura de Ensamblés Electrónicos (PCBA).																																																									
Esquema del Proyecto:																																																									
Description del Problema: Durante año fiscal F24, este sitio recibió de diferentes clientes notificaciones a través de su equipo de ingeniería acerca de escapes de defectos relacionados con su proceso de fabricación, los cuales fueron detectados en el proceso de recibo y calificación de lotes nuevos de sus clientes durante la etapa de introducción de nuevos productos para producción masiva. Durante este periodo de tiempo, el nivel de desempeño de la organización, con relación a la efectividad del proceso de introducción de nuevos productos, se ubicó en un nivel promedio de 3 sigmas, muy por debajo de la línea base esperada de 6 sigmas, registrando que el 45% de los lotes que se enviaron a sus clientes fallaron el proceso de calificación debido a que fueron reportados con defectos durante el proceso de inspección de calidad por parte del cliente.	Propuesta de Valor: La implementación de un sistema de monitoreo continuo de la calidad y un análisis exhaustivo del proceso de manufactura reducirá la tasa de defectos por unidad (DPU) en la soldadura de tarjetas electrónicas. Esto, a su vez, mejorará el rendimiento (yield), optimizando significativamente la capacidad instalada de la planta de manufactura al reducir la necesidad de retrabajo y el desperdicio. Esta mejora en el desempeño de calidad se traducirá directamente en una disminución de los defectos entregados a clientes (DPPMs) y las acciones correctivas y preventivas (CAPAs), lo que no solo incrementará la satisfacción del cliente, sino que también mitigará el impacto financiero negativo asociado a las fallas de calidad. Se postula que existe una relación directa entre un desempeño de calidad bajo (yield) y los defectos que escapan al cliente. Al optimizar la manufactura y la prevención de estas fallas en las etapas críticas del proceso, la organización puede mejorar la eficiencia operativa, logrando más producto de alta calidad con un uso optimizado de recursos y activos de operación.																																																								
Objetivos: •Específico: Lograr que el equipo de manufactura e ingeniería involucrado en los procesos de transformación del producto mantenga estándares consistentes de calidad al Proporcionar herramientas adecuadas para facilitar la administración y planeación de las fases de ejecución de manufactura. •Medible: El éxito se medirá por la reducción del tiempo en la fase de planificación y ejecución en un 20% y al alcanzar una tasa de defectos inferior al 2% en lotes embarcados de productos durante la operación en su lanzamiento de calificación como NPI. •Alcanzable: A través de un seguimiento constante y un enfoque en la mejora continua, se implementarán mejoras en los procesos de gestión de introducción de primeros productos (NPI). •Relevante: Este objetivo es crucial para mejorar la eficiencia y la calidad del proceso de manufactura, y está alineado con los esfuerzos de innovación de la empresa, contribuyendo directamente a la satisfacción del cliente y a la reducción de costos por reprocesos. •Tiempo: Este objetivo se alcanzará en un periodo de 12 meses.	Alcance del Proyecto: Este proyecto de intervención se estará llevando a cabo con un enfoque en el proceso de gestión y administración para la introducción de nuevos productos a líneas de manufactura relacionadas con el proceso de fabricación y soldadura de tarjetas electrónicas, también conocidas como PCBA. Se estarán abordando áreas involucradas tales como ingeniería de introducción de nuevos productos, ingeniería de calidad, ingeniería de procesos y pruebas e ingeniería de manufactura, así como área de gestión de programas y atención a clientes.																																																								
Métricos / KPI's: Métrico Primario: Impacto Financiero: % de SCRAP con relación al monto total de ventas. Métrico Secundario: Reducción de defectos de calidad como escapes a cliente.	Herramientas a Utilizar: SWOT, SIPOC, análisis de Pareto, Análisis P&L, Árbol de Problemas, Diagrama causa-efecto, JIDOKA.																																																								
Inversión Requerida:																																																									
Sin inversión identificada durante etapa preliminar de investigación. La organización cuenta con equipo y maquinaria instalada y funcional en línea de producción de tarjetas electrónicas.																																																									
Planeación del Proyecto.																																																									
Etapas del Proyecto: <table border="1"> <thead> <tr> <th>Fase</th> <th>Q3CY24</th> <th>Q4CY24</th> <th>Q1CY25</th> <th>Q2CY25</th> <th>Q3CY25</th> <th>Q4CY25</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Definir</td> <td>■</td><td>■</td><td>■</td><td>■</td><td>■</td><td>■</td> </tr> <tr> <td>Medir</td> <td>■</td><td>■</td><td>■</td><td>■</td><td>■</td><td>■</td> </tr> <tr> <td>Analizar</td> <td>■</td><td>■</td><td>■</td><td>■</td><td>■</td><td>■</td> </tr> <tr> <td>Mejorar</td> <td>■</td><td>■</td><td>■</td><td>■</td><td>■</td><td>■</td> </tr> <tr> <td>Control/Monitor</td> <td>■</td><td>■</td><td>■</td><td>■</td><td>■</td><td>■</td> </tr> </tbody> </table>	Fase	Q3CY24	Q4CY24	Q1CY25	Q2CY25	Q3CY25	Q4CY25	Definir	■	■	■	■	■	■	Medir	■	■	■	■	■	■	Analizar	■	■	■	■	■	■	Mejorar	■	■	■	■	■	■	Control/Monitor	■	■	■	■	■	■	Equipo: <table border="1"> <thead> <tr> <th>Rol</th> <th>Nombre</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Owner :</td> <td>E. Martinez</td> </tr> <tr> <td>Champion :</td> <td>Gerente de Ingeniería.</td> </tr> <tr> <td>Member :</td> <td>Gerente de Calidad</td> </tr> <tr> <td>Member :</td> <td>Gerente de Operaciones</td> </tr> <tr> <td>Member :</td> <td>Analista Financiero</td> </tr> <tr> <td>Member :</td> <td>Gerente de Manufactura</td> </tr> </tbody> </table>	Rol	Nombre	Owner :	E. Martinez	Champion :	Gerente de Ingeniería.	Member :	Gerente de Calidad	Member :	Gerente de Operaciones	Member :	Analista Financiero	Member :	Gerente de Manufactura
Fase	Q3CY24	Q4CY24	Q1CY25	Q2CY25	Q3CY25	Q4CY25																																																			
Definir	■	■	■	■	■	■																																																			
Medir	■	■	■	■	■	■																																																			
Analizar	■	■	■	■	■	■																																																			
Mejorar	■	■	■	■	■	■																																																			
Control/Monitor	■	■	■	■	■	■																																																			
Rol	Nombre																																																								
Owner :	E. Martinez																																																								
Champion :	Gerente de Ingeniería.																																																								
Member :	Gerente de Calidad																																																								
Member :	Gerente de Operaciones																																																								
Member :	Analista Financiero																																																								
Member :	Gerente de Manufactura																																																								

Nota: Project Charter para documentación del plan de actividades y evaluación de efectividad.

Fuente: Fuente Propia.

3.2. Definición de los factores prioritarios a intervenir y/o cambiar en la problemática

A partir del análisis detallado del proceso de manufactura para la fabricación de tarjetas electrónicas y la evaluación de los resultados obtenidos mediante herramientas como SIPOC, VSM y FODA, se han identificado los siguientes factores prioritarios que requieren intervención para mejorar la rentabilidad financiera de la organización y alcanzar los estándares de calidad esperados:

- a) Problemas identificados dentro del Proceso de Manufactura (PCBA).
 - Defectos recurrentes en el proceso de soldadura (puentes de soldadura, falta de fusión, mala adhesión de componentes), que resultan en altos niveles de *SCRAP* y retrabajo.
 - Variabilidad en la calidad del producto debido a la falta de control de parámetros críticos (temperatura del horno, alineación de componentes, aplicación de pasta de soldadura).
 - Tiempos prolongados de espera y acumulación de inventario intermedio, impactando negativamente la eficiencia operativa.
- b) Fortalecimiento de la Gestión de Calidad y Trazabilidad.
 - Sistemas de control de calidad reactivos, en lugar de preventivos, lo que lleva a altos costos de retrabajo y desperdicio de material.
 - Deficiencias en la documentación de registros y evidencias, lo que impacta la conformidad con estándares regulatorios tales como ISO 13485:2016.

c) Actualización Tecnológica de Equipos y Herramientas.

- Equipamiento obsoleto en la línea de producción de PCBA, que limita la capacidad de cumplir con especificaciones más exigentes de los clientes.
- Baja eficiencia operativa debido a máquinas que requieren alta intervención manual y ajustes frecuentes.
- Necesidad de actualizar maquinaria para incorporar tecnologías avanzadas como inteligencia artificial para inspección de calidad.

La intervención en estos factores críticos permitirá una mejora significativa en la rentabilidad financiera de la organización, mediante la reducción de costos operativos, la optimización del uso de recursos y la mejora de la calidad del producto. A través de un enfoque integral que abarque desde la gestión de calidad hasta la actualización tecnológica y la cultura organizacional, se espera alcanzar niveles de desempeño cercanos al estándar de 6 sigmas y fortalecer la posición competitiva de la empresa en el mercado.

3.3. Metas de información (qué quiero conocer con mi diagnóstico profundo)

3.3.1. Análisis de defectos reportados por cliente

A través de una sesión colaborativa, once representantes de diversas áreas funcionales realizaron una lluvia de ideas para diagnosticar el proceso. El ejercicio tuvo como propósito identificar mejoras en la administración de la introducción de nuevos productos (NPI), detectar oportunidades de optimización en la manufactura

de dispositivos y analizar tanto los canales de comunicación como las causas de escapes de defectos hacia el cliente. Como resultado, se determinaron las áreas de oportunidad más críticas, clasificándolas en las siguientes categorías de intervención:

- Optimización de la Fabricación: Lograr mayor eficiencia y mejorar la calidad de los dispositivos electrónicos.
- Fortalecimiento del Control: Mejorar los procesos de validación y la gestión de riesgos.
- Mejora de la Documentación: Refinar las prácticas y herramientas de documentación técnica.

Para la determinación de las áreas prioritarias de intervención, se realizó un ejercicio de votación basado en la evaluación de dos dimensiones clave: Prioridad para la resolución y Complejidad de la resolución. Los resultados de esta priorización se detallan en la Tabla 6.

Tabla 6.

Ejercicio de lluvia de ideas sobre propuestas de valor para la iniciativa de mejora del proceso de Introducción de nuevos productos durante año fiscal 2025.

Abreviaciones:
CR = Complejidad para Resolver
Lp = Prioridad para Resolver
Lc = Complejidad Baja, Mc = Complejidad Media, Mc = Complejidad Alta
Lp: Prioridad Baja, Mp: Prioridad Media, Hp: Prioridad Alta

Lluvia de ideas sobre propuestas de valor: Iniciativa de intervención al proceso de NPI		Team Member 1		Team Member 2		Team Member 3		Team Member 4		Team Member 5		Team Member 6		Team Member 7		Team Member 8		Team Member 9		Team Member 10		Team Member 11		Complejidad		Prioridad				
Area de Oportunidad		CR	PR	CR	PR	CR	PR	CR	PR	CR	PR	CR	PR	CR	PR	CR	PR	CR	PR	CR	PR	CR	PR	1		2		3		Prioridad Recomendada
Fortalecimiento de los procesos de validación y gestión de riesgos	Implementar herramientas avanzadas de gestión de riesgos para identificar, analizar y gestionar riesgos durante todo el proceso de fabricación asegurándose de que estas herramientas estén integradas con los sistemas existentes.	Lc	Lp	Lc	Lp	Mc	Hp	Mc	Mp	Mc	Mp	Mc	Mp	Lc	Mp	Mc	Hp	Mc	Mp	Lc	Hp	Mc	Mp	0	7	4	3	6	2	41
	Estandarizar los procedimientos de validación de procesos críticos, como BOM y Ayudas visuales, para garantizar la precisión y el cumplimiento del producto.	Lc	Lp	Lc	Lp	Mc	Hp	Mc	Hp	Mc	Hp	Lc	Mp	Mc	Hp	Lc	Lp	Mc	Hp	Mc	Mp	Mc	Hp	0	7	4	6	2	3	43
	Crear un Comité de Revisión de Riesgos, responsable de revisar regularmente las prácticas de gestión de riesgos, evaluar nuevos riesgos y recomendar estrategias de mitigación	Lc	Hp	Lc	Hp	Hc	Mp	Hc	Mp	Mc	Hp	Mc	Hp	Lc	Hp	Hc	Mp	Mc	Hp	Mc	Hp	Mc	Lp	3	5	3	8	2	1	51
Mejora de las prácticas y herramientas de documentación	Implementación de herramientas digitales que permitan el seguimiento en tiempo real de los procesos, las desviaciones y el progreso. Las herramientas deben integrarse con los sistemas existentes y proporcionar actualizaciones automáticas.	Lc	Lp	Lc	Lp	Hc	Hp	Mc	Mp	Hc	Mp	Mc	Hp	Hc	Mp	Mc	Hp	Mc	Hp	Lc	Mp	Mc	Mp	3	5	3	5	4	2	47
	Desarrollo de plantillas estandarizadas para documentar procesos, desviaciones y evaluaciones de riesgos para garantizar la coherencia y la integridad.	Lc	Lp	Lc	Lp	Mc	Mp	Hc	Mp	Mc	Hp	Lc	Hp	Lc	Lp	Lc	Mp	Mc	Mp	Lc	Mp	Mc	Mp	1	4	6	2	6	3	38
	Revisar y actualizar regularmente la documentación a fin de reflejar las prácticas actuales y las lecciones aprendidas de proyectos anteriores.	Lc	Lp	Lc	Lp	Mc	Mp	Mc	Mp	Mc	Mp	Lc	Hp	Lc	Lp	Lc	Lp	Lc	Lp	Lc	Hp	Mc	Mp	0	4	7	2	4	5	34
Optimización de los procesos de fabricación para lograr la eficiencia y calidad requerida por cliente.	Realizar auditorías de procesos de fabricación para identificar cuellos de botella, ineficiencias y áreas de mejora utilizando los hallazgos para implementar mejoras de procesos específicas.	Lc	Lp	Lc	Lp	Mc	Hp	Mc	Mp	Mc	Hp	Mc	Hp	Lc	Mp	Mc	Hp	Mc	Hp	Mc	Mp	Mc	Mp	0	7	4	5	4	2	43
	Actualización y/o renovación de las herramientas y la maquinaria a la última tecnología que admita operaciones más rápidas y precisas.	Hc	Hp	Hc	Hp	Hc	Hp	Hc	Hp	Hc	Hp	Hc	Mp	Hc	Hp	Hc	Hp	Hc	Hp	Hc	Hp	Hc	Hp	11	0	0	9	2	0	64
	Implementación de los principios de Lean Manufacturing para minimizar el desperdicio, optimizar la utilización de recursos y mejorar el flujo de producción.	Lc	Mp	Lc	Mp	Lc	Hp	Mc	Mp	Mc	Mp	Mc	Mp	Mc	Mp	Mc	Mp	Mc	Hp	Lc	Mp	Mc	Hp	0	7	4	3	8	0	43
Implementación de programas específicos de capacitación y desarrollo de habilidades	Diseño de programas de formación específicos para cada función dentro de la empresa, centrándose en las normas de IPC, los procedimientos de NPI y la gestión de riesgos.	Lc	Lp	Lc	Hp	Mc	Hp	Mc	Hp	Mc	Hp	Mc	Hp	Mc	Hp	Lc	Lp	Mc	Hp	Mc	Mp	Mc	Mp	0	8	3	7	2	2	46
	Desarrollo de sesiones de capacitación y talleres regulares para mantener al equipo actualizado sobre nuevas prácticas, tecnologías y estándares de la industria.	Lc	Lp	Lc	Lp	Mc	Mp	Mc	Mp	Lc	Mp	Mc	Hp	Mc	Mp	Mc	Mp	Mc	Mp	Mc	Mp	Mc	Mp	0	8	3	1	8	2	40
	Establecer un repositorio de conocimientos interno donde los empleados puedan acceder a materiales de capacitación, mejores prácticas y documentación de procesos.	Lc	Lp	Lc	Lp	Mc	Mp	Mc	Mp	Lc	Hp	Lc	Hp	Mc	Mp	Lc	Lp	Mc	Hp	Lc	Hp	Mc	Hp	0	5	6	5	3	3	40
Desarrollo de un marco de comunicación integral	Crear protocolos de comunicación estándar y pautas para comunicarse con clientes y equipos internos. Esto debe incluir rutas de escalamiento claras para los problemas y actualizaciones periódicas sobre el estado del proyecto.	Lc	Hp	Lc	Lp	Mc	Hp	Mc	Hp	Lc	Hp	Lc	Hp	Mc	Hp	Lc	Hp	Lc	Mp	Lc	Hp	Lc	Mp	0	3	8	7	3	1	42
	Implemente un panel de comunicación centralizada para realizar un seguimiento y compartir actualizaciones en tiempo real, hitos del proyecto y riesgos. Esto garantiza que todos tengan acceso a la información más reciente.	Lc	Mp	Lc	Lp	Mc	Hp	Lc	Hp	Lc	Mp	Mc	Hp	Lc	Mp	Mc	Hp	Lc	Mp	Mc	Hp	Mc	Hp	0	5	6	6	4	1	43
	Reuniones periódicas de alineación: con los clientes y las partes interesadas internas para revisar el progreso del proyecto, abordar las preocupaciones y ajustar los plazos según sea necesario.	Lc	Mp	Mc	Hp	Lc	Hp	Mc	Hp	Mc	Hp	Mc	Mp	Mc	Hp	Mc	Mp	Mc	Mp	Lc	Hp	Lc	Hp	0	7	4	7	4	0	47

Nota: En la tabla se muestra los resultados del ejercicio realizado por la organización.

Fuente: Información obtenida de la organización.

3.3.2. Requerimiento del cliente utilizando diagrama CTQ

Para la compañía en cuestión, es fundamental cumplir con los estrictos requisitos de calidad establecidos por sus clientes, debido a la alta exigencia de las aplicaciones en las que se utilizarán estos productos, tales como dispositivos médicos de tecnología avanzada. La Figura 8 muestra los principales factores impulsores (*drivers*) para estos productos, así como sus características críticas que deben ser consideradas por la organización para asegurar el cumplimiento de las expectativas de sus clientes.

Figura 8.

Diagrama de CTQ de PCBA.

Diagrama de CTQ de PCBAs				
Requerimiento de cliente	Driver	CTQ	Métrico	Meta Requerida por Cliente
 Tarjeta Electrónica de acuerdo a especificaciones y 100% funcional en pruebas eléctricas.	Ensamble Aceptable durante inspección automática AOI	Componentes colocados de acuerdo a especificación de cliente (posición, orientación, polaridad, altura).	FPY, SCRAP	FPY > 98% SCRAP < 0.5%
	Ensamble Aceptable durante inspección automática X-Ray	Calidad de la soldadura de componentes de SMT de acuerdo a IPC-A-610 para aceptabilidad de ensambles electrónicos.	FPY, SCRAP	FPY > 98% SCRAP < 0.5%
	Ensamble Aceptable durante inspección Visual (Calidad)	Calidad de la soldadura de componentes PTH de acuerdo a IPC-A-610 para aceptabilidad de ensambles electrónicos.	FPY, SCRAP	FPY > 98% SCRAP < 0.5%
	Ensamble Aceptable durante Prueba eléctrica funcional.	Colocación de etiquetas de identificación acuerdo a especificación de cliente (posición, orientación)	FPY, SCRAP	FPY > 98% SCRAP < 0.5%

Nota: En el diagrama se muestran los principales factores impulsores (*drivers*) y características críticas de los productos manufacturados por la compañía utilizados en dispositivos electrónicos avanzados.

Fuente: Fuente Propia.

3.4. Identificación, descripción y cuantificación de métricas iniciales

(medición antes de la intervención)

Basado en el marco de referencia documentado previamente y en las herramientas seleccionadas para abordar las oportunidades identificadas dentro de la organización, este apartado presenta los datos y mediciones de la situación actual de la compañía antes de implementar las actividades derivadas del análisis y el plan de trabajo para esta intervención.

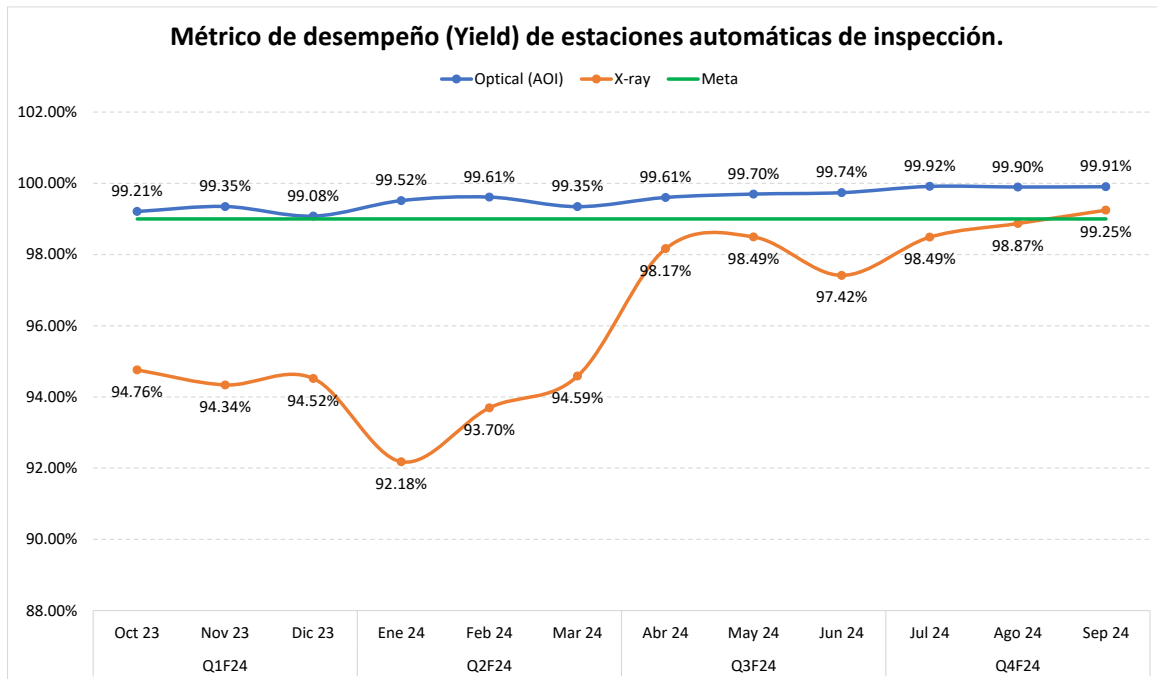
Indicadores Operativos

Dentro de los principales indicadores operativos y financieros de la organización, se destacan las métricas de desempeño de calidad del producto y el desperdicio de material. El desempeño de calidad se mide a través del rendimiento, conocido como *yield*, mientras que el desperdicio es monitoreado por el métrico de porcentaje de *scrap*.

En el contexto de la manufactura electrónica, el *yield* se refiere al porcentaje de productos que cumplen con los estándares de calidad requeridos, en comparación con el total de productos fabricados en un proceso específico. Este es un indicador clave de eficiencia y control de calidad dentro de la producción (Montgomery, 2019). La Figura 9 presenta la gráfica de desempeño (*yield*) durante el año fiscal 2024, específicamente para las estaciones de inspección identificadas como críticas por la compañía.

Figura 9.

Gráfica de desempeño de estaciones críticas de inspección durante el periodo de Octubre 2023 a Septiembre 2024.



Nota: Métrico de desempeño de dos estaciones críticas de inspección, AOI e inspección por rayos X.

Fuente: Fuente propia utilizando información obtenida del sistema de trazabilidad de registros propiedad de la organización.

De este métrico se obtienen las siguientes observaciones:

- El desempeño operativo a través de la inspección de AOI mantiene un rendimiento consistente por encima de la meta establecida de 99% a lo largo del período evaluado, con valores de *yield* fluctuando entre 99.08% y 99.91%, lo que indica estabilidad y buen control en el proceso.

- En los últimos meses, el rendimiento muestra una mejora leve, alcanzando un valor aproximado de 99.91% en septiembre de 2024.
- La inspección por rayos X presenta un rendimiento inferior al de la inspección AOI durante el inicio del período evaluado, con *yields* entre 92.18% y 94.59% de octubre 2023 a marzo 2024, sin embargo, a partir de abril 2024, se observa una tendencia positiva de recuperación. Será relevante identificar que las acciones implementadas sean sostenibles a largo plazo.

La compañía considera fundamental el desempeño operativo de los procesos de inspección, particularmente las inspecciones automáticas AOI y de rayos X. Estas son esenciales para la fabricación de tarjetas electrónicas, especialmente desde una perspectiva financiera, debido a una cadena de beneficios clara:

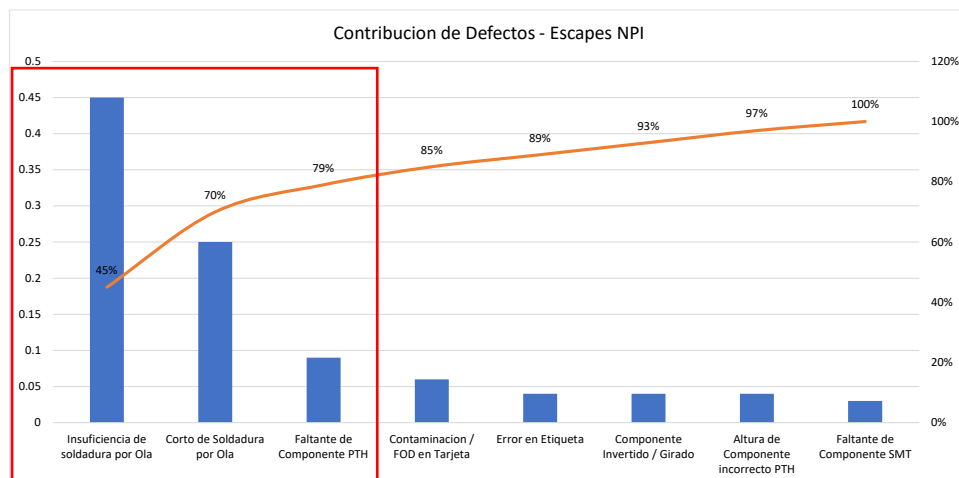
- Reducción de Costos: La detección temprana de defectos minimiza el retrabajo y el desperdicio.
- Optimización de la Productividad: Contribuye a la reducción del ciclo de producción, lo que incrementa la eficiencia y mejora la capacidad para cumplir con los plazos de entrega.
- Satisfacción y Reputación: Al garantizar la calidad, se incrementa la satisfacción del cliente y se reducen los costos asociados a las garantías, protegiendo la reputación corporativa.

- Cumplimiento: Facilita el cumplimiento normativo y la trazabilidad, aspectos cruciales para evitar sanciones en industrias reguladas.

Para comparar el rendimiento operativo interno con la percepción externa de los clientes, se empleó el Diagrama de Pareto. Esta herramienta visual ilustra el Principio de Pareto o regla 80/20, donde unos pocos problemas críticos superan en importancia a muchos triviales (Juran & Godfrey, 1999), y permitió representar gráficamente los impactos externos causados por defectos de calidad, según datos internos de la organización. La Figura 10 muestra los principales defectos de calidad registrados como fugas al cliente durante las pruebas de calificación en la fase de introducción de nuevos productos para el año fiscal 2024.

Figura 10.

Diagrama de Pareto de defectos como escapes a cliente.



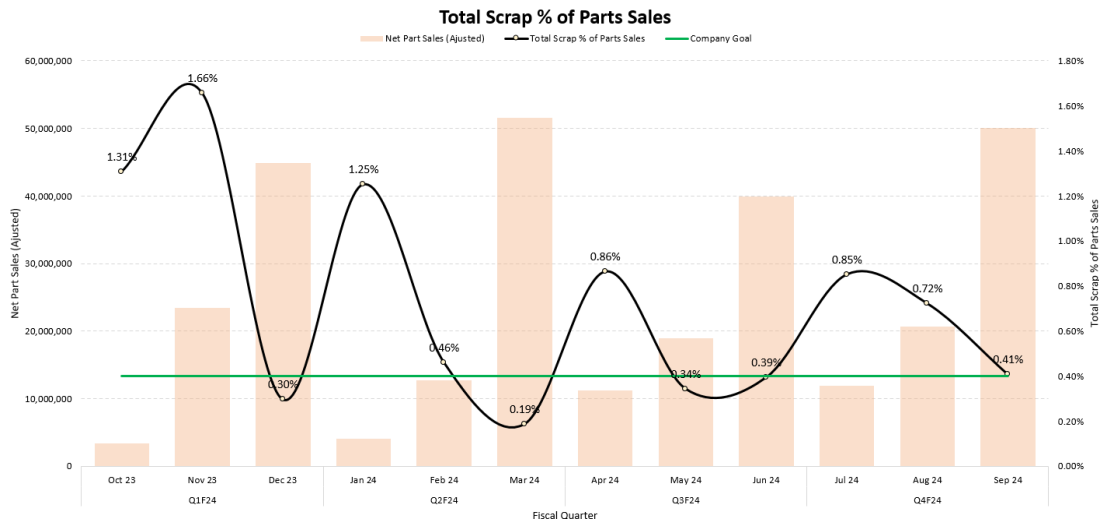
Nota: Principales defectos reportados por parte de los clientes de la organización.

Fuente: Fuente propia con información obtenida del sistema de trazabilidad de registros propiedad de la organización.

En la industria electrónica, el término *scrap* (desperdicio) engloba los desechos generados durante la fabricación, incluyendo materiales sobrantes, productos defectuosos y piezas inservibles. Este desperdicio representa un costo significativo para las empresas por la pérdida de materiales, tiempo y recursos, impulsando así la búsqueda constante de estrategias para minimizar su generación y mejorar la eficiencia. La Figura 11 muestra la gráfica del “*Total Scrap % of Parts Sales*” de la organización, registrada durante el año fiscal 2024 y relacionada con el proceso de fabricación de tarjetas electrónicas.

Figura 11.

Gráfica de Total Scrap % of Parts Sales correspondiente al año fiscal 2024.



Nota: Representación gráfica de variabilidad en el porcentaje mensual de *scrap* en relación con las ventas de partes ajustadas.

Fuente: Fuente propia utilizando Información obtenida del sistema ERP e información financiera propiedad de la organización.

El análisis del métrico de *scrap* revela picos significativos en octubre y diciembre del año fiscal 2024, lo que es un indicativo de inconsistencias en el control de calidad durante esos meses. De manera general, la mayoría de los valores históricos superan el objetivo establecido por la compañía, lo que subraya la urgencia de implementar mejoras en los procesos de manufactura para reducir de manera sostenida el nivel de desperdicios.

Aun cuando el porcentaje de *scrap* fluctúa, no se identifica una correlación directa con los niveles de venta, lo que sugiere que la raíz del problema reside en procesos internos o en la calidad de los insumos. Si bien la reducción observada en marzo de 2024 (0.19%) demuestra la efectividad a corto plazo de ciertas medidas implementadas, los valores persistentemente elevados en el segundo semestre resaltan la necesidad de establecer una consistencia rigurosa en estas prácticas de control.

Indicadores Financieros - Impactos de la mala calidad dentro de la organización

Como parte de la estrategia financiera de la organización, la compañía obtiene beneficios de la venta de cada producto manufacturado de diferentes rubros tales como:

- PPV: Monto de ganancia sobre la compra – venta de materia prima.
- TC: Costo de transformación del producto.

- Labor Sale: Venta de labor, es calculado de acuerdo a un proceso de cotización estándar tomando consideraciones como tiempos de fabricación y desempeño de calidad.

Referente a los impactos financieros relacionados con esta estrategia, se identificaron los siguientes rubros:

- Costos por Retrabajos y Reparaciones:
 - Defectos en proceso debido a malas uniones de soldadura, componentes mal colocados o dañados que requieren retrabajos, lo que incrementa los costos de mano de obra, uso de materiales adicionales y tiempo de máquina debido a las correcciones a realizar en el producto. Esto tiene un impacto financiero debido al incremento en costos operativos y reducción de márgenes de ganancia.
 - Aumento de *scrap* debido a tarjetas con daños irreparables durante cualquiera de los procesos se convierten en desperdicio, creando un impacto financiero por pérdida directa de materiales.
 - Retrasos en Entregas por cuellos de botella en la línea de producción, causando retrasos en las entregas al cliente. Esto puede generar penalizaciones contractuales, pérdida de clientes y reducción en la confianza del mercado.
- Costos por Garantías y Reclamos de Clientes:
 - Los productos con defectos que llegan al cliente final pueden fallar en el campo, lo que genera reemplazos bajo garantía, reparaciones

externas, pérdida de contratos futuros. Esto genera un incremento en costos de postventa y daño a la reputación de la organización.

- Pérdida de Eficiencia Operativa:
 - Tiempo perdido en inspecciones adicionales y ajuste de procesos para corregir errores recurrentes generan menor productividad y aumento en costos por hora máquina y mano de obra impactando los costos de transformación del producto.
- Impacto en la Satisfacción del Cliente y Ventas:
 - Una calidad deficiente puede llevar a la insatisfacción de los clientes, pérdida de contratos y disminución de la cuota de mercado generando una reducción de ingresos para la organización y minimizando la atracción de nuevos negocios.

Actualmente, la organización proyecta un margen de ganancia del 6.6% sobre las ventas de sus productos, el cual es calculado como se describe a continuación:

$$\text{Total Profit} = \text{Value Add} + \text{Material Variance (PPV)} - \text{Transformation Cost}.$$

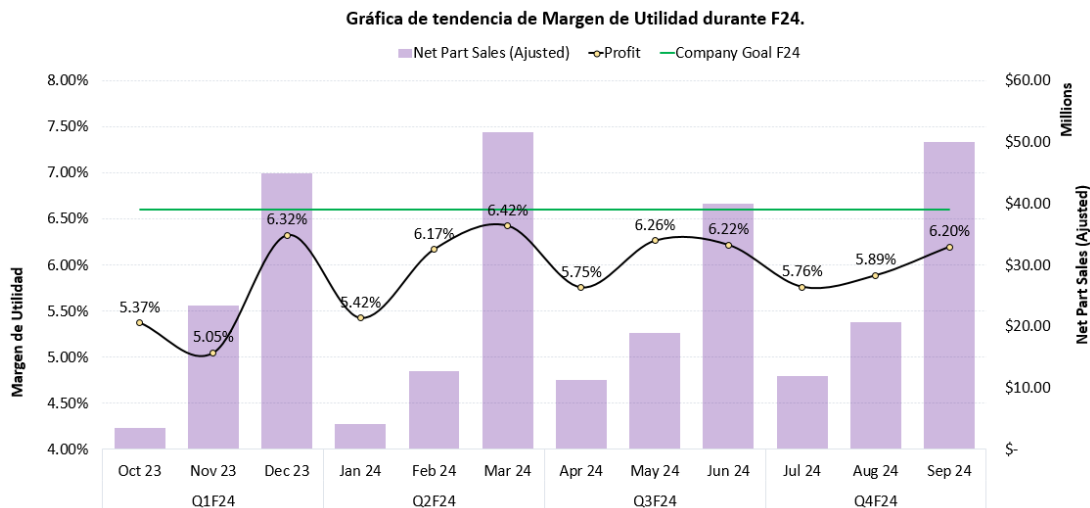
Donde:

- Value Add = Venta menos el costo del material
- Material Variance (PPV) = Diferencia entre el costo estándar del material y el costo real de los materiales utilizados en producción.
- Transformation Cost = Costo de labor y costo de material.

Sin embargo, cualquier incremento no previsto en los costos operativos, ya sea por contratación de personal adicional, pago de horas extras para retrabajos o aumento en el consumo de materiales debido a desperdicios, tendrá un impacto directo y negativo en el porcentaje estimado del margen de utilidad. La Figura 12 presenta la tendencia mensual del margen de utilidad obtenido por la organización durante el año fiscal 2024. Estas ganancias se han visto afectadas por el incremento en los costos operativos relacionados con el proceso de transformación, debido a la necesidad de recursos adicionales para cumplir con las entregas a los clientes.

Figura 12.

Gráfica de tendencia de margen de utilidad durante el año fiscal 2024.



Nota: Fluctuaciones de porcentaje de margen de utilidad a lo largo del año fiscal 2024.

Fuente: Fuente propia utilizando información financiera proporcionada por la organización.

Este impacto está asociado a los costos incrementales de mano de obra necesarios para corregir defectos ocasionados por un bajo desempeño en la calidad del producto (*yield*), así como al aumento en el consumo de materiales generado por desperdicios (*scrap*) derivados de productos defectuosos. Aunque se observa una mejora progresiva en el Q1F24 y Q2F24, alcanzando un máximo de 6.42% en marzo 2024, el margen de ganancia no logra mantenerse constante y experimenta caídas durante algunos meses posteriores, como en abril (5.75%) y julio (5.76%).

3.5. Descripción del análisis: correlación e interpretación de la información

Basado en los datos recopilados en las etapas previas del proyecto, se establece una correlación directa con la hipótesis original. Esta hipótesis propone que al optimizar el proceso de manufactura de dispositivos electrónicos PCBA, se logrará lo siguiente:

- Detección efectiva de la causa raíz de los problemas en los procesos de soldadura de PCBA, utilizando herramientas de APQP como el PFMEA y el Plan de Control.
- Reducción significativa en la tasa de defectos por unidad (DPU), lo que a su vez disminuirá los defectos que llegan al cliente (DPPM) y las quejas (CAPA).
- Reducción del impacto financiero en la organización, al mitigar los costos asociados a las deficiencias en la gestión de los procesos de manufactura.

CAPÍTULO 4

Implementación: Planeación de la intervención

4.1. Justificación de la intervención

Así como se explica en la literatura del “Manual de Calidad” de Joseph M. Juran (1999), el término de "Calidad" tiene dos interpretaciones fundamentales para la gestión de las empresas:

1. Calidad como satisfacción del cliente: Este enfoque de la calidad se centra en la satisfacción del cliente al cumplir con sus necesidades a través de las características del producto, buscando así aumentar los ingresos. Sin embargo, lograr una mayor calidad generalmente implica invertir en mejoras y adiciones, lo que se traduce en un incremento en los costos asociados al producto.
2. Calidad como ausencia de defectos: Este concepto de calidad se enfoca en la eliminación de errores y deficiencias en los productos, evitando así el retrabajo, las fallas y la insatisfacción del cliente. Al reducir estos problemas, se disminuyen los costos asociados a reclamaciones y reparaciones, lo que resulta en un ahorro económico. En otras palabras, invertir en calidad para prevenir defectos conduce a una reducción de gastos a largo plazo.

En resumen, la calidad puede significar tanto la adición de características que satisfacen al cliente (lo que puede aumentar los costos) como la eliminación de defectos (lo que reduce los costos). El "costo de la mala calidad" abarca todos los gastos que desaparecerían si no existieran deficiencias, como errores, retrabajo y fallas. En esencia, la mala calidad genera un desperdicio significativo de recursos y afecta negativamente tanto a las empresas como a los consumidores.

Para lograr la calidad, es crucial comenzar estableciendo la "visión" de la organización, junto con políticas y objetivos. La transformación de estos objetivos en resultados se realiza a través de procesos de gestión, destacando la "Trilogía de Juran" (Juran & Godfrey, 1999) tal cómo se observa en la Tabla 7, que se refiere a la planificación de la calidad, control de la calidad y mejora de la calidad.

Tabla 7.

Los tres procesos universales de gestión de la calidad.

Planificación de la calidad	Control de calidad	Mejora de la calidad
Establecer objetivos de calidad	Evaluar el rendimiento real	Demostrar la necesidad
Identificar quiénes son los clientes	Comparar el rendimiento real con los objetivos de calidad	Establecer la infraestructura
Determinar las necesidades de los clientes	Actuar sobre la diferencia	Identificar los proyectos de mejora
Desarrollar características del producto que respondan a las necesidades de los clientes		Establecer equipos de proyecto
Desarrollar procesos capaces de producir las características del producto		Proporcionar a los equipos recursos, capacitación y motivación para: Diagnosticar las causas y estimular las correcciones
Establecer controles de proceso; transferir los planes a las fuerzas operativas		Establecer controles para mantener las ganancias

Nota: Adaptado de Juran, J. M. (1999).

Fuente: "Juran's Quality Handbook" (1999).

Estos procesos son paralelos a los utilizados en la gestión financiera: planificación financiera (establecimiento de presupuestos y objetivos), control financiero (evaluación del rendimiento y corrección de variaciones) y mejora financiera (proyectos para aumentar la productividad y las ventas). En resumen, tanto la calidad como las finanzas se gestionan mediante procesos sistemáticos de planificación, control y mejora.

Como justificación para esta intervención y en seguimiento a un diagnóstico previo, se realizó un análisis detallado del desempeño operativo del proceso de fabricación de PCBA dentro de la organización. Dado que el rendimiento (*yield*) en la manufactura electrónica tiene un impacto directo en el desempeño financiero de la empresa, al influir en costos, eficiencia y rentabilidad, se analizó este indicador en profundidad, este análisis se centró en los indicadores clave de calidad de las operaciones de manufactura y verificación de calidad del producto tales como AOI y rayos X, identificados como procesos críticos dentro del procesos de manufactura de PCBA debido al impacto que tiene en la planeación de los planes de producción, evaluando los resultados de calidad tanto en la introducción de nuevos productos (NPI) como en la producción regular.

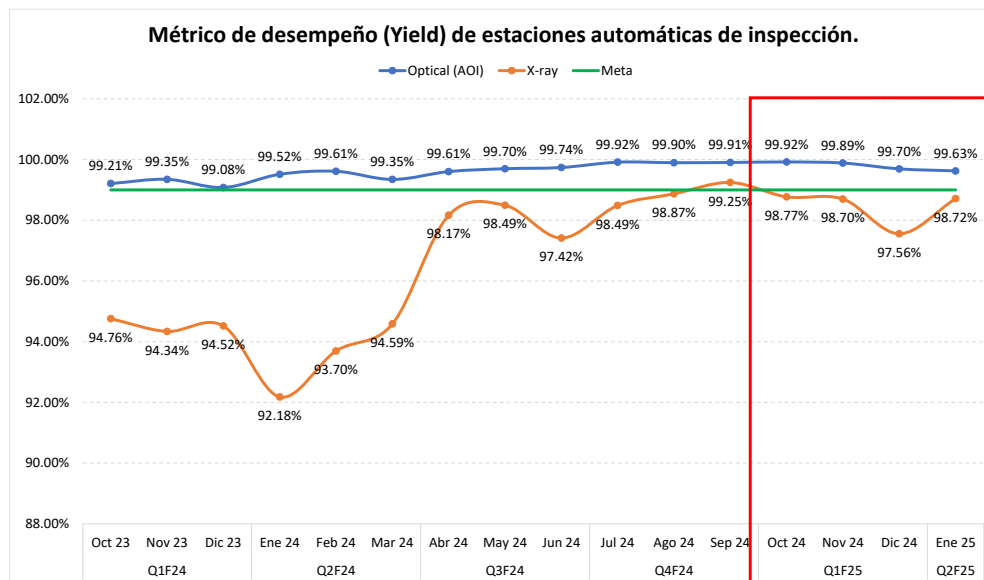
4.1.1. Análisis de información relacionada con el desempeño operativo de la organización

Para el análisis del desempeño de calidad de los productos en la etapa de fabricación de ensamblajes de circuitos impresos (PCBA, por sus siglas en inglés), se utiliza como referencia el indicador de rendimiento *yield*, obtenido durante los

procesos de montaje superficial (*Surface Mount Technology, SMT*) y tecnologías de orificio pasante (*Through-Hole Technology, THT*). En la Figura 13 se presenta la métrica de desempeño de calidad de la organización actualizado, considerando las operaciones de inspección automática, como la inspección óptica automatizada (AOI) y la inspección por rayos X. Estas operaciones son críticas para garantizar la calidad del producto manufacturado y mantener la capacidad de producción de la planta.

Figura 13.

Gráfica de desempeño actualizada de estaciones críticas de inspección durante el periodo de Octubre 2023 a Enero 2025.



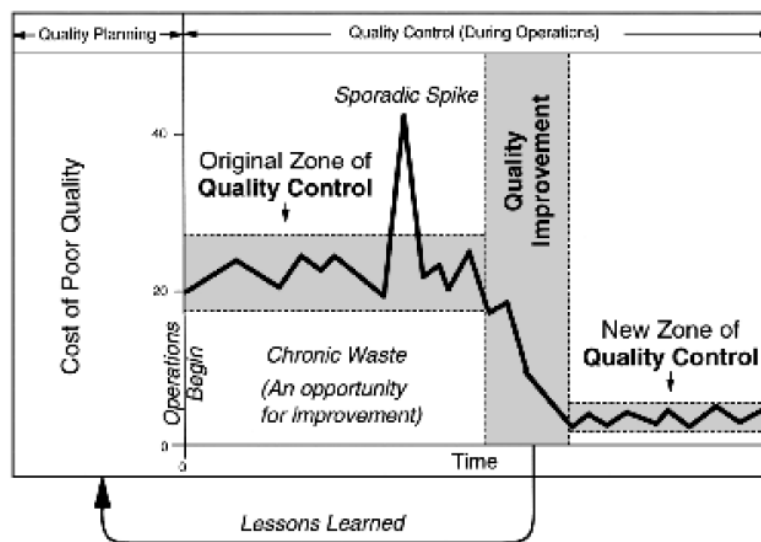
Nota: Métricos de desempeño de dos estaciones críticas de inspección, AOI e inspección por rayos X.

Fuente: Fuente propia utilizando información obtenida del sistema de trazabilidad de registros propiedad de la organización.

El análisis de esta información estará basado en la evaluación de desempeño según el “Diagrama de la Trilogía de Juran” (Juran & Godfrey, 1999), tal como se muestra en la Figura 14.

Figura 14.

Diagrama de la Trilogía de Juran



Nota: Adaptado de Juran, J. M. (1999)

Fuente: “Juran’s Quality Handbook”. (1999)

Este diagrama ilustra la relación que existe entre la planificación de la calidad, control de la calidad y mejora de la calidad, mostrando cómo la planificación de la calidad establece las bases al identificar las necesidades del cliente y/o la operación, así como los procesos para satisfacerlas. Luego, estos planes se transfieren a las operaciones para su ejecución.

En esencia, la planificación define el camino a seguir para reducir el costo de la mala calidad a lo largo del tiempo.

4.1.2. Consideraciones costo/beneficio de la intervención

Impacto del indicador *First Pass Yield* en Costos de Producción

Un *yield* bajo significa más defectos, reprocesos y desperdicio de materiales, lo que eleva los costos de manufactura.

Algunas áreas afectadas incluyen:

- **Costo de Materiales:** Si el *yield* es bajo, más unidades defectuosas deben ser descartadas o retrabajadas, aumentando el gasto en componentes.
- **Costo de Mano de Obra:** Los reprocesos requieren más horas-hombre, lo que incrementa los costos laborales sin agregar valor.
- **Costo de Energía y Operación:** Equipos funcionando más tiempo para retrabajos aumentan el consumo energético y reducen la capacidad disponible para nuevos productos.
- **Impacto financiero:** Aumento en el *Cost of Goods Sold* y reducción en el margen de ganancia.

Relación con la Rentabilidad, Flujo de Caja y KPIs Financieros

- Un *yield* alto reduce desperdicios y costos de retrabajo, lo que mejora los márgenes de ganancia.
- Un *yield* bajo impacta la capacidad de cumplir con los tiempos de entrega, lo que puede generar penalizaciones contractuales o pérdida de clientes.

- Menos defectos significan menos reclamaciones de garantía y devoluciones, reduciendo pérdidas financieras y costos por servicio al cliente.
- Un *yield* alto mejora en la utilidad neta y flujo de efectivo al minimizar costos operativos imprevistos.

En la Tabla 8, se describe como el desempeño operativo en términos de calidad (*yield*) impacta métricas financieras. Para la alta dirección, optimizar este indicador es una estrategia clave para mejorar el desempeño financiero y la sostenibilidad del negocio.

Tabla 8.

Relación con KPIs Financieros Claves.

Métrica Financiera	Impacto de un <i>yield</i> Bajo	Impacto de un <i>yield</i> Alto
<i>Gross Margin</i> (Margen Bruto)	Costos de manufactura más altos reducen el margen de ganancia.	Costos reducidos aumentan la rentabilidad.
<i>Operating Profit</i> (Utilidad Operativa)	Más gastos en reprocesos afectan la utilidad.	Eficiencia operativa mejora la rentabilidad.
<i>Cash Flow</i> (Flujo de Caja)	Más desperdicio y retrasos afectan el capital de trabajo.	Menos costos imprevistos mejoran el flujo de efectivo.
<i>Return on Assets</i> (ROA)	Activos menos productivos debido a desperdicio y reprocesos.	Mejor aprovechamiento de activos productivos.

Nota: Un *yield* alto no solo refleja una manufactura eficiente, sino que se traduce en reducción de costos, mejora en rentabilidad y mayor competitividad en el mercado.

Fuente: Elaboración propia.

Influencia en Ingresos y Satisfacción del Cliente

- Un proceso con *yield* alto genera productos de mejor calidad, lo que fortalece la reputación de la empresa y la lealtad del cliente.
- Clientes satisfechos tienden a realizar compras recurrentes y recomendar la marca, lo que impulsa el crecimiento de ventas.
- En manufactura de electrónicos, cumplir con los estándares de calidad es clave para mantener contratos con clientes estratégicos, especialmente en sectores como automotriz o dispositivos médicos.
- Mayor retención de clientes, reducción en costos de adquisición de nuevos clientes y aumento en ventas y *market share* beneficiando el impacto financiero de la organización.

4.2. Actividades, herramientas e instrumentos

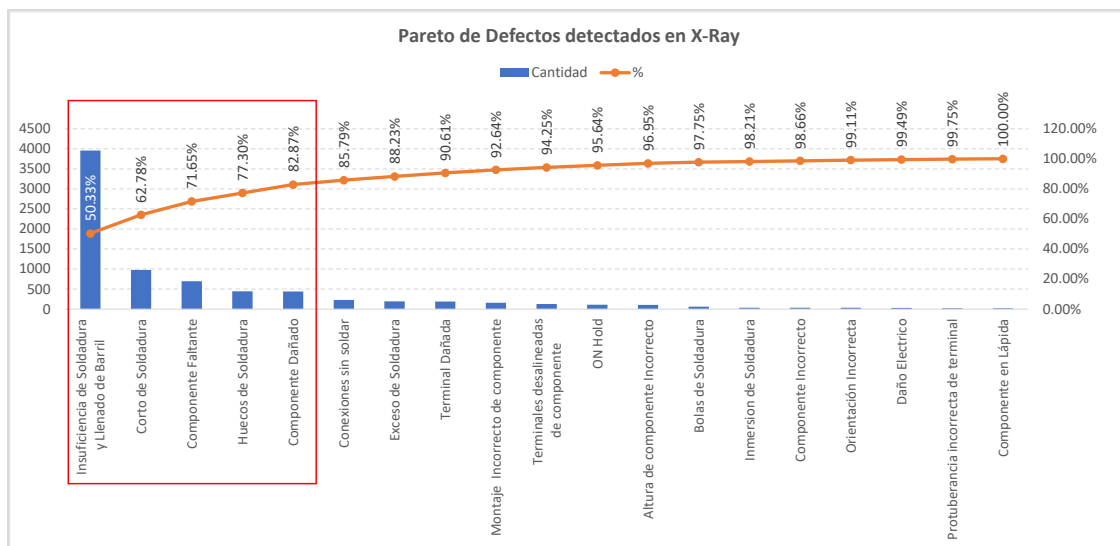
4.2.1. Análisis detallado de defectos que están impactando el desempeño operativo

El análisis del desempeño operativo, basado en los resultados de *First Pass Yield* de las inspecciones críticas de inspección, revela que la principal fuente de defectos se atribuye al proceso de soldadura por ola y selectiva, también conocidos dentro de la organización como “procesos intermedios”, que son operaciones que preceden a la inspección automática de rayos X. Como parte del análisis detallado de los defectos que impactan el desempeño de esta operación, utilizando el método de análisis de Pareto (Juran & Godfrey, 1999), se categorizan y organizan de forma gráfica, los defectos generados durante el proceso de

soldadura de PCBA en dichos “procesos intermedios”, tal como se muestra en la Figura 15. Con base en estos datos se puede identificar que el principal defecto que impacta el desempeño de calidad de PCBA está relacionado a temas relacionados con soldadura tales como insuficiencias, llenados de barril y cortos.

Figura 15.

Gráficas de Pareto de principales defectos detectados durante la operación de Rayos X.



Nota: Principales defectos registrados durante la operación de Rayos X

Fuente: Fuente propia con información obtenida del sistema de trazabilidad de registros propiedad de la organización.

4.2.2. Interpretación de los defectos de soldadura en el Proceso de Manufactura de PCBA

La calidad y fiabilidad de las tarjetas electrónicas son cruciales para el funcionamiento óptimo de numerosos dispositivos y sistemas. El siguiente análisis de defectos en tarjetas electrónicas se basa en los criterios de aceptación definidos por el estándar “IPC-A-610 Aceptabilidad de Ensamblajes Electrónicos” (Institute for Printed Circuits, 2020). Este estándar proporciona una base sólida para la identificación y clasificación de no conformidades, asegurando la calidad en el proceso de producción.

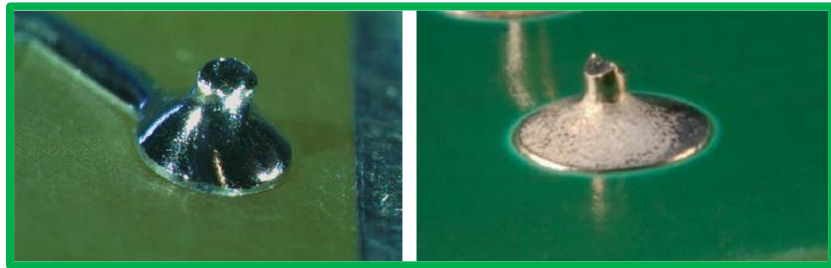
El estándar IPC-A-610 establece los criterios de aceptación para ensamblajes electrónicos, proporcionando una guía fundamental para la identificación y prevención de defectos. Este documento se utilizará como referencia principal para analizar y discutir los diversos tipos de defectos que pueden surgir durante el proceso de fabricación de tarjetas electrónicas, asegurando así el cumplimiento de los más altos estándares de calidad.

IPC-A-610 clasifica la calidad de la soldadura en tres clases según el nivel de exigencia: Para ser consideradas aceptables, las uniones de soldadura deben presentar una apariencia uniforme, buen llenado en las superficies de contacto y un ángulo de esparcimiento que no supere los 90°. Los criterios considerados como condiciones aceptables y no aceptables para los orificios con soporte soldados para uniones de soldadura se muestran en la Figura 16.

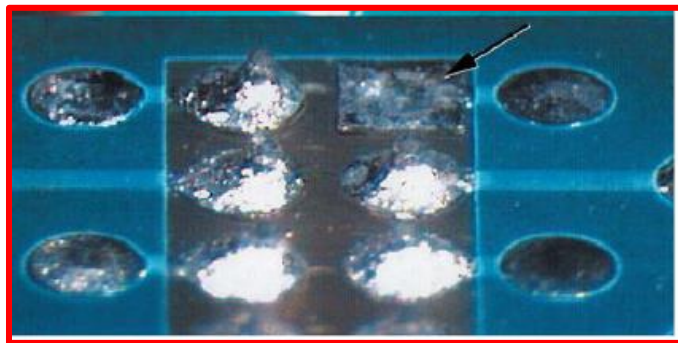
Figura 16.

Imágenes de referencia para condiciones aceptables y no aceptables para el proceso de soldadura de componentes THT de acuerdo a IPC.

- *Condición aceptable para soldadura y terminado de componentes montados por orificios con soporte.*



- Condición no aceptable (defecto) para soldadura y terminado de componentes montados por orificios con soporte.



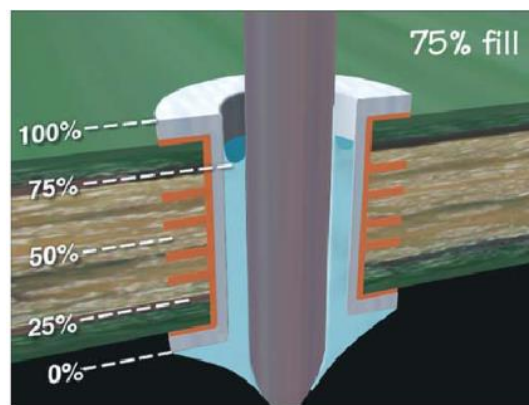
Nota: Las imágenes muestran la condición aceptable y no aceptable para el proceso de soldadura de componentes THT. La terminal esta visible en la soldadura.

Fuente: Imagen adaptada del estándar IPC-A-610 Aceptabilidad de Ensamblajes Electrónicos (Institute for Printed Circuits, 2020).

Con referencia a el requerimiento de un buen llenado en las superficies de contacto, la Figura 17 muestra la condición aceptable para esta característica de soldadura de acuerdo al estándar IPC-A-610 (Institute for Printed Circuits, 2020).

Figura 17.

Referencia de soldadura para componentes de soldadura vertical.



Nota: El llenado de soldadura vertical deberá cumplir con los requisitos documentados en Tabla 7.

Fuente: Imagen adaptada del estándar IPC-A-610 Aceptabilidad de Ensamblajes Electrónicos (Institute for Printed Circuits, 2020).

De igual manera, en la Tabla 9 se documentan los requerimientos de las condiciones de soldadura para componentes ensamblados por orificios de soporte con base en la especificación del estándar IPC-A-610 (Institute for Printed Circuits, 2020), con el fin de asegurar la calidad y funcionalidad del producto.

Tabla 9.

Condiciones de soldadura mínima aceptables para orificios con soporte en terminales de componentes.

Criterios		Clase 1	Clase 2	Clase 3
A.	Llenado vertical de soldadura para componentes con menos de 14 terminales y no conectados a un plano térmico interno, Notas 2 y 3 (ver 7.3.5.1 Tecnología de Orificios – Orificios con Soporte – Llenado Vertical (A)).	No Especificado	75%	75%
	Llenado vertical de soldadura para cada terminal que está conectado a un plano térmico interno, en componentes con menos de 14 terminales. Notas 2 y 3 (ver 7.3.5.1 Tecnología de Orificios – Orificios con Soporte – Llenado Vertical (A)).		50% o 1.2 mm [0.05 in], lo que sea menor	
	Llenado vertical de soldadura para componentes con 14 terminales o más, Notas 2 y 3 (ver 7.3.5.1 Tecnología de Orificios – Orificios con Soporte – Llenado Vertical (A)).			
B.	Adherencia/Mojado circunferencial del terminal y del barril en el lado de destino de la soldadura (ver 7.3.5.2 Tecnología de Orificios – Orificios con Soporte – Lado de Destino de la Soldadura – Terminal a Barril (B)).	No Especificado	180°	270°
C.	Porcentaje del área de la pista cubierta con soldadura adherida/mojada en el lado de destino de la soldadura (ver 7.3.5.3 Tecnología de Orificio – Orificios con Soporte – Lado de Destino de la Soldadura – Cobertura del Área de la Pista (C)).	0%		
D.	Adherencia/Mojado circunferencial del terminal y del barril en el lado de origen de la soldadura (ver 7.3.5.4 Tecnología de Orificios – Orificios con Soporte – Lado de Origen de la Soldadura – Terminal a Barril (D)).	270°		330°
E.	Porcentaje del área de la pista cubierta con soldadura adherida/mojada en el lado de origen de la soldadura (ver 7.3.5.5 Tecnología de Orificio – Orificios con Soporte – Lado de Origen de la Soldadura – Cobertura del Área de la Pista (E)).	75%		

Nota 1. La soldadura adherida/mojada se refiere a la soldadura aplicada por el proceso de soldadura. Para la soldadura intrusiva, puede que no haya un menisco externo entre el terminal y la pista.

Nota 2. La altura sin llenado incluye la suma de las depresiones del lado de origen y de destino.

Nota 3. Es posible que menos del 100% de llenado de soldadura no sea aceptable en algunas aplicaciones, por ejemplo, en caso de choque térmico o de rendimiento eléctrico. El Usuario es responsable de identificar estas situaciones al Fabricante.

Nota 4. Para la Clase 2, el llenado vertical de soldadura de 50% o 1.2 mm [0.05 in], lo que sea menor, es permitido siempre que haya 360° de adherencia/mojado en el terminal y las paredes del barril PTH, en el lado de origen de la soldadura.

Fuente: Imagen adaptada del estándar IPC-A-610 Aceptabilidad de Ensamblados Electrónicos (Institute for Printed Circuits, 2020).

4.2.3. Antecedentes de los equipos para soldadura de componentes con diseño “Through-hole Technology”

A continuación, se detallan las características individuales de los equipos que han sido identificados como los principales causantes del bajo rendimiento de las tarjetas electrónicas. Este análisis tiene como objetivo proporcionar información clave sobre los equipos involucrados en el proceso de intervención.

Soldadura por efecto de ola

El proceso de soldadura por ola incluye tres elementos principales:

1. Aplicación de fundente (Flux).
2. Precalentamiento.
3. Soldadura.

La Figura 18 se muestra como referencia gráfica la secuencia de operación de una máquina de soldadura por ola.

Figura 18.

Secuencia de operación de una máquina de soldadura por ola.



Nota: La soldadura por ola es un proceso de soldadura a gran escala en el que los componentes electrónicos son soldados al PCB para formar un montaje electrónico.

Fuente: Sitio web <https://tecnicodesmt.blogspot.com/2020/02/proceso-de-soldadura-por-ola.html>

El proceso de soldadura por ola consiste en hacer pasar ensambles de tarjetas de circuitos impresos a través de un sistema de transporte (*conveyor*) sobre un flujo de soldadura fundida en el que, al hacer contacto con la superficie de la PCBA y las terminales sobresalientes de los componentes con “*Through-hole Technology*”, formará uniones mecánicas por el principio de acción capilar. La acción capilar es la capacidad de un líquido de fluir por espacios estrechos de manera natural (Mulugeta & Guna, 2016).

La aplicación del elemento fundente, también conocido como flux en una PCBA durante la soldadura por ola es crucial para asegurar una excelente unión de los componentes. Sus principales funciones incluyen prevenir la oxidación, mejorar la humectación, reducir defectos y optimizar el proceso. Esto no solo mejora la calidad del producto final, sino que también reduce costos y aumenta la productividad de la empresa. Este proceso consiste en aplicar el fundente líquido a través de un método de rociado en forma de aerosol sobre la superficie inferior de la PCB antes de que pase por la ola de soldadura. Este método asegura una cobertura uniforme y es común en procesos automatizados (Zhao, 2025).

Posteriormente, el proceso de precalentamiento en la soldadura por ola es esencial para asegurar una unión de alta calidad. Este proceso calienta la PCB antes de la soldadura, eliminando contaminantes y humedad, reduciendo la velocidad de enfriamiento y las tensiones, y previniendo grietas inducidas por hidrógeno, optimizando la calidad del producto final y la eficiencia del proceso. Finalmente, el elemento de soldadura consiste en el proceso en el que la soldadura fundida entra en contacto con las superficies revestidas de la PCBA y

los componentes, creando así una unión soldada entre ambas superficies. La unión soldada resultante constituye tanto una estructura mecánica como una conexión eléctrica entre el PCBA y el cuerpo del componente.

La calidad y el correcto funcionamiento de la tarjeta están directamente relacionados. Si la soldadura entre la tarjeta y sus componentes no es adecuada, la conexión eléctrica entre ellos será deficiente, lo que impedirá que la tarjeta funcione correctamente. En algunos casos, los problemas pueden surgir durante la fabricación de las tarjetas, pero en otros, las fallas pueden aparecer después de un tiempo, lo que dificulta su detección durante la manufactura.

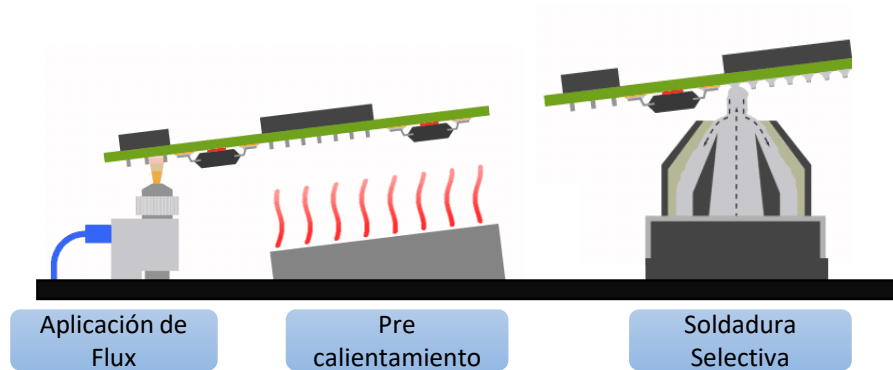
Soldadura Selectiva

El proceso de soldadura selectiva consta de tres fases esenciales que aseguran uniones mecánicas y eléctricas fiables (Nordson, 2022), tal como se muestra en la Figura 19:

1. Aplicación de Fundente (*fluxing*): Se aplica un fundente líquido solo en las áreas que se van a soldar. Esto prepara las superficies para la soldadura.
2. Precalentamiento: La PCB se precalienta para activar el fundente y preparar el conjunto para la soldadura, garantizando una temperatura uniforme.
3. Soldadura: Una boquilla programable se desplaza para soldar los pines de los componentes a través de la acción capilar. La soldadura fundida fluye por los orificios del PCB para crear una unión robusta.

Figura 19.

Secuencia de operación de una máquina de soldadura Selectiva.



Nota: La soldadura selectiva es un proceso automatizado diseñada para soldar componentes de inserción *through-hole* en placas de circuito impreso (PCB) con alta precisión.

Fuente: Imagen propiedad de microensamble.com obtenida del sitio web

<https://microensamble.com/disenar-pcbs-soldadura-selectiva/>

La soldadura selectiva es un proceso automatizado y una variante de la soldadura por ola, diseñada para soldar componentes de inserción *through-hole* en placas de circuito impreso con alta precisión. A diferencia de la soldadura por ola, que cubre de soldadura toda la superficie en contacto de la tarjeta, la soldadura selectiva aplica soldadura y calor solo a puntos específicos, evitando así dañar componentes sensibles de montaje superficial (SMT) y las áreas circundantes.

Este proceso es ideal para ensambles de tecnología mixta, donde la confiabilidad y la uniformidad son críticas, como en los sectores automotriz, aeroespacial y de telecomunicaciones además de ser un proceso más repetible,

minimizando el consumo de energía y asegurando una producción de gran volumen con alta calidad (Apollo Seiko Mexico, 2024).

Inspección de PCBA en Equipo de Rayos X

En el contexto de la manufactura electrónica, el equipo de inspección automatizada de rayos X en 3D funciona como un escáner de rayos X de alta tecnología diseñado específicamente para la fabricación de productos electrónicos.

Su propósito principal es detectar defectos ocultos en las placas de circuito impreso (PCB) que no pueden ser vistos por el ojo humano o por otros sistemas de inspección óptica (Moko Technology, 2025). Para fines de referencia visual, la Figura 20 ilustra un equipo de inspección por rayos X que representa el tipo de tecnología convencional utilizada por la organización en el marco de esta intervención.

Figura 20.

Sistema de inspección avanzada por rayos X en línea 3D.



Nota: La imagen muestra un Sistema de inspección avanzada por rayos X en línea 3D típicamente utilizado en la industria de manufactura electrónica como herramienta para detección de defectos de soldadura.

Fuente: Imagen propiedad de Vitrox obtenida del sitio web <https://www.vitrox.com/vision-technology-machine-system/x-ray-inspection-system-axi-v810is2-spec.php>

4.2.4. Análisis de datos y su aplicación en la identificación de defectos

Con el objetivo de optimizar el control de la operación, la organización emplea un Sistema de Ejecución de Manufactura (MES). De acuerdo con SAP SE (2025), un MES es una plataforma dinámica que supervisa, rastrea, documenta y controla la fabricación, actuando como un enlace funcional entre la planificación de recursos empresariales (ERP) y los sistemas de control de procesos.

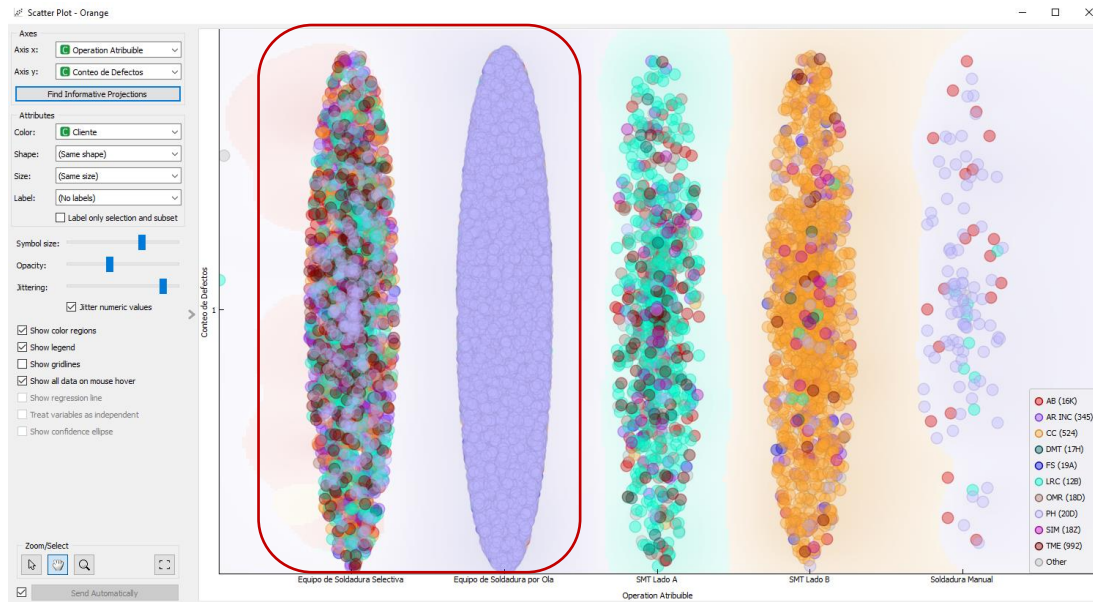
En la manufactura moderna, el MES es una herramienta fundamental que permite la recopilación y el análisis de datos en tiempo real. Su implementación facilita la trazabilidad, mejora la calidad, identifica cuellos de botella y optimiza la toma de decisiones estratégicas, lo que se traduce directamente en una mayor eficiencia operativa y reducción de costos.

Para este análisis, se utilizaron datos extraídos del sistema MES de la organización, abarcando el periodo de enero de 2024 a enero de 2025. A partir de esta información, se llevó a cabo una estratificación de datos con el propósito de identificar la causa raíz de las insuficiencias de soldadura y determinar los principales factores que contribuyen a la ocurrencia de defectos. Finalmente, para analizar estos datos y establecer la correlación entre los procesos de manufactura y el desempeño operativo del sistema de rayos X, se empleó la plataforma *Orange Data Mining* que es un software de código abierto especializado en minería de datos (Orange Data Mining, 2025).

Esta herramienta facilitó la evaluación de variables críticas y proporcionó la base cuantitativa para la toma de decisiones estratégicas. La Figura 21 es una visualización generada en esta plataforma, específicamente un gráfico de dispersión (*scatter plot*) que ilustra la correlación clave entre variables y defectos en el proceso.

Figura 21.

Gráfico de dispersión (scatter plot) de correlación de Procesos atribuibles de defectos y Clientes afectados.



Nota: Visualización de datos generada en *Orange Data Mining*, que muestra la correlación entre variables relacionadas con defectos en un proceso de manufactura.

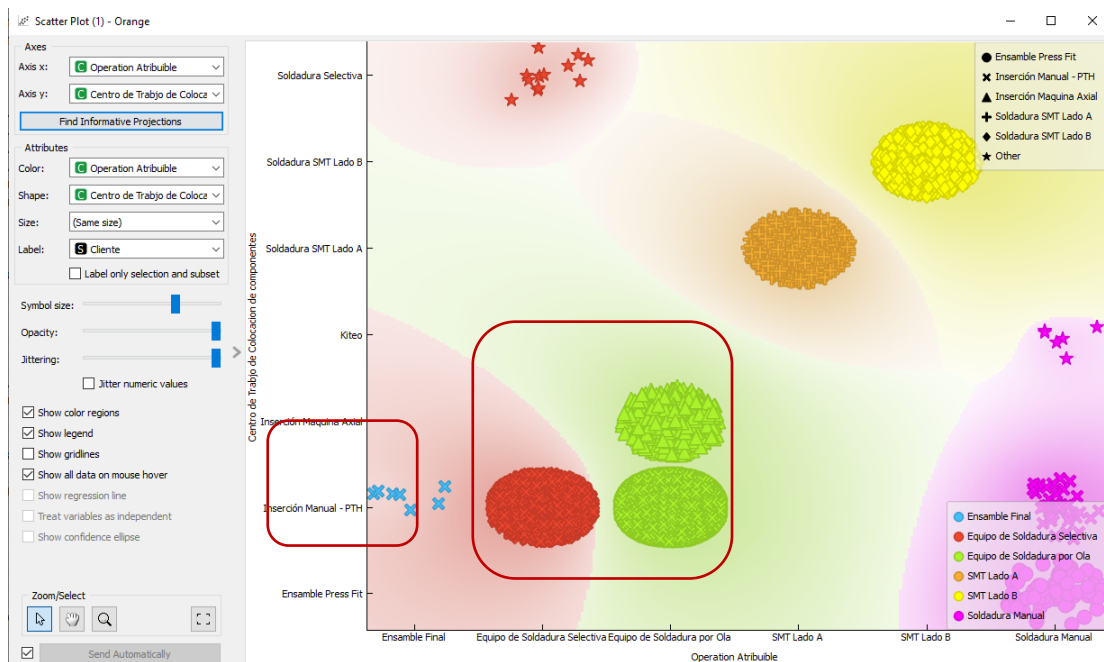
Fuente: Gráfico generado en *Orange Data Mining* con información obtenida del sistema de trazabilidad de registros propiedad de la organización.

El análisis visual de la información sugiere que, dentro del proceso de manufactura de PCBA, los equipos de soldadura por ola y soldadura selectiva representan las principales fuentes de defectos en la producción. Esta observación resalta la necesidad de una investigación profunda para identificar las causas raíz y proponer mejoras en este proceso, ya que se considera el principal generador de ineficiencias que impactan el cumplimiento de los planes de producción y venta de la organización.

Para un nivel de detalle más avanzado, la Figura 22 presenta el examen de la relación entre las operaciones realizadas en el proceso de manufactura (eje X) y el centro de trabajo encargado de la colocación de componentes (eje Y).

Figura 22.

Gráfico de dispersión (scatter plot) de correlación de Procesos atribuibles de defectos y Procesos previos de manufactura.



Nota: Visualización de datos generada en *Orange Data Mining* que muestra la correlación entre variables relacionadas con defectos en un proceso de manufactura.

Fuente: Gráfico generado en *Orange Data Mining* con información obtenida del sistema de trazabilidad de registros propiedad de la organización.

A partir del análisis visual de la información, la agrupación de defectos por operación y centro de trabajo permite identificar patrones clave. En la visualización, cada punto representa datos asociados a defectos específicos en una combinación particular de operación y centro de trabajo. Se observa una clara segmentación de clústeres en distintas regiones de color, lo que indica que ciertos centros de trabajo tienden a generar defectos en operaciones específicas.

En cuanto a la contribución por centro de trabajo, se identificó que los equipos de Soldadura por Ola y Soldadura Selectiva presentan clústeres diferenciados con menor dispersión. Esto sugiere que sus defectos están altamente concentrados en un conjunto particular de causas. Adicionalmente, se evidenció una correlación significativa con los centros de trabajo de inserción manual (THT) y ensamble *press fit*, lo que confirma el impacto considerable de estas áreas en la cantidad total de defectos del proceso de manufactura. Este análisis detallado facilita la priorización de las operaciones y centros de trabajo con mayor incidencia en la generación de fallas, proporcionando información valiosa para la toma de decisiones estratégicas orientadas a la mejora de procesos.

Como conclusión fundamental, la operación relacionada con inserción manual (THT) y la soldadura constituyen los centros de trabajo con la mayor incidencia de defectos, representando una oportunidad crítica de mejora operativa. La implementación de estrategias de control riguroso, automatización y capacitación puede contribuir significativamente a la reducción de defectos y a la optimización general del proceso de manufactura.

4.2.5. Herramientas para Análisis de causa Raíz relacionadas a problemas de Insuficiencias de Soldadura en PCBA

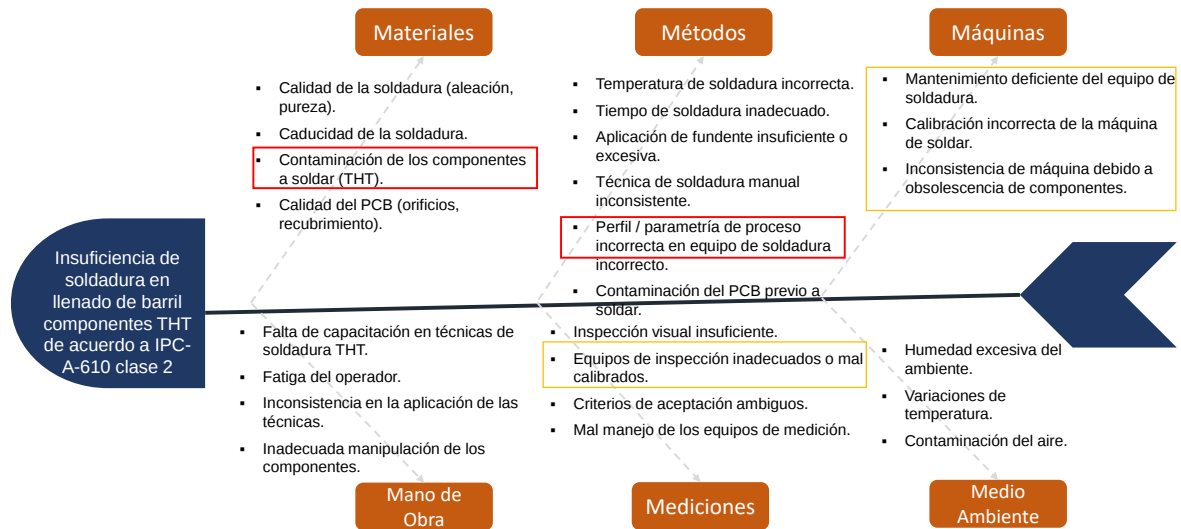
El análisis de causa raíz (RCA) es un proceso sistemático y proactivo diseñado para identificar las causas fundamentales de un problema o no conformidad, en lugar de limitarse a tratar los síntomas superficiales. Una de las herramientas más comunes para este fin en la industria electrónica es el Diagrama de Causa-Efecto, también conocido como Diagrama de Ishikawa o diagrama de espina de pescado. Esta herramienta visual, desarrollada por Kaoru Ishikawa en la década de 1960 para mejorar el control de calidad (Juran & Godfrey, 1999), se utiliza para identificar y organizar las posibles causas de un efecto específico.

Para el caso en estudio, la Figura 23 presenta un diagrama de causa-efecto elaborado para analizar las causas potenciales que contribuyen a la insuficiencia de soldadura durante el proceso de soldadura por ola. Este análisis busca comprender y mitigar el impacto de dichos defectos en el rendimiento de calidad de los ensambles de tarjetas de circuito impreso durante la inspección de rayos X.

Las causas potenciales del defecto se agrupan en las seis categorías primarias de la manufactura: materiales (calidad y manejo de insumos), métodos (procedimientos y *set up* operativo), máquinas (funcionamiento y calibración del equipo), mano de obra (capacitación y desempeño de operarios), mediciones (precisión en la inspección y criterios de aceptación), y medio ambiente (condiciones ambientales).

Figura 23.

Diagrama de Causa-Efecto para identificación de causa raíz de problemas de insuficiencia de soldadura en PCBA.



Nota: El principal propósito de esta herramienta, es la identificación clara, y concisa, de las posibles causas de un problema.

Fuente: Fuente propia utilizando información técnica de la organización.

4.2.6. Herramientas para identificar y prevenir errores durante el proceso de manufactura

La herramienta PFMEA (Análisis de Modos de Fallos y Efectos del Proceso) (Juran, 1999), es una metodología proactiva utilizada para identificar y prevenir posibles fallos en un proceso de fabricación centrada en analizar cada paso del proceso, identificar los posibles modos de fallo, evaluar sus efectos y determinar las acciones preventiva|s necesarias.

En la industria electrónica, donde la precisión y la fiabilidad son críticas, PFMEA ayuda a garantizar la calidad del producto y a minimizar los riesgos de fallos. El Análisis de Modos y Efectos de Fallas del Proceso analiza cada paso del proceso para identificar riesgos y posibles errores de muchas fuentes diferentes. Las fuentes más frecuentemente consideradas son:

- Hombre
- Métodos
- Materiales
- Maquinaria
- Medición
- Medio Ambiente.

A través del análisis detallado de los potenciales modos de falla y efectos relacionados con los procesos de ensamble de componentes *THT*, procesos de soldadura e inspección de rayos X, y contrastando con los controles que se encuentran documentados e implementados dentro de la organización, se lleva a cabo la identificación de los controles de prevención y detección dentro del proceso de manufactura que tienen la intención de maximizar la eficiencia operativa de la operación y prevenir el impacto en la calidad del producto debido a errores en la ejecución de estos procesos. En el Anexo A se muestra a manera de extracto, el PFMEA que la compañía tiene actualmente documentado referente al proceso de Soldadura.

4.3. Etapas del proceso de aplicación de la intervención

El éxito de cualquier proceso de manufactura reside en la eficiencia y calidad de sus operaciones. En el caso de la fabricación de PCBA, se ha identificado que los procesos de soldadura intermedios, que incluyen los equipos de soldadura por ola y soldadura selectiva, constituyen una de las principales fuentes de defectos.

Esta situación impacta negativamente tanto en la calidad del producto como en la eficiencia operativa de la organización. Para abordar esta problemática de manera efectiva, se ha diseñado una intervención estructurada con el objetivo de analizar, mejorar y optimizar este proceso de forma sistemática.

Este apartado tiene como propósito describir las etapas clave de la intervención, centradas en la implementación de mejoras y su monitoreo continuo. Se consideran aspectos fundamentales, como la asignación de recursos humanos, económicos y temporales, así como los factores organizacionales que podrían influir en la ejecución exitosa del proyecto. A través de este enfoque metodológico, la organización busca reducir los defectos, mejorar la confiabilidad del proceso y optimizar el cumplimiento de los planes de producción y venta.

4.3.1. Cronograma de la implementación de la estrategia

La implementación exitosa de una estrategia de mejora en procesos de manufactura requiere una planificación estructurada que fomente la adopción de nuevas prácticas. Basándose en los principios de las "Ocho Formas de la Innovación" de Peter J. Denning (2012), el enfoque de la intervención se desplaza de la mera finalización de tareas hacia el fomento del compromiso y la aceptación

organizacional. Este enfoque estratégico se materializa en un cronograma de mejoras detallado para los procesos de manufactura mostrado en la Tabla 10.

Tabla 10.

Cronograma de actividades.

Etapas	Objetivo	Actividades Clave	Tiempo Estimado	Responsables
(SENSING) 1. Diagnóstico y Análisis Inicial	Identificar con precisión las principales causas de defectos en la Soldadura por Ola / Selectiva.	Recopilación y análisis de datos históricos de defectos.	4 semanas Fecha de inicio: Mayo 2025	Ingeniería de Procesos, Calidad, Producción
		Observación en planta y entrevistas con operadores.		
		Evaluación de cumplimiento de procedimientos.		
		Análisis de capacidad y estabilidad del proceso, Diseño de Experimentos		
(ENVISIONING) 2. Definición de Estrategia de Mejora	Diseñar un plan de acción basado en los hallazgos del diagnóstico.	Identificación de estrategias de optimización.	3 semanas	Ingeniería de Procesos, Gerencia de Calidad, Finanzas
		Priorización de acciones.		
		Definición de KPIs y medición inicial.		
		Estimación de costos y recursos necesarios.		
(OFFERING) 3. Implementación Piloto	Validar la efectividad de las mejoras antes de una implementación total.	Aplicación de ajustes en una línea piloto.	4 semanas	Producción, Ingeniería de Procesos, Calidad
		Capacitación del personal.		
		Monitoreo y medición de resultados.		
		Comparación de desempeño antes y después de la intervención.		
(ADOPTING) 4. Evaluación de Resultados y Ajustes	Determinar si la intervención logró reducir defectos y mejorar la eficiencia.	Análisis de métricas post - implementación.	3 semanas	Ingeniería de Procesos, Calidad, Producción
		Identificación de mejoras adicionales.		
		Retroalimentación del personal.		
		Ajustes finales antes de escalamiento.		
(SUSTAINING) 5. Monitoreo y Mejora Continua	Garantizar la sostenibilidad de los cambios implementados.	Seguimiento constante de KPIs.	Permanente	Calidad, Ingeniería de Procesos, Producción
		Auditorías periódicas.		
		Establecimiento de un sistema de retroalimentación.		
		Aplicación de mejoras adicionales según resultados.		

Fuente: Elaboración Propia.

Dicha herramienta define claramente actividades, plazos y responsabilidades, lo que facilita una coordinación eficiente de los recursos y asegura la ejecución completa de cada fase. El objetivo final de esta rigurosa planificación es minimizar los impactos negativos en la producción, optimizar la calidad del proceso y reducir significativamente los defectos en los ensambles de circuitos impresos.

4.3.2. Imprevistos

En cualquier intervención en un proceso de manufactura, pueden surgir imprevistos que afecten la ejecución del proyecto. A continuación, se listan algunos de los más relevantes identificados por parte del equipo de trabajo relacionados con la propuesta de mejora del proceso de soldadura por ola o selectiva en la manufactura de PCBA dentro de la organización a intervenir, así como las potenciales estrategias para mitigación de los mismos:

- Factores técnicos y operativos:
 - Variabilidad en el proceso de Soldadura: Factores como temperatura inestable, mala alineación del transportador o calidad inconsistente de la soldadura pueden generar resultados inesperados.
 - Fallas en equipos y mantenimiento no programado: Un desperfecto en la máquina de soldadura podría retrasar la intervención si no se tiene un plan de contingencia.
 - Disponibilidad de insumos y materiales: Retrasos en la entrega de flux, aleaciones de soldadura o PCBA pueden afectar la implementación de mejoras.

- Factores humanos:
 - Resistencia al cambio por parte del personal: Los operadores y supervisores pueden mostrar oposición si no ven beneficios claros en la intervención o si no reciben la capacitación adecuada.
 - Rotación de personal clave: Si empleados clave, como ingenieros de procesos o supervisores, dejan la empresa durante la intervención, podría haber retrasos en la implementación.
- Factores organizacionales y de gestión:
 - Falta de apoyo de la alta dirección: Si no se asignan recursos suficientes o se cambia la prioridad de la iniciativa, la intervención puede quedar en pausa.
 - Cambios de prioridades en los planes de producción: Un aumento inesperado en la demanda o prioridades puede dificultar la implementación de cambios sin afectar la entrega de productos.
 - Reasignación de presupuesto: Si surgen otras necesidades urgentes dentro de la organización, los fondos para la intervención podrían reducirse.
- Factores externos:
 - Problemas en la cadena de suministro: Retrasos en la entrega de componentes electrónicos pueden impedir la ejecución de pruebas en la línea de producción.

- Normativas y certificaciones actualizadas: Si hay cambios en regulaciones (como ISO 9001 o ISO 13485), es posible que se requieran ajustes en la estrategia.
- Condiciones económicas o geopolíticas: Factores macroeconómicos como inflación, aranceles o escasez de materiales pueden impactar costos y disponibilidad de recursos.

4.3.3. Estrategias para mitigar riesgos

Para minimizar el impacto de estos imprevistos, es recomendable:

- Involucrar a los operadores desde el inicio y proporcionar capacitación adecuada.
- Garantizar el respaldo de la dirección y asegurar la disponibilidad de recursos.
- Implementar una metodología de monitoreo continuo para detectar y corregir desviaciones a tiempo.

CAPÍTULO 5

Implementación: Exposición de hallazgos

5.1. Sistematización y medición de resultados

Según los datos del Capítulo 4, los procesos de soldadura por ola y soldadura selectiva han sido identificados como las principales causas de defectos en la fabricación de ensambles de tarjetas de circuito impreso (PCBA), afectando significativamente la productividad de la empresa. La alta tasa de defectos generada en estas operaciones tiene un impacto considerable en la capacidad de inspección, el cronograma de producción y la gestión de recursos. Para mitigar este impacto, es crucial ajustar la planificación de la producción y asignar óptimamente tiempo y recursos, tanto para las unidades defectuosas que requieren retrabajo como para aquellas que superan la inspección inicial.

Una gestión eficaz del rendimiento (*yield*) permitirá optimizar la eficiencia y garantizar el cumplimiento de los plazos de entrega. Además, la reducción de defectos en la manufactura no solo disminuye los costos asociados a reprocesos y desperdicios, sino que también incrementa la productividad y la rentabilidad. Estas mejoras son clave para asegurar la calidad del producto final y fortalecer la competitividad de la organización en el mercado.

5.1.1. Selección del Producto y su Relevancia Estratégica

Para asegurar que esta iniciativa de mejora continua logre un impacto sustancial y se integre de manera coherente con los objetivos estratégicos de la organización,

se estableció un proceso de selección riguroso. Este proceso se centró en identificar la intervención con el mayor potencial de valor para la empresa. Dado el contexto de crecimiento y expansión en la manufactura de dispositivos para el sector médico, el producto elegido fue reconocido como un activo de alta relevancia estratégica. Este producto se ha designado como el foco central de este estudio, dada su posición crítica dentro del portafolio y su potencial para impulsar la ventaja competitiva de la empresa en este mercado en auge.

5.1.2. Descripción técnica y funcionalidad del dispositivo

El dispositivo en cuestión es una Placa de Circuito Impreso (PCBA), que constituye un componente fundamental de un catéter de diagnóstico. Estos catéteres son herramientas esenciales en la medicina moderna, utilizados para la exploración de la anatomía cardíaca y la recopilación de información crítica del corazón (SCW Medicath Ltd., 2025).

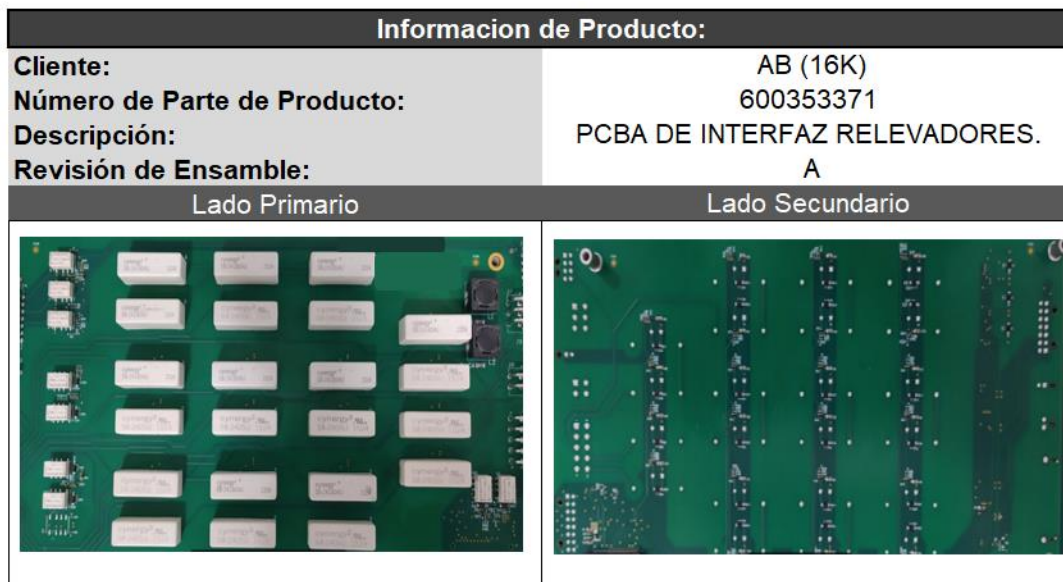
La función principal de este PCBA dentro del catéter es capturar y procesar datos cardíacos con alta precisión. Esto permite a los profesionales médicos obtener una visión detallada y en tiempo real del estado del paciente. La capacidad del dispositivo para facilitar la recopilación integral de datos es crucial para:

- Evaluar la condición del paciente: Permite el diagnóstico de diversas arritmias y otras afecciones cardíacas.
- Proporcionar terapias precisas: La información obtenida guía la administración de tratamientos más específicos y efectivos.

A continuación, se una referencia visual en la Figura 24 para una comprensión más completa de su estructura y diseño.

Figura 24:

Referencia visual de producto: PCBA De Interfaz Relevadores.



Nota: Referencia visual de PBCA De Interfaz de Relevadores como descripción gráfica del producto.

Fuente: Imagen adaptada del producto propiedad de la organización.

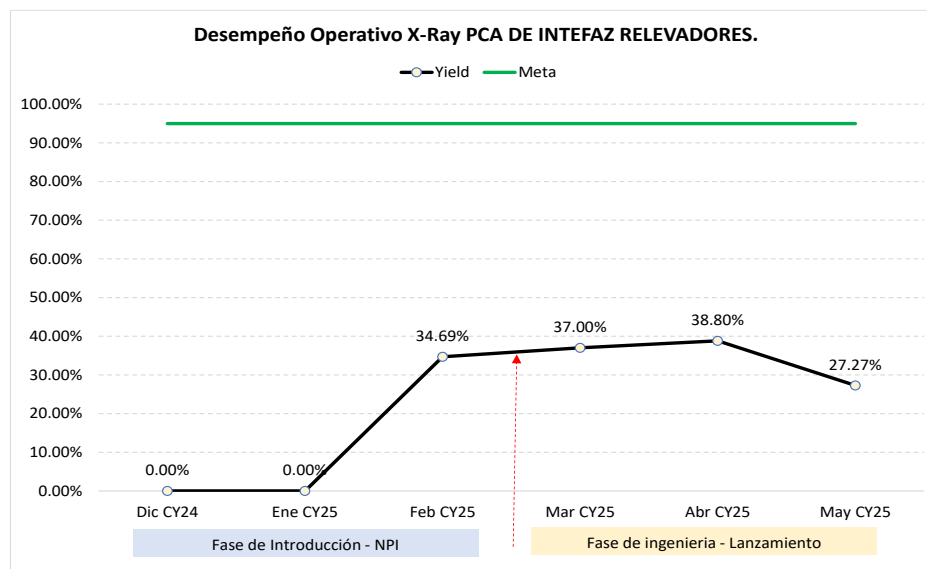
5.1.3. Desempeño Operativo del producto seleccionado

En concordancia con la justificación del proyecto, se evaluó técnicamente el desempeño operativo del producto PCBA de Interfaz de Relevadores. El objetivo fue establecer una línea base de rendimiento que sirva como punto de referencia para cuantificar el impacto de las mejoras propuestas.

Este diagnóstico inicial permite validar objetivamente la magnitud de la problemática y documentar el estado actual del proceso. La Figura 25 presenta el desempeño de calidad del producto durante la inspección por rayos X en su estado inicial. Estos datos son esenciales para cuantificar la problemática y definir metas de mejora precisas; asimismo, constituyen la línea base indispensable para demostrar objetivamente la efectividad de las soluciones implementadas al concluir el proyecto. Sin este referente, sería inviable determinar con exactitud el nivel de optimización alcanzado.

Figura 25.

Desempeño Operativo del producto PCBA de Interfaz Relevadores previo a la implementación de acciones de mejora.



Nota: El gráfico muestra el desempeño del producto durante el proceso de inspección de rayos X en el que se identifica que se encuentra muy por debajo de la meta definida por la organización.

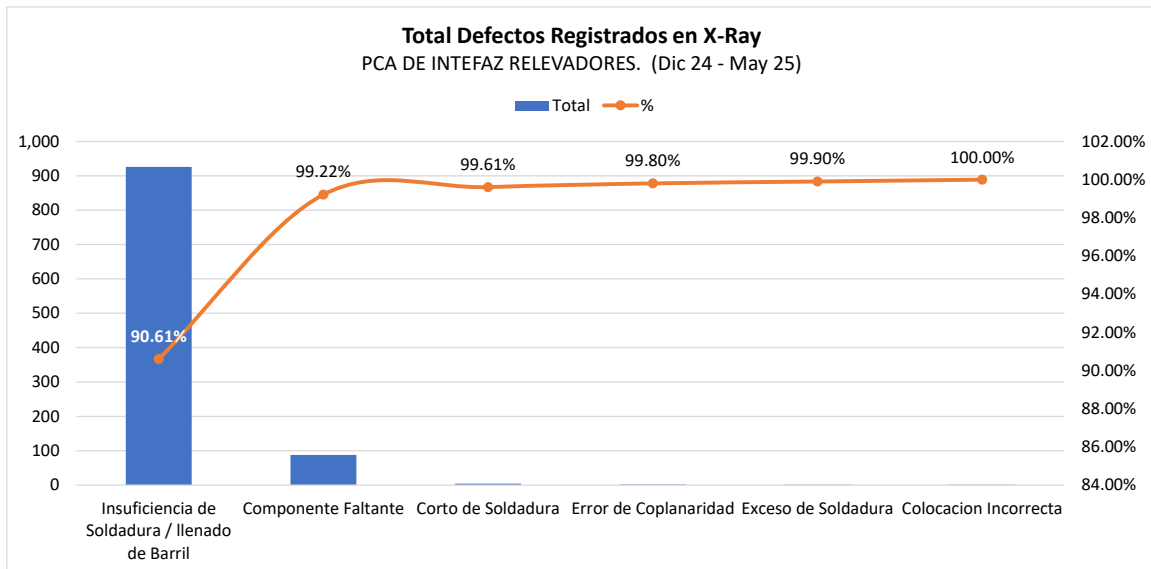
Fuente: Fuente propia utilizando Información obtenida del sistema MES propiedad de la organización.

Para evaluar las causas subyacentes del bajo desempeño, se implementó el análisis de Pareto (Juran & Godfrey, 1999), con el fin de categorizar y organizar gráficamente los defectos generados durante el proceso de soldadura selectiva. Esta metodología permitió identificar que el problema de calidad en el PCBA de Interfaz de Relevadores se concentra principalmente en un pequeño número de causas: los defectos de soldadura.

Específicamente, los resultados mostraron que la insuficiencia de soldadura, el llenado de barril deficiente y los componentes faltantes son los factores críticos que contribuyen a la disminución de la calidad. Estos hallazgos no solo confirman las observaciones iniciales, sino que también son consistentes con el desempeño general de la compañía. La Figura 26 proporciona una representación visual de este análisis de Pareto, mostrando la magnitud de cada tipo de defecto.

Figura 26.

Gráficas de Pareto de defectos detectados durante la operación de Rayos X de PCBA de Interfaz Relevadores.



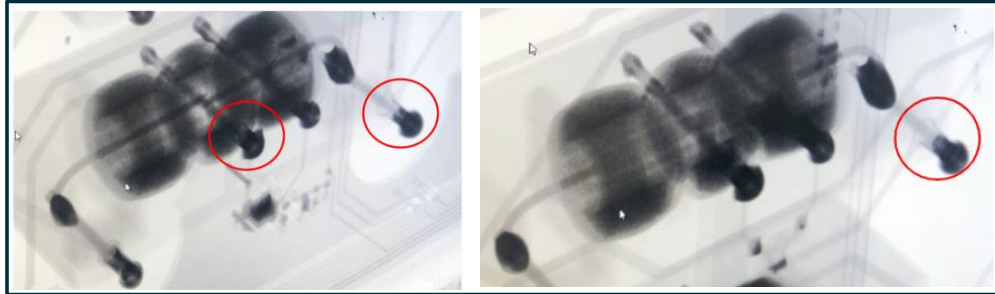
Nota: El diagrama de Pareto ilustran los principales defectos de soldadura selectiva, detectados durante la operación de rayos X durante la manufactura de PCBA de Interfaz Relevadores.

Fuente: Datos obtenidos del sistema de trazabilidad de registros de la organización.

Para validar estos resultados, la Figura 27 presenta una inspección por rayos X que ilustra de manera contundente la naturaleza de las fallas.

Figura 27.

Evidencia de inspección en Rayos X de PCBA de Interfaz Relevadores.



Nota: Defectos de soldadura identificados mediante inspección por rayos X. La imagen muestra insuficiencias en las uniones de los relevadores, con un llenado de barril por debajo del 75%, porcentaje mínimo requerido por el estándar IPC-A-610 (Institute for Printed Circuits, 2020).

Fuente: Registro fotográfico de inspección de Rayos X, propiedad de la organización.

En esta inspección se observa claramente un llenado de barril por debajo del 75%, lo que incumple con el estándar IPC-A-610 (Institute for Printed Circuits, 2020). En conjunto, estos análisis proporcionan una base sólida y objetiva que refuerza la necesidad crítica de una intervención y permite enfocar los esfuerzos de mejora en las causas raíz más significativas.

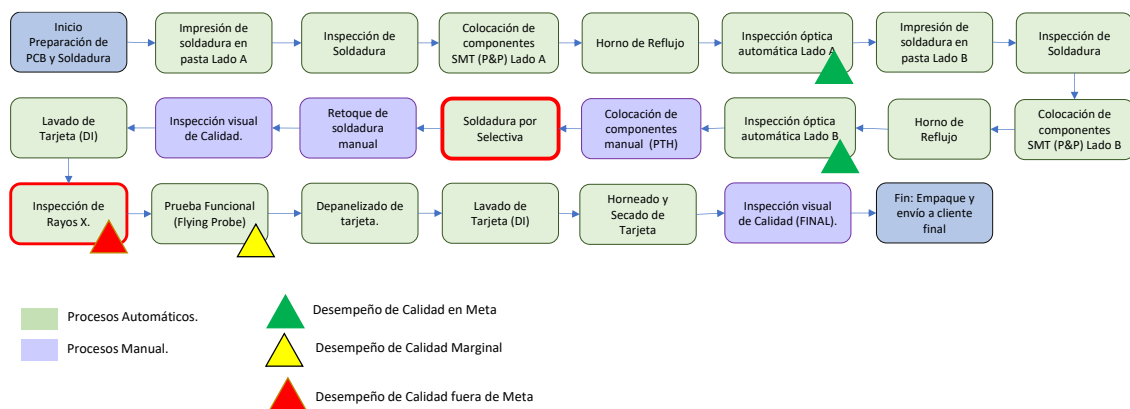
5.1.4. Interacción Tecnológica y Mapeo del Proceso de Manufactura para la fabricación de PCA de Interfaz de Relevadores

La fabricación de este dispositivo requiere la integración sinérgica de diversas tecnologías previamente mencionadas para asegurar la funcionalidad y calidad del producto final. Con el fin de visualizar esta complejidad, se ha desarrollado un diagrama de flujo detallado del proceso de manufactura.

La Figura 28 presenta este diagrama, ofreciendo una representación gráfica de la secuencia de operaciones involucradas en la producción de la PCBA de Interfaz de Relevadores.

Figura 28:

Diagrama de Flujo para la fabricación de PCBA de Interfaz Relevadores.



Nota: En el diagrama de flujo se indica con un triángulo rojo la operación considerada crítica para control de calidad del producto y que su desempeño en términos de calidad del producto tiene un impacto significativo en la capacidad operativa de la organización.

Fuente: Creación propia de diagrama de flujo con base en información de la organización.

Este mapeo de procesos cumple con un propósito doble:

- Identificación de puntos críticos: Visualizar con precisión las operaciones clave y los puntos de control esenciales para el rendimiento y la fiabilidad del dispositivo.
- Alineación estratégica: Confirmar que cada fase del proceso de fabricación esté directamente alineada con los objetivos de esta iniciativa de mejora.

Al identificar y analizar estas operaciones críticas, se garantiza que las intervenciones propuestas se centren en las áreas que generarán el mayor impacto en la calidad, la eficiencia y la reducción de costos. Este enfoque no solo optimiza la cadena de producción, sino que también sirve como una herramienta de gestión visual para asegurar que el proyecto se mantenga enfocado en el cumplimiento de su meta.

En el marco de las iniciativas de mejora continua, se realizó una evaluación del equipo de soldadura selectiva para verificar la disponibilidad y adecuación de su documentación operativa. La revisión identificó que el equipo en uso es el modelo Versaflow 3/66, fabricado por Kurtz Ersä. Según la información oficial del fabricante, este sistema de soldadura selectiva de tercera generación está diseñado para procesar grandes conjuntos y se caracteriza por una arquitectura modular que optimiza la capacidad y flexibilidad de producción (Kurtz Ersä, 2025).

El proceso de soldadura se ejecuta mediante una secuencia de módulos interconectados, cada uno con una función específica:

- **Fundente (*Fluxing*):** Asegura una aplicación precisa del fundente, etapa crítica para preparar la Placa de Circuito Impreso y garantizar una soldadura de alta calidad.
- **Precalentamiento:** Optimiza las condiciones térmicas de la PCBA, un paso esencial para reducir el choque térmico y mejorar la fluidez de la soldadura.
- **Soldadura:** El sistema es altamente escalable, con capacidad para integrar hasta tres módulos de soldadura, cada uno equipado con uno o dos pots

de onda única. Esta configuración incrementa la flexibilidad productiva y el rendimiento.

La configuración modular del Versaflow 3/66 es una característica clave que facilita la adaptación del sistema a las demandas específicas de la producción. La Figura 29 presenta una imagen de referencia del equipo para una visualización más clara de su estructura.

Figura 29.

Versaflow 3/66 - Plataforma de máquina modular para soldadura selectiva XL.



Nota: Imagen de referencia del equipo de soldadura selectiva utilizando dentro de la organización bajo intervención.

Fuente: Adaptado de Kurtz Ersä (2025).

5.1.5. Verificación de la Documentación y Parámetros de Soldadura

El análisis de la información confirmó que la organización dispone de la documentación técnica necesaria para establecer los parámetros estándar del proceso de soldadura selectiva. Este recurso es fundamental para garantizar la consistencia y la calidad en la manufactura, ya que define las directrices que deben seguirse para cada producto. Disponer de un marco de referencia claro y accesible asegura que las operaciones de manufactura se realicen de forma controlada y conforme a los estándares establecidos.

Esta documentación es crucial para el propósito de esta evaluación: verificar que la empresa cumple con los requisitos de calidad, lo que minimiza las variaciones y optimiza el rendimiento. Como se muestra en la Tabla 11, los requisitos de temperatura del perfil y el tiempo de permanencia de la soldadura se basan en la instrucción de trabajo oficial de la compañía para operaciones técnicas de soldadura selectiva.

Tabla 11.

Requerimiento de perfilado para proceso de soldadura selectiva libre de plomo (Lead Free).

Specification	Units	Alpha NR 330	Cookson 6850HF ⁴	Kester NF372-TB	FCT 159HF
Approved Solvent	-	Water	Alcohol	Alcohol	Alcohol
Maximum Topside Preheat Slope ⁵	°C / sec	3	3	3	3
Topside PCB Preheat Temperature ⁵	°C	110-125	90-120	105 - 130	100-145
Bottom Side PCB Preheat Temperature ⁵	°C	110-145	120	105 - 140	≤ 150
Maximum Total Preheat Time ⁵	sec	180	180	240	180
Maximum Through-hole Component Body Temperature	°C	160 ¹	160 ¹	160 ¹	160 ¹
Maximum Through-hole component body time above 120°C	sec	165 ¹	165 ¹	165 ¹	165 ¹
Maximum Topside Through-hole and Surface Mount Components Body Temperature Rise Slope ⁵	°C / sec	3	3	3	3
Maximum Topside Through-hole and Surface Mount Components Body Temperature Decline Slope ⁵	°C / sec	6	6	6	6
Maximum Bottom Side Through-hole and Surface Mount Components Body Temperature Rise Slope ⁵	°C / sec	3	3	3	3
Maximum Bottom Side Through-hole and Surface Mount Components Body Temperature Decline Slope ⁵	°C / sec	6	6	6	6
Temperature Spike on Component Lead (does not apply to connector leads) ³	°C	≤130 ²	≤130 ²	≤130 ²	≤130 ²
Maximum Solder Dwell Time	sec	6	6	6	6

Nota: La tabla muestra las especificaciones de perfiles de soldadura para diferentes pastas de soldar FCT159HF aplicable a este ejercicio.

Fuente: Información obtenidos del sistema de documentación propiedad de la organización.

5.2. Organización de la información obtenida

Basado en el análisis de causa-raíz y el diagrama de causa-efecto (ver sección 4.5.3), la estrategia para mejorar el desempeño del producto se enfocará en dos causas principales de defectos:

1. Parámetros del proceso de soldadura: Se evaluará y controlará la parametrización del equipo de soldadura, asegurando que se ajuste a los lineamientos de la organización.

2. Condición de la materia prima: Se evaluará el estado de los componentes THT, específicamente los relevadores.

Esta metodología permitirá identificar los factores clave que influyen en el proceso de soldadura, facilitando la determinación de las condiciones óptimas para minimizar defectos como insuficiencias de soldadura. Además, la estrategia considera el impacto de estas acciones en los planes de producción y la disponibilidad de la capacidad instalada en la línea de manufactura.

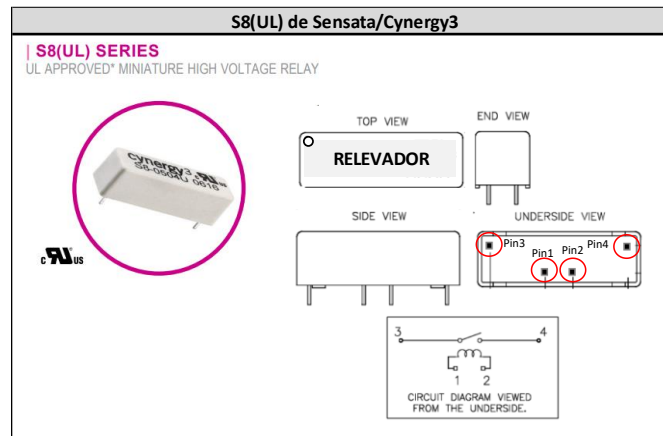
5.2.1. Ejercicio de Optimización de desempeño de *PCBA de Interfaz*

Relevadores en Proceso de Soldadura Selectiva

Las actividades de este estudio se centrarán en la evaluación del rendimiento operativo mediante la ejecución de tres ejercicios de soldadura que involucran el componente de tecnología *THT* sobre el producto *PCBA de Interfaz de Relevadores* con número de parte de identificación 600353371. Como se ilustra en la Figura 30, el componente principal es un relé de láminas de la serie S8(UL) de Sensata/Cynergy3. Este componente de alto rendimiento está diseñado para la conmutación de voltaje en aplicaciones que requieren un equilibrio entre seguridad, espacio y fiabilidad (Sensata Technologies, 2024).

Figura 30.

Referencia gráfica de relevador de la serie S8(UL) de Sensata/Cynergy3.



Nota: Relé de láminas de la serie S8(UL) de Sensata/Cynergy3, un componente de conmutación de alto rendimiento.

Fuente: Adaptado de Cynergy3, por Sensata Technologies (2024).

Los ejercicios a ejecutar son los siguientes:

1. Soldadura manual: Proceso de soldadura manual de todos los componentes THT.
2. Soldadura selectiva: Proceso de soldadura selectiva de todos los componentes THT, ajustando los parámetros de temperatura y tiempo de contacto del crisol según los lineamientos técnicos de la organización (ver Tabla 8).
3. Soldadura híbrida (Selectiva y Manual):
 - Etapa 1: Soldadura selectiva de los pines 1, 3 y 4 de cada relé, utilizando los parámetros optimizados del Ejercicio 2.
 - Etapa 2: Soldadura manual del pin 2 del 100% de los relés.

La efectividad de cada ejercicio será evaluada mediante la inspección por rayos X. Los resultados de esta inspección deberán demostrar el cumplimiento de los requisitos de llenado de barril para los componentes THT, en concordancia con el estándar IPC-A-610 (Institute for Printed Circuits, 2020). Con la información obtenida en este ejercicio, se busca establecer una relación entre las variables con el objetivo de identificar las más significativas para reducir los defectos en el proceso de soldadura selectiva.

5.2.2. Listado de Elementos a utilizar para la experimentación y condiciones iniciales de operación

Tomando como base los requisitos de perfilado para el proceso de soldadura selectiva sin plomo (ver Tabla 8), así como los equipos y herramientas identificados durante el mapeo del proceso de manufactura, esta sección detalla los recursos necesarios para la experimentación, con el fin de alcanzar los objetivos finales establecidos en la Tabla 12.

Tabla 12.

Recursos materiales para realización del ejercicio.

Recurso	Especificaciones	Descripción
Equipo para Soldadura Selectiva	Versaflow 3/66 - Plataforma de máquina modular para soldadura selectiva XL	Equipo de Soldadura Selectiva utilizando para ensamble de componentes con tecnología THT.
Herramental: Pallet para Soldadura.	Pallet para Equipo de soldadura	Herramental para soporte y protección de PCBA durante el proceso de soldadura en máquina de soldadura selectiva.
Transportador o Conveyor	Transportador o Conveyor	Equipo para transporte de las PCBA a lo largo del proceso de soldadura de Ola.
Soldadura	Soldadura en barra SAC 305	Soldadura en barra que es derretida en el POT del equipo de soldadura y sea utilizada para realizar la unión mecánica y eléctrica entre los componentes electrónicos y la PCBA.
Flux	FCT 159HF	Químico requerido para asegurar una soldadura de alta calidad. Sus principales funciones incluyen prevenir la oxidación, mejorar la humectación, reducir defectos y optimizar el proceso.
Cautín	HAKKO Soldering Station	Herramienta utilizada para unir componentes electrónicos mediante la aplicación de calor y soldadura. Es utilizada durante el proceso de retoque manual de soldadura.
Soldadura en Rollo	INDIUM CW807-SAC305 0.032IN 0.813MM-1LB 0.454KG	Soldadura en Rollo requerida para retoque y soldado manual
Flux en Gel	AIM NC217-1.01FLOZ 30CC	Flux en gel NC217 está diseñado específicamente para retrabajos y reparaciones.

Nota: La tabla muestra a detalle los recursos materiales para realización del ejercicio.

Fuente: Información obtenidos del sistema de documentación propiedad de la organización.

El equipo de ingeniería de procesos ha identificado factores clave que influyen directamente en la soldadura selectiva de este producto. Estos factores se interrelacionan para asegurar la unión adecuada de los componentes a la placa y lograr el efecto de capilaridad que garantice el llenado del orificio pasante conforme al estándar IPC-A-610 (Institute for Printed Circuits, 2020).

Los parámetros más significativos que inciden en los defectos de soldadura del PCBA son la temperatura del crisol (o *pot*) y el tiempo de contacto de la boquilla. No obstante, aunque la organización ha establecido rangos de referencia para estos parámetros basándose en la documentación técnica y las características de los materiales, la práctica actual no asegura un proceso libre de defectos.

Generalmente, ingenieros y técnicos resuelven los problemas basándose en su experiencia empírica, en lugar de ajustar los parámetros rigurosamente dentro de los rangos definidos. La información técnica detallada de la manufactura del PCA de Interfaz de Relevadores que se encuentra en la Tabla 13 servirá como línea base para identificar los cambios realizados al proceso y evaluar su efectividad.

Tabla 13.

Información técnica inicial para la manufactura de la PCBA de Interfaz de Relevadores.

Etapa:	Condicion Inicial
Método de Soldadura:	Etapa 1: Soldadura Selectiva (Pin 3 y 4)
	Etapa 2: Soldadura Selectiva (Pin 1 y 2)
Temperatura de Precalentamiento de PCB:	150°C
Tiempo de Precalentamiento:	80 seg
Cantidad de componentes a soldar Etapa 1:	22
Cantidad de uniones de soldadura Etapa 1:	44
Tiempo de contacto Etapa 1:	6 seg
Cantidad de componentes a soldar Etapa 2:	22
Cantidad de uniones de soldadura Etapa 2:	44
Tiempo de contacto Etapa 2:	10 seg
Temperatura Pot de soldadura (Selectiva):	270°C
Soldadura (barra):	SAC305
Flux:	FCT159HF
Tiempo de Ciclo Soldadura (hrs):	0.43
UPH Soldadura:	2.31
Tiempo de Ciclo Xray (hrs):	0.013
UPH X-Ray:	76.92
Yield Xray (promedio historico):	25%

Nota: La tabla muestra información técnica inicial para la manufactura de la PCBA de Interfaz de Relevadores.

Fuente: Información obtenidos del sistema de documentación propiedad de la organización.

5.2.3. Metodología de Evaluación y Criterios de Aceptación

Para abordar los desafíos y mejorar el rendimiento del proceso, se ha diseñado un ejercicio para identificar y controlar las variables más significativas. Este estudio se centrará en evaluar tres condiciones de soldadura para asegurar una penetración adecuada y la formación de uniones robustas.

- Método de soldadura manual: Soldadura manual del 100% de los componentes.

- Método de soldadura selectiva: Soldadura selectiva del 100% de los componentes con ajustes en los parámetros.
- Método de soldadura híbrida: Combinación de soldadura selectiva (75% de las uniones de cada relevador) y soldadura manual (25% restante).

En la Tabla 14, se presenta una comparativa estructurada de las variables que se estarán considerando para cada ejercicio.

Tabla 14.

Comparativa estructurada de las variables consideradas para el ejercicio.

	Etapa Inicial		Experimento Mejora		
	Etapa 1: Soldadura Selectiva (Pin 3 y 4)	Etapa 2: Soldadura Selectiva (Pin 1 y 2)	Ejercicio 1: Solo Soldado Manual	Ejercicio 2: Solo Soldadura Selectiva (Ajuste Parametría)	Ejercicio 3: Etapa 1: Soldadura Selectiva (Pin 1,3,4) Etapa 2: Soldado Manual (Pin 2)
Temperatura de Pre calentamiento de Placa:	150°C	150°C	190°C	190°C	190°C
Tiempo de Pre calentamiento:	80 seg	80 seg	100 seg	100 seg	100 seg
Tipo de componente	Relevador	Relevador	Relevador	Relevador	Relevador
Cantidad de componentes a soldar (SS)	22	22	0	22	22
Cantidad de uniones de soldadura (SS)	44	44	0	88	66
Temperatura Pre calentamiento (Selectiva)	150°C	150°C	N/A	120°C (+10°C)	120°C (+10°C)
Temperatura Pot de soldadura (Selectiva)	270°C	270°C	N/A	300°C	300°C
Soldadura (barra)	SAC305	SAC305	N/A	SAC 305	SA 305
Flux	FCT159HF	FCT159HF	N/A	FCT159HF	FCT159HF
Tiempo de contacto	6 seg	10 seg	N/A	10 seg	10 seg
Cantidad de componentes a soldar (HS)	0	0	22	0	22
Cantidad de uniones de soldadura (HS)	0	0	88	0	22
Soldadura (Rollo)	N/A	N/A	SAC305	N/A	SAC305
Flux	N/A	N/A	TSF6852	N/A	TSF6852
Temperatura de cautín	N/A	N/A	450°C	N/A	450°C
Tiempo de Contacto de Cautín por pin	N/A	N/A	10 seg	N/A	10 seg

Nota: La tabla muestra información técnica utilizada durante los ejercicios de mejora en comparativa con la información técnica inicial para la manufactura de la PCBA de Interfaz de Relevadores.

Fuente: Información obtenidos del sistema de documentación propiedad de la organización.

Para la ejecución del ejercicio y la evaluación de resultados, se utilizarán lotes de tres unidades de PCBA de Interfaz de Relevadores (ID: 600353371) por cada prueba. Cada tarjeta será procesada para el ensamble manual de sus 22 relevadores S8(UL). Dado que cada relevador posee cuatro pines, esto equivale a un total de 88 uniones de soldadura que serán evaluadas por PCBA.

El criterio de aceptación para el método más adecuado se establecerá mediante una inspección por Rayos X de la calidad de la soldadura en cada pin. El rendimiento se considerará exitoso si se logra un llenado de barril de al menos el 75%, en estricto cumplimiento con el estándar IPC (Institute for Printed Circuits, 2020). La gestión correcta de los factores de proceso permitirá reducir los defectos y mejorar la estabilidad general de la soldadura. Se espera lograr una reducción significativa de problemas comunes como cortocircuitos e insuficiencias de soldadura, lo que no solo se traduce en una mayor calidad, sino que impacta directamente en la eficiencia operativa.

La disminución de defectos reducirá el tiempo de reprocesamiento y de inspección por Rayos X. Como resultado, se proyecta una mejora en las Unidades por Hora (UPH) fabricadas, optimizando así la capacidad de producción, el cumplimiento de los planes de manufactura y el aprovechamiento de los activos.

5.2.4. Resultados del ejercicio

En esta sección, se presentan los resultados clave obtenidos durante el ejercicio de mejora del desempeño de calidad del producto.

Estos hallazgos son el producto de una serie de actividades técnicas ejecutadas por el equipo de ingeniería de la organización. A través de este análisis detallado, se busca no solo documentar los cambios realizados, sino también cuantificar el impacto de cada intervención en la reducción de defectos y la optimización del proceso de manufactura. Los datos presentados a continuación proporcionan una visión clara de la efectividad de las estrategias implementadas, sirviendo como evidencia objetiva para futuras decisiones operativas y de calidad.

Influencia de la calidad de la materia prima en el proceso de soldadura

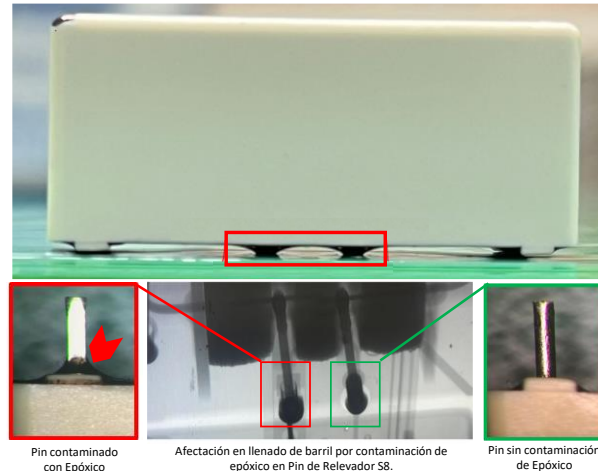
Un factor clave que contribuye al bajo desempeño fue identificado como la contaminación por epóxico en los pines del relé S8, componente principal en este estudio. Este defecto, descubierto por el equipo de ingeniería durante el análisis de causa raíz, fue abordado directamente por el Ingeniero de Calidad de Proveedores (SQE).

Mediante un esfuerzo colaborativo con el proveedor, se realizaron las modificaciones necesarias en el proceso de manufactura del componente. El resultado de esta colaboración fue crucial para eliminar un factor externo al proceso de soldadura selectiva que estaba contribuyendo a los defectos identificados.

La Figura 31 ilustra la contaminación de las terminales y compara, mediante inspección por rayos X, la diferencia en el llenado del barril de soldadura entre pines contaminados y no contaminados, posterior a la implementación de las acciones correctivas por parte del proveedor.

Figura 31.

Condición de contaminación en uniones de soldadura en relevador S8.



Nota: La imagen ilustra la condición de contaminación en las terminales del relevador, así como la diferencia en el llenado de barril de soldadura entre pines contaminados y no contaminados, según la inspección por rayos X.

Fuente: Registro fotográfico de inspección de Rayos X, propiedad de la organización.

Resultados de los Experimentos y su Impacto en *yield* de rayos X

Como parte de la iniciativa de mejora en el proceso de manufactura para el producto PCBA de Interfaz de Relevadores (ID: 600353371), se llevaron a cabo tres ejercicios experimentales sobre la configuración del proceso de Soldadura Selectiva. El propósito principal fue incrementar el indicador de calidad (*yield*) en la operación de inspección por rayos X por lote, evaluando simultáneamente su impacto en la eficiencia operativa, el uso de recursos técnicos y humanos, y el cumplimiento de objetivos organizacionales.

Los ejercicios se diseñaron para comparar tres configuraciones de proceso distintas:

- Ejercicio 1: Soldadura manual completa.
- Ejercicio 2: Soldadura selectiva con ajuste optimizado de parámetros.
- Ejercicio 3: Configuración híbrida que integra soldadura selectiva en pines críticos y soldadura manual en puntos específicos.

Los resultados obtenidos en estos ejercicios, sumados a las actividades de mejora en la calidad de la materia prima (relé S8), evidencian una mejora progresiva en el rendimiento de calidad del producto para los lotes utilizados en la prueba.

Específicamente, el Ejercicio 1 (soldadura manual) alcanzó un desempeño en Rayos X del 76%. El Ejercicio 2 (soldadura selectiva optimizada) elevó el indicador al 82%.

Finalmente, el Ejercicio 3 logró el mejor desempeño con un *yield* del 85%, lo que representa una mejora sustancial respecto al punto de partida (25%) y confirma la efectividad de una estrategia híbrida que combina automatización y flexibilidad operativa, tal como se observa en la Tabla 15. La implementación de una estrategia de soldadura híbrida, que combinó la soldadura selectiva en pines críticos con la soldadura manual en puntos específicos, demostró ser la más efectiva para mejorar la calidad del producto.

Tabla 15.

Resumen del ejercicio de mejora en parametría y su impacto en la calidad del producto.

	Etapa Inicial		Experimento Mejora		
	Etapa 1: Soldadura Selectiva (Pin 3 y 4)	Etapa 2: Soldadura Selectiva (Pin 1 y 2)	Ejercicio 1: Solo Soldado Manual	Ejercicio 2: Solo Soldadura Selectiva (Ajuste Parametría)	Ejercicio 3: Etapa 1: Soldadura Selectiva (Pin 1,3,4) Etapa 2: Soldado Manual (Pin 2)
Temperatura de Pre calentamiento de Placa:	150°C	150°C	190°C	190°C	190°C
Tiempo de Pre calentamiento:	80 seg	80 seg	100 seg	100 seg	100 seg
Tipo de componente	Relevador	Relevador	Relevador	Relevador	Relevador
Cantidad de componentes a soldar (SS)	22	22	0	22	22
Cantidad de uniones de soldadura (SS)	44	44	0	88	66
Temperatura Pre calentamiento (Selectiva)	150°C	150°C	N/A	120°C (+10°C)	120°C (+10°C)
Temperatura Pot de soldadura (Selectiva)	270°C	270°C	N/A	300°C	300°C
Soldadura (barra)	SAC305	SAC305	N/A	SAC 305	SA 305
Flux	FCT159HF	FCT159HF	N/A	FCT159HF	FCT159HF
Tiempo de contacto	6 seg	10 seg	N/A	10 seg	10 seg
Cantidad de componentes a soldar (HS)	0	0	22	0	22
Cantidad de uniones de soldadura (HS)	0	0	88	0	22
Soldadura (Rollo)	N/A	N/A	SAC305	N/A	SAC305
Flux	N/A	N/A	TSF6852	N/A	TSF6852
Temperatura de cautín	N/A	N/A	450°C	N/A	450°C
Tiempo de Contacto de Cautín por pin	N/A	N/A	10 seg	N/A	10 seg
Tiempo de Ciclo Soldadura Selectiva (hrs)	0.43		N/A	0.37	0.34
UPH	2.31		N/A	2.68	2.99
Tiempo de Ciclo Soldadura Manual (hrs)	N/A		0.24	N/A	0.06
UPH	N/A		4.09	N/A	16.36
Tiempo de Ciclo Xray (hrs)	0.015		0.013	0.013	0.013
UPH	77		77	77	77
Impacto en Calidad - Yield Xray por lote:	25%		76%	82%	85%

Nota: La tabla muestra información técnica utilizada durante los ejercicios de mejora en comparativa con la información técnica inicial para la manufactura de la PCBA de Interfaz de Relevadores y su impacto en *yield* de rayos X.

Fuente: Información obtenidos del sistema de documentación propiedad de la organización.

Inviabilidad de los Enfoques Unilaterales

Desde una perspectiva de eficiencia operativa y más allá de los indicadores de calidad, los ejercicios 1 y 2 no resultaron viables para una implementación a largo plazo en comparación con el ejercicio 3. La viabilidad de una estrategia de negocios se evalúa no solo por su capacidad para resolver un problema de calidad, sino también por su escalabilidad, rentabilidad y sostenibilidad a lo largo del tiempo.

- **Ejercicio 1: Soldadura Manual (100% de componentes):** El enfoque de soldadura 100% manual se considera poco viable debido a su alta dependencia de la mano de obra, lo que introduce un elemento de subjetividad e inconsistencia en la calidad del producto. Este proceso es inherentemente lento e ineficiente, lo que impacta negativamente en la capacidad de producción, la tasa de defectos y el costo por unidad. Al no ser escalable para satisfacer una alta demanda, no permite aprovechar las eficiencias de la automatización, resultando en costos operativos significativamente más altos, especialmente por los tiempos de trabajo y retrabajo.
- **Ejercicio 2: Soldadura Selectiva (100% de componentes):** La soldadura selectiva es un proceso automatizado y preciso, pero la documentación demuestra que el ejercicio 2 fue inviable por sí solo. Al ser una automatización completa, demuestra el máximo potencial para la producción de gran volumen, lo que se traduciría en los costos de mano de obra más bajos y la mayor velocidad de producción.

A pesar de la inversión en tecnología avanzada, la tasa de defectos se mantuvo alta, creando un cuello de botella en la inspección por rayos X y aumentando los costos de retrabajo y desperdicio. Este escenario sirve como un claro ejemplo de que la tecnología por sí sola no es una solución completa para los problemas de calidad, y que la inversión en equipos sofisticados no alcanza su máximo retorno sobre la inversión (ROI) si las variables críticas, como los materiales de entrada, o parametrías en los equipos no se controlan de manera efectiva.

Viabilidad del Enfoque Híbrido y el Escenario Ideal

- Ejercicio 3: Soldadura Híbrida (Selectiva y Manual): La viabilidad del ejercicio 3 reside en su enfoque estratégico e integral. Al combinar la automatización de la soldadura selectiva con la intervención manual en puntos específicos, este método no solo resolvió el problema de los defectos, sino que también optimizó de manera significativa el uso de recursos. Esto generó un impacto positivo en la eficiencia operativa, logrando un llenado de barril de al menos el 75% y cumpliendo con el estándar IPC-A-610 (Institute for Printed Circuits, 2020). Dicha mejora redujo la tasa de defectos, la necesidad de retrabajo y el desperdicio (*scrap*). Además, este enfoque liberó al personal operativo de tareas repetitivas y disminuyó la saturación del equipo de Rayos X, ya que menos unidades requerían re inspección. Por otro lado, el ejercicio 3 seguiría siendo una opción estratégica y viable en ciertas circunstancias.

Este enfoque es especialmente valioso para organizaciones con un portafolio de productos diverso y complejo, ya que la flexibilidad del enfoque híbrido les permitiría adaptarse a las necesidades específicas de cada cliente sin sacrificar la calidad. Además, el enfoque híbrido es una estrategia ideal para la gestión de riesgos al introducir nuevos productos, permitiendo ajustes manuales mientras se optimizan los procesos automatizados.

5.3. Impacto de la intervención en la organización

La intervención en el proceso de soldadura selectiva generó un impacto significativo en el ensamble, no solo por la corrección de un problema específico, sino por la interacción positiva entre las mejoras implementadas. El análisis de causa raíz reveló que el bajo rendimiento (*yield*) no era únicamente un problema de los parámetros de la máquina, sino que estaba fundamentalmente influenciado por un defecto en la materia prima: la contaminación por epóxico en los pines del relé S8.

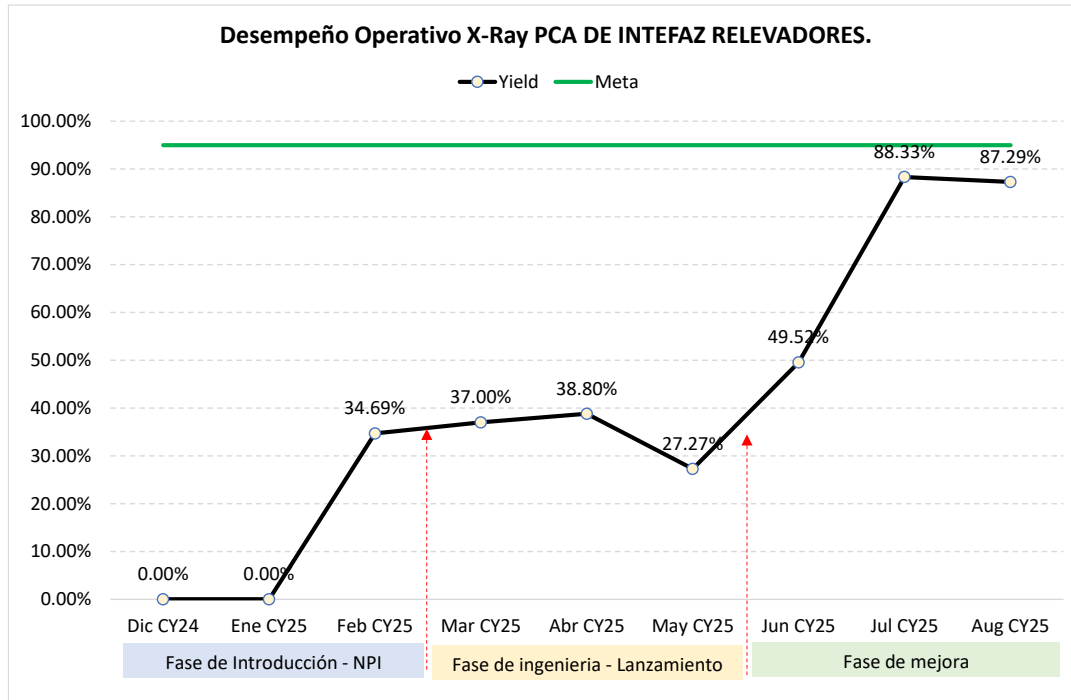
Esta contaminación impedía la correcta adhesión de la soldadura, originando el defecto principal de insuficiencia en el llenado del barril. La solución de esta falla implicó una colaboración multifuncional entre el equipo de Ingeniería de Calidad de Proveedores (SQE) y el fabricante del componente. Esta acción permitió que los ajustes técnicos en los parámetros del equipo de soldadura selectiva (como la temperatura del crisol y el tiempo de contacto) fueran realmente efectivos.

En esencia, la optimización de los parámetros del proceso solo fue viable una vez que se eliminó el defecto en la materia prima. Esta sinergia entre la mejora del componente y la mejora del proceso generó beneficios directos en el *yield* del producto. Al resolver la contaminación por epóxico, el llenado del barril de soldadura se optimizó y los defectos se redujeron drásticamente, lo que desencadenó un impacto positivo en la capacidad de producción, la planificación y los costos operativos.

Una vez verificada la efectividad de la mejora mediante los ejercicios previos, las nuevas condiciones de operación fueron documentadas en las instrucciones de trabajo de la organización. Los nuevos lotes de producción, manufacturados bajo estas directrices, reflejan un impacto positivo y sostenido en el desempeño de la calidad durante la inspección de Rayos X para el producto en cuestión, tal como se observa en la Figura 32.

Figura 32.

Desempeño Operativo del producto PCBA de Interfaz Relevadores posterior a la implementación de acciones de mejora.



Nota: El gráfico muestra el desempeño del producto durante el proceso de inspección de rayos X posterior a las mejoras implementadas, la que demuestra una tendencia a la mejora.

Fuente: Fuente propia utilizando Información obtenida del sistema MES propiedad de la organización.

5.3.1. Impacto en el Modelo de Capacidad y el Plan de Producción

La implementación de los ejercicios experimentales de soldadura en el producto PCBA de Interfaz Relevadores no solo resolvió un problema de calidad crónico, sino que generó una transformación tangible en la eficiencia operativa y la rentabilidad de la planta.

Previamente a la intervención, el proceso presentaba un rendimiento histórico promedio (*yield*) del 25%. Esto significaba que, de las 2,000 unidades mensuales, solo 500 superaban la inspección por rayos X (tasa de primer paso). Esta baja tasa de aprobación resultaba en altos niveles de retrabajo, desperdicio (*scrap*) y la saturación de recursos técnicos y humanos.

Para situar el análisis de estos efectos en la estructura operativa de la empresa, es crucial considerar que la capacidad de manufactura está sujeta a factores críticos como la disponibilidad de equipos, la habilidad de los operadores y el tiempo de ciclo de inspección. En este contexto, la organización intervenida operaba bajo los siguientes parámetros clave mostrados en la Tabla 16:

Tabla 16.

Condiciones de Operación de la organización.

Indicador Operacional	Valor
Turnos efectivos disponibles	3 turnos de 7.21 horas laborales
Días mensuales hábiles	24 días
Eficiencia de la maquinaria (OEE)	85%
Equipos de Rayos X disponibles	1 máquina
Equipos de Soldadura Selectiva disponibles	1 máquina

Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por la compañía.

El análisis de capacidad operativa (*Cap Model*) antes y después de la intervención revela la causa fundamental de los cuellos de botella y la fuente de la capacidad liberada. El bajo rendimiento de calidad inicial (*yield*) convertía a la inspección por rayos X y a las estaciones de retrabajo en el recurso más limitado (cuello de botella), un efecto que se manifestaba independientemente de la capacidad teórica de la maquinaria instalada. La Tabla 17 presenta de forma comparativa los impactos cuantificados en la eficiencia operativa logrados tras la intervención.

Tabla 17.

Resumen del ejercicio de mejora en parametría y su impacto en la Capacidad operativa de la organización.

Producto: PCA DE INTERFAZ RELEVADORES ID: 600353371	Etapa Inicial		Experimento Mejora		
	Soldadura Selectiva		Ejercicio1: Soldado Manual	Ejercicio 2: Soldadura Selectiva (Ajuste Parametría)	c) Ejercicio 3: Soldadura Híbrida (Selectiva y Manual)
	Tiempo de Ciclo Soldadura Selectiva (hrs)	0.43		0.37	0.34
	UPH	2.31	N/A	2.68	2.99
	Tiempo de Ciclo Soldadura Manual (hrs)		0.24		0.06
	UPH	N/A	4.09	N/A	16.36
	Tiempo de Ciclo Xray (hrs)	0.015	0.015	0.015	0.015
	UPH	68	68	68	68
	Impacto en Calidad - Yield Xray por lote:	25%	76%	82%	85%
	Cálculo de Turnos Requeridos con base en UPH				
Tamaño de lotes (WO):	500	PCBAs Semanales			
Horas efectivas por turno:	7.21	Horas	Ejercicio 1:	Ejercicio 2:	Ejercicio 3:
Equipo Soldadura Selectiva	30.0		N/A	25.9	23.2
Soldadura Manual	N/A		17.0	N/A	4.2
Equipo Rayos-X (Primera Pasada)	1.0		1.0	1.0	1.0
Cantidad de unidades para retrabajo por yield:	375		120	90	75
Turnos de Rayos X requeridos para re inspeccion:	0.8		0.2	0.2	0.2
Turnos Xray con Re inspeccion	1.8		1.3	1.2	1.2
Impacto a modelo de capacidad					
Soldadura Selectiva:	Turnos disponibles de Equipo selectiva a la semana: 17 Turnos				
	Etapa Inicial - Línea Base		Experimento Mejora		
	Soldadura Selectiva		Ejercicio1: Soldado Manual	Ejercicio 2: Soldadura Selectiva (Ajuste Parametría)	b) Ejercicio 3: Soldadura Híbrida (Selectiva y Manual)
Cantidad de Operadores por equipo x día laboral:	3.0	personas	N/A	2.6	2.3
Cumplimiento de Plan de Producción (Attainment)	100%		N/A	100%	100%
Cumplimiento de plan de Embarque (OTD)	100%		N/A	100%	100%
Impacto a Modelo de Capacidad (Cap Model)	1.77		N/A	1.52	1.36
Porcentaje de utilizacion del equipo:	100%		N/A	86%	77%
			*Se libera 14% de capacidad para otros productos en selectiva con base en la mejora		*Se libera 23% de capacidad para otros productos en selectiva con base en la mejora
Soldadura Manual:	Turnos disponibles semanal por persona : 6 Turnos (lun - sab)				
	Etapa Inicial - Línea Base		Experimento Mejora		
	Soldadura Selectiva (Retoque manual)		Ejercicio1: Soldado Manual	Ejercicio 2: Soldadura Selectiva (Ajuste Parametría)	d) Ejercicio 3: Soldadura Híbrida (Selectiva y Manual)
Cantidad de Operadores por equipo x día laboral:	3.0	personas	2.83	N/A	0.71
Cumplimiento de Plan de Producción (Attainment)	100%		100%	N/A	100%
Cumplimiento de plan de Embarque (OTD)	100%		100%	N/A	100%
Rayos X:	Turnos disponibles de Equipo Rayos-X a la semana: 17 Turnos				
	Etapa Inicial - Línea Base		Experimento Mejora		
	Soldadura Selectiva		Ejercicio1: Soldado Manual	Ejercicio 2: Soldadura Selectiva (Ajuste Parametría)	a) Ejercicio 3: Soldadura Híbrida (Selectiva y Manual)
Cantidad de Operadores por equipo x día laboral:	1.0	persona	1.0	1.0	1.0
Cumplimiento de Plan de Producción (Attainment)	25%		76%	82%	85%
Cumplimiento de plan de Embarque (OTD)	25%		76%	82%	85%
Impacto a Modelo de Capacidad (Cap Model)	0.10		0.07	0.07	0.07
Porcentaje de utilizacion del equipo:	100%		71%	67%	66%
			*Se libera 33% de capacidad para otros productos en selectiva con base en la mejora		*Se libera 34% de capacidad para otros productos en selectiva con base en la mejora

Fuente: Fuente propia utilizando información técnica de la organización.

Los resultados se interpretan a continuación, tomando como base las condiciones iniciales de operación previo a la intervención:

- a) Eficiencia y Capacidad de Maquina Rayos X: El Ejercicio 3 logró liberar un 34% de capacidad adicional en el equipo de Rayos X, mientras que el Ejercicio 2 liberó un 33% de capacidad adicional en el mismo equipo. Esta capacidad liberada puede ser estratégicamente utilizada para la atención de otros productos o para absorber aumentos en la demanda sin requerir inversión de capital adicional.
- b) Eficiencia y Capacidad de Máquina de soldadura selectiva: De igual manera que el equipo de Rayos X, el Ejercicio 3 logró liberar un 23% de capacidad adicional, mientras que el Ejercicio 2 solo liberó un 14% de capacidad en el mismo equipo, misma que puede ser utilizada para la fabricación de otros productos o para absorber aumentos en la demanda.
- c) Productividad y Tiempo de Ciclo: La mejora del proceso tuvo un impacto directo en la productividad. El tiempo de ciclo para el proceso de soldadura selectiva se redujo de 0.43 a 0.34 horas y la cantidad de unidades por hora (UPH) se incrementaron de 2.31 a 2.99.
- d) Uso de Recursos Humanos: La optimización redujo la dependencia de recursos humanos en la soldadura manual, disminuyendo la necesidad de operadores de tres personas a menos de una por turno. Esta reducción permitió la redistribución de recursos humanos hacia actividades de mayor valor agregado dentro de la organización.

La mejora en el proceso de soldadura desplazó el cuello de botella de la inspección y retrabajo hacia la máquina de soldadura selectiva o, idealmente, hacia la demanda del mercado. La liberación de hasta un 34% de capacidad adicional en el equipo de soldadura selectiva (Ejercicio 3) implica que este recurso, antes dedicado a generar defectos o a procesar unidades de retrabajo, ahora dispone de tiempo de máquina para producir unidades de alto rendimiento para otros productos.

En esencia, la inversión en la mejora de calidad es una inversión en capacidad productiva. La reducción de defectos en la etapa inicial disminuyó el impacto del reproceso, lo que valida que el desempeño en calidad se posiciona como el factor crítico en la planeación estratégica, definiendo la capacidad efectiva real de la planta. La configuración híbrida demostró la mayor eficiencia al alcanzar un equilibrio óptimo entre la tecnología (automatización) y el factor humano (flexibilidad).

5.3.2. Impacto Financiero

La mejora en la calidad del proceso se traduce directamente en una reducción de pérdidas y un aumento en el potencial de ingresos.

- **Ahorro Operacional Directo:** La reasignación de 6 operadores de soldadura manual (evitando el costoso retrabajo) genera un ahorro directo recurrente de \$9,000 USD/mes en costos de mano de obra.
- **Reducción del Riesgo de Desperdicio:** La eliminación de las 1,500 unidades que históricamente requerían retrabajo o se convertían en *scrap* mitiga la

exposición a una pérdida potencial de \$1,800,000 USD/mes (al 75% de defecto).

- Aumento de Productividad: El incremento del UPH de 2.31 a 2.99 no solo hace el proceso más rápido, sino que disminuye el costo unitario de producción al repartir los gastos fijos en un mayor volumen de salida.

Desde la perspectiva de la eficiencia operativa, la elección entre el Ejercicio 2 y el Ejercicio 3 depende de la estrategia de producción a largo plazo de la organización. El Ejercicio 2 se presentaría como la opción preferida para una estrategia que priorice la escalabilidad y la estandarización, dado que su automatización total ofrece las mayores eficiencias operativas. Por otro lado, el Ejercicio 3 es la mejor opción para una estrategia que valore la flexibilidad y la adaptabilidad, permitiendo mantener la calidad en una cartera de productos compleja y diversa, lo que minimiza el riesgo durante el lanzamiento de nuevos productos.

La viabilidad y superioridad del Ejercicio 3 se justifican por su capacidad para generar un equilibrio estratégico entre la eficiencia de la automatización y la flexibilidad de la intervención humana, traduciéndose en beneficios financieros y operativos tangibles. Esta nueva realidad operativa respalda un cumplimiento óptimo en los indicadores de planeación, como el *Attainment* (Cumplimiento de Planes de Producción) y el *On-Time Delivery* (Entrega a Tiempo), fortaleciendo la confianza del cliente y la cadena de suministro interna.

5.3.3. Impacto en el Enfoque Colaborativo Multifuncional

Es fundamental destacar que la ejecución técnica de estos procesos de mejora se llevó a cabo mediante un trabajo colaborativo que involucró a un equipo multifuncional, clave para el éxito del proyecto. La participación de distintas áreas garantizó una perspectiva integral y una ejecución eficiente.

- Ingeniería de Procesos: Responsable de la definición del proceso de manufactura, la identificación de sus características críticas y la parametrización de equipos y materiales.
- Ingeniería de Equipos: Centrado en la evaluación, mantenimiento, calibración y ajuste de la maquinaria utilizada en la producción.
- Ingeniería de Calidad: Aportó el análisis de los datos de rendimiento del producto y del proceso, además de la definición de las características críticas del producto final.
- Ingeniería de Calidad de proveedores de materia prima: Enfocado en la evaluación de la calidad y desempeño de los componentes de materia prima de tecnología THT (tecnología de orificio pasante).
- Personal de Manufactura: Ejecución en la fabricación de PCBA.
- Ingeniería de Pruebas: Definió el método y parametrización para la inspección del producto en el equipo de rayos-X.

Este enfoque de colaboración entre expertos aseguró que todas las fases del proyecto estuvieran optimizadas, desde la concepción, ejecución y validación de los resultados.

5.3.4. Sostenibilidad y Aseguramiento de la Calidad en el Proceso de Soldadura

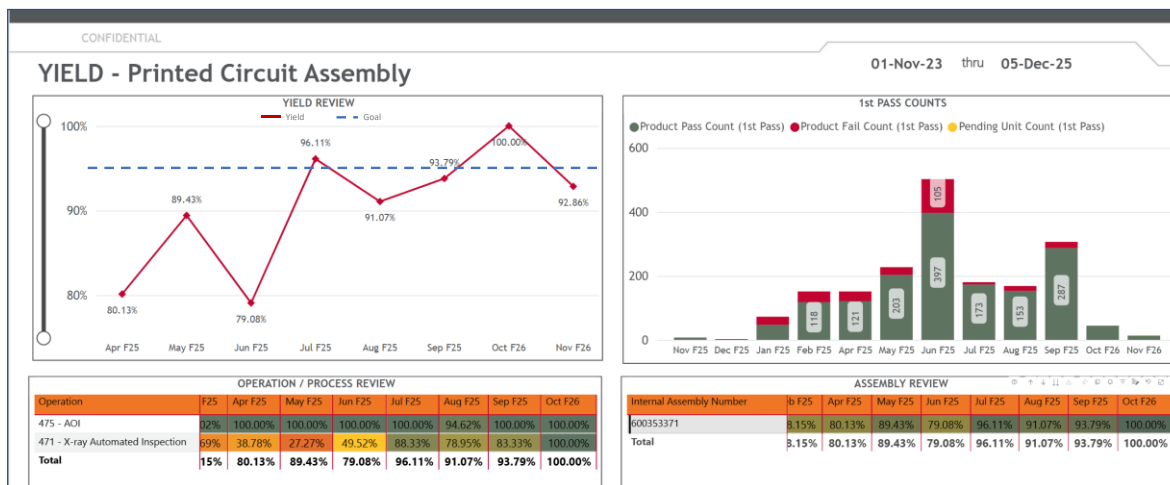
La sostenibilidad de las mejoras en el proceso de soldadura selectiva se garantiza mediante la integración formal y sistemática de los nuevos parámetros y la configuración híbrida dentro del Sistema de Gestión de Calidad de la organización. Este proceso de estandarización es crucial para asegurar que el conocimiento adquirido tras la intervención se institucionalice y no dependa de la memoria o experiencia de un solo individuo. Específicamente, las condiciones óptimas de operación y los criterios de control son documentados en tres niveles jerárquicos esenciales:

- **PFMEA (Análisis de Modo y Efecto de Falla Potencial del Proceso):** Se actualiza para incorporar los nuevos modos de falla identificados (como la contaminación por epóxico en los relevadores) y las acciones de mitigación implementadas. Esto asegura que los riesgos se evalúen proactivamente y que las medidas preventivas se mantengan vigentes. Ver Anexo B para referencia del documento PFMEA actualizado con base en los resultados experimentales.
- **Plan de Control:** Este documento se actualiza para incluir las variables críticas de proceso (CTQ), como la temperatura optimizada del crisol y el tiempo de contacto de la boquilla. Esto permite el monitoreo y la corrección continua de estas variables en tiempo real, manteniendo el proceso dentro de los límites de control definidos. Ver Anexo C.

- Instrucciones de Ensamble y Trabajo: Se actualiza para el personal técnico, detallando la secuencia de ejecución estandarizada de la configuración de parámetros aplicables a la operación de soldadura selectiva. Esto asegura la uniformidad en la ejecución y reduce la variabilidad inherente al factor humano. Ver Anexo D para referencia de la actualización de instrucciones de trabajo utilizadas durante la operación. Este enfoque de documentación sistémica transforma una mejora puntual en un estándar operativo sostenido, blindando la eficiencia (*yield* y UPH) y la calidad del proceso a largo plazo, y facilitando la réplica y escalabilidad del aprendizaje a futuros productos y líneas de manufactura.
- Actualización de metas y monitoreo Continuo de desempeño: Para asegurar la calidad sostenida del producto PCBA de Interfaz de Relevadores tras las mejoras implementadas, el equipo de ingeniería ha integrado como métrico clave dentro del sistema de gestión del sitio el índice de rendimiento (*yield*). Este métrico será monitoreado y revisado de manera continua en los foros semanales de calidad. La información de desempeño se obtiene directamente de *Power BI* (Microsoft, 2025), la plataforma oficial de la compañía utilizada para el análisis de datos, visualizaciones interactivas e inteligencia empresarial. En la Figura 33 se presenta el desempeño del modelo en cuestión al cierre de esta intervención obtenido de la plataforma antes mencionada.

Figura 33.

Métrico de desempeño PCBA en *Power BI*.



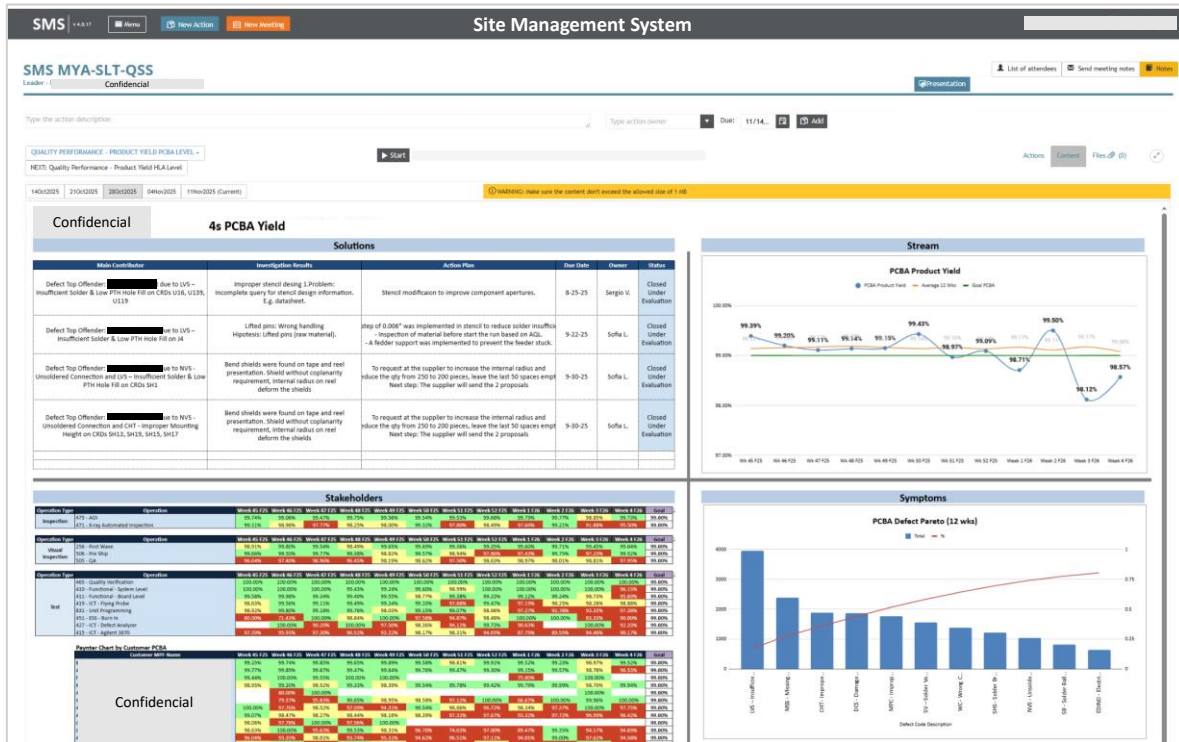
Nota: La plataforma de *Power BI* es alimentado de las transacciones realizadas a través del sistema de trazabilidad de la organización.

Fuente: Plataforma *Power BI* con licencia propiedad de la organización.

- **Gestión y Visibilidad del Indicador de Desempeño:** El *yield* se integra como un indicador clave dentro de la gestión de desempeño del sitio de manufactura, sujeto a revisiones periódicas (diarias, semanales y mensuales). Para garantizar la transparencia y visibilidad de esta información, el ingeniero de calidad responsable de la cuenta realiza la actualización continua del métrico. De esta manera, se mantiene a las partes interesadas debidamente informadas sobre el estado del producto. La Figura 34 presenta la estructura y el formato estandarizado en el que este indicador de desempeño es actualizado y documentado dentro del sistema de métricas de la organización.

Figura 34.

Métrico de desempeño PCBA en Plataforma de Gestión del sitio.



Nota: La organización utiliza la plataforma SMS como repositorio y herramienta para el registro de métricas de desempeño de indicadores varios.

Fuente: Plataforma SMS propiedad de la organización.

CAPÍTULO 6

Discusión final

6.1. Relevancia y trascendencia disciplinaria de la estrategia de intervención

La intervención estratégica propuesta en este trabajo, enfocada en la gestión de la manufactura de dispositivos electrónicos, se integra activamente a diversos debates conceptuales, metodológicos y teóricos del campo de la administración y la ingeniería. Más que una solución a un problema organizacional específico, esta estrategia buscó establecer un diálogo con las líneas de pensamiento que fundamentaron el proyecto: la gestión de la calidad, la administración de recursos humanos a través del liderazgo, y la toma de decisiones estratégicas con impactos financieros y operacionales.

Este proyecto se cimienta en la Trilogía de Juran (Juran & Godfrey, 1999), que distingue entre la calidad como satisfacción del cliente y la calidad como ausencia de defectos, demostrando cómo la inversión en esta última reduce los costos a largo plazo. En sintonía con este principio, la intervención trasciende la teoría al cuantificar y demostrar la relación directa entre el bajo rendimiento (*yield*) y métricas financieras clave, como el margen de utilidad, el flujo de caja y los costos operativos. Esto logra una contribución significativa que promueve un cambio de perspectiva: de ver la calidad como un tema meramente técnico a considerarla un elemento importante y estratégico del negocio.

El impacto de la intervención trasciende la esfera organizacional y demuestra una relevancia práctica y social. Al mejorar la calidad en la manufactura, se reducen el desperdicio (*scrap*) y el consumo de recursos, lo que genera un impacto positivo en la sostenibilidad organizacional y ambiental. Finalmente, al mejorar la calidad de productos críticos utilizados en el sector médico, la intervención tiene un impacto directo y positivo en la seguridad y confiabilidad para los usuarios finales.

6.1.1. Transformación de la Perspectiva en Proyectos de Mejora

Continua: Integración de Enfoques Operativos y Financieros

Durante el desarrollo de mis estudios en el programa MBA, adquirí herramientas conceptuales y metodológicas que transformaron profundamente mi manera de analizar, diseñar y evaluar proyectos de mejora continua en el entorno industrial. Tradicionalmente, los proyectos impulsados desde ingeniería se focalizaban en métricas técnicas de calidad (reducción de defectos, cumplimiento de especificaciones, o mejora del *yield*). Si bien estos son objetivos fundamentales, su alcance operativo y estratégico era limitado, al no considerar de forma integral el impacto en la eficiencia organizacional ni en los resultados financieros.

De hecho, esta focalización en métricas aisladas caía en la trampa común de la gestión de la innovación: “Medir las Partes, Pero No el Todo” (Richtnér & et al, 2017). El enfoque multidisciplinario del MBA me permitió ampliar esta perspectiva. Mediante el estudio de la gestión de la innovación, como los principios de las "Ocho Formas de la Innovación" de Peter J. Denning (Denning, 2012), la gestión del conocimiento (Dalkir, 2005), el liderazgo transformador

(Northouse, 2022), y el análisis estratégico-financiero, comprendí que toda mejora técnica debe ser evaluada por su contribución al cumplimiento de planes de producción, la optimización de recursos, la reducción de costos y su efecto en indicadores clave como el Retorno sobre Inversión (ROI) y el Margen Operativo.

Al integrar la medición de procesos, el portafolio y los proyectos individuales, pude superar la limitación de centrarme solo en los resultados técnicos, un equilibrio que muchas compañías luchan por alcanzar. Este cambio de enfoque me permitió reconfigurar las iniciativas de mejora continua, transformando la calidad de un fin aislado a un habilitador de eficiencia, cumplimiento y rentabilidad. Al incorporar variables como el impacto en el Modelo de Capacidad (*Cap Model*), la liberación de recursos y la mejora en el *On-Time Delivery*, los proyectos dejaron de ser intervenciones locales para convertirse en palancas estratégicas que fortalecen la competitividad. Además, considerar los objetivos estratégicos en la fase de priorización aseguró la alineación crítica para el éxito.

En síntesis, el MBA me brindó una visión sistémica que conectó la mejora técnica con el desempeño operativo y financiero, generando propuestas más robustas y sostenibles. Esta transformación no solo enriqueció mi práctica profesional, sino que fortaleció mi capacidad de liderazgo para impulsar cambios con impacto real, entendiendo la importancia de evaluar si las prácticas de medición existentes apoyan u obstaculizan el logro de las metas organizacionales.

6.1.2. Contribuciones a la Organización desde la Comunicación

Interna

Como parte del proceso de transformación profesional impulsado por los estudios en el MBA, he tenido la oportunidad de realizar aportaciones estratégicas a la organización a través de sus canales de comunicación interna. Un ejemplo destacado de esta participación fue la publicación de un artículo en la revista mensual corporativa, en el que abordé de manera práctica y reflexiva el impacto de los costos derivados de la mala calidad en los productos y cómo estos afectan directamente la rentabilidad, la eficiencia operativa y la reputación organizacional.

Este artículo representó un cambio en la forma tradicional de comunicar los hallazgos técnicos, al integrar una visión más amplia que conecta los indicadores de calidad con sus implicaciones financieras y estratégicas. La intención principal fue sensibilizar a las distintas áreas sobre la importancia de abordar la calidad no solo como un requisito técnico, sino como un factor crítico de competitividad y sostenibilidad empresarial. La evidencia de esta contribución se encuentra documentada en el Anexo E, donde se incluye el texto completo del artículo publicado.

Esta experiencia reafirma el valor de vincular el conocimiento adquirido en el MBA con iniciativas de comunicación que promuevan el aprendizaje organizacional, la alineación interdepartamental y la generación de conciencia estratégica en torno a la mejora continua.

6.2. Aspectos de mejora para intervenciones subsecuentes

A pesar de sus logros, la intervención presentó varias limitaciones que deben considerarse para futuros proyectos. Primero, el enfoque técnico y la evaluación tuvieron un alcance limitado ya que se restringieron a un producto específico y a los procesos de soldadura por ola y soldadura selectiva. Esto limita la generalización de los resultados a la totalidad del portafolio o a otras áreas de manufactura.

Segundo, aunque se utilizó un análisis detallado de datos provenientes del sistema MES, el proyecto no abordó completamente el impacto en el modelo de capacidad (*Cap Model*) ni en el plan de producción considerando la mezcla de productos involucrados. Esto representa una limitación en la cuantificación total del beneficio operativo y financiero a largo plazo. Para futuros proyectos de mejora, se sugiere abordar los siguientes puntos, que servirán para ampliar el impacto y la trascendencia de la intervención:

- Integración holística con ERP y análisis de *Supply Chain*: Se recomienda integrar el análisis de datos del MES con el sistema ERP. Esto permitiría identificar cómo los defectos de calidad impactan directamente en la cadena de suministro (gestión de inventarios, costos de adquisición de nuevos clientes) y evaluar el Retorno sobre Activos (ROA) para medir la productividad del capital invertido.
- Desarrollo de un Modelo de Impacto Financiero Predictivo: Crear un modelo de correlación más robusto que proyecte el ahorro potencial al reducir los defectos a un nivel de 6 Sigmas. Esto proporcionaría a la alta dirección una

herramienta predictiva para justificar inversiones en automatización o capacitación con un cálculo preciso del Retorno de la Inversión (ROI).

- Gestión del Cambio y Escalabilidad Organizacional: Incluir un plan de gestión del cambio más formal, enfocado en superar la resistencia del personal. Esto implicaría un plan de comunicación más detallado, sesiones de retroalimentación periódicas y un sistema de reconocimiento para incentivar la adopción y mantenimiento de las nuevas prácticas.
- Impacto en la Sostenibilidad Corporativa: Incorporar una medición explícita de la reducción de la huella de carbono y el desperdicio de materiales. La disminución de *scrap* genera beneficios económicos y contribuye a los objetivos de responsabilidad social corporativa, reforzando la posición de la empresa como líder en el desarrollo sostenible.

CONCLUSIONES

En resumen, el proyecto de intervención logró sus objetivos al optimizar el proceso de manufactura de tarjetas electrónicas, mejorando la eficiencia y la calidad mediante un enfoque estructurado.

Hallazgos y Resultados de la Intervención

Los principales hallazgos confirmaron que los defectos de soldadura eran la causa principal del bajo rendimiento (*yield*) y de la pérdida de eficiencia operativa, afectando negativamente el cumplimiento de los planes de producción y los márgenes de utilidad. La situación inicial era crítica: un 45% de los lotes enviados a clientes fallaron en la calificación, lo que situaba el rendimiento de la organización en un nivel de 3 Sigmas, muy por debajo del estándar de 6 Sigmas esperado.

La intervención impulsó un cambio significativo, pasando de un enfoque reactivo a uno preventivo. La implementación de herramientas como el análisis de datos del sistema MES y la plataforma *Orange Data Mining* permitió identificar la causa raíz de los defectos en los equipos de soldadura por ola y selectiva, y correlacionar los procesos de inserción manual con la alta incidencia de fallas.

Impacto Estratégico y Financiero

Este enfoque sistemático no solo mejoró el proceso, sino que fortaleció la cultura organizacional al fomentar la colaboración entre los equipos de ingeniería, calidad y manufactura para la toma de decisiones. Los resultados demuestran que las deficiencias en la gestión de la calidad tienen un impacto directo y significativo en los costos operativos y la rentabilidad. Al reducir los defectos y el retrabajo, se disminuyeron los gastos, lo que contribuyó a un mejor margen de utilidad y ayudó a fortalecer la competitividad de la empresa. Los hallazgos aportan a la comprensión de cómo la eficiencia operativa, la calidad y la salud financiera de una empresa están intrínsecamente ligadas.

Limitaciones y Reflexión

El estudio, sin embargo, tuvo limitaciones, como la necesidad de una mayor investigación para determinar el impacto financiero total, especialmente en los costos asociados a los modelos de capacidad. Estas áreas representan una oportunidad para futuras investigaciones que podrían explorar la aplicabilidad de esta intervención en otras industrias o procesos.

Como reflexión personal, la realización de este trabajo brindó la oportunidad de aplicar las herramientas teóricas adquiridas durante el MBA para resolver un problema complejo del mundo real. Este proceso no solo consolidó la comprensión de la gestión estratégica y operativa, sino que también permitió desarrollar un enfoque holístico para la resolución de problemas, demostrando la relevancia de la maestría en el desarrollo profesional.

BIBLIOGRAFÍA

- American Society for Quality. (March de 2024). *ASQ*. Obtenido de Economics of Quality: <https://asq.org/quality-resources/research/economics-of-quality>
- Apollo Seiko Mexico. (October de 2024). *Soldadura Selectiva*. Obtenido de Soldadura Selectiva: Precisión y Eficiencia con la Serie AF: <https://www.apolloseiko.com.mx/soldadura/soldadura-selectiva-precision-y-eficiencia-con-la-serie-af-de-apollo-seiko/>
- Automotive Industry Action Group. (2024). *APQP - Advanced Product Quality Planning Guide*. Obtenido de AIAG: <https://www.aiag.org/apqp-advanced-product-quality-planning-2024>
- Dalkir, K. (2005). *Knowledge Management in Theory and Practice*. USA: Elsevier Butterworth–Heinemann publications.
- Denning, P. J. (January de 2012). Innovating the Future from Ideas to Adoption. *Innovating the Future from Ideas to Adoption*. The Futurist.
- Doran, T. G. (November de 1981). There's a S.M.A.R.T. way to write management's goals and objectives. *There's a S.M.A.R.T. way to write management's goals and objectives*. AMA Forum.
- Fineline Global Group. (October de 2024). *La historia de los circuitos impresos en pocas palabras*. Obtenido de Fineline Defining Excellence: <https://www.fineline-global.com/es/knowledge-centre/the-history-of-printed-circuit-boards-in-a-nutshell/>
- Global Well PCBA. (17 de Junio de 2025). *Explicación de la tecnología de orificio pasante (THT) en PCB*. Obtenido de Global Well PCBA. One-Stop Turnkey Service.: <https://www.globalwellpcb.com/es/tecnologia-de-orificio-pasante-en-pcb/>
- Good, L. (20 de November de 2023). *What is a Project Charter? Complete Guide & Examples*. Obtenido de Project-Management.com: <https://project-management.com/what-is-a-project-charter/>
- Horowitz, P., & Hill, W. (2015). *The Art of Electronics*. New York: Cambridge University Press.
- INEGI. (March de 2024). *INEGI - BIE*. Obtenido de Banco de información económica (BIE): https://www.inegi.org.mx/app/indicadores/?tm=0#D436925_104001100160001000800030
- Institute for Printed Circuits. (2020). *IPC-A-610 Revisión H. Aceptabilidad de Ensamblajes Electrónicos*. Bannockburn, Illinois.: IPC.

- Juran, J. M. (1999). Failure Mode, Effect, and Criticality Analysis for Processes. En J. M. Juran, *Juran's Quality Handbook*. (págs. 29-31). McGraw Hill.
- Juran, J. M., & Godfrey, A. B. (1999). Cause-Effect ("Fishbone") Diagram. En J. M. Juran, *Juran's Quality Handbook*. (pág. 1567). McGraw Hill.
- Juran, J. M., & Godfrey, A. B. (1999). The Juran Trilogy Diagram. En J. M. Juran, *Juran's Quality Handbook* (pág. 25). McGraw Hill.
- Juran, J. M., & Godfrey, A. B. (1999). The Pareto Principle. En J. M. Juran, *Juran's Quality Handbook* (pág. 5.20). McGraw-Hill.
- Juran, J. M., & Godfrey, M. B. (1999). What is Quality? En J. M. Juran, *Juran's Quality Handbook. Fifth Edition*. (pág. 20). New York, NY: McGraw Hill.
- Keens, M. (October de 2024). *Guide To Solder Paste Printing Process*. Obtenido de Texcel Technology: <https://www.texceltechnology.com/images/brochures/Solder-Paste-Printing-Process.pdf>
- Keim, R. (10 de Abril de 2020). *What Is a Printed Circuit Board (PCB)?* Obtenido de All About Circuits: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/what-is-a-printed-circuit-board-pcb/>
- Koh Young America. (9 de May de 2024). *What is Solder Paste Inspection?* Obtenido de Koh Young America | 3D Inspection Solutions: <https://kohyoungamerica.com/what-is-solder-paste-inspection/#:~:text=In%20smartphone%20manufacturing%2C%20precision%20is,the%20device's%20performance%20and%20durability.>
- Kurtz Ersä. (Julio de 2025). *Ersä Selective Soldering*. Obtenido de Kurtz Ersä: <https://kurtzersa.com/products/electronics-production/soldering-machines/selective-systems/versaflow-3-66>
- MacNeil, C. (23 de February de 2024). *¿Qué es un diagrama SIPOC? 7 pasos para trazar y comprender los procesos de negocios*. Obtenido de asana: <https://asana.com/es/resources/sipoc-diagram>
- Mayes, J. (03 de July de 2025). *OEM, EMS, CEM, ODM, CMO: What's the difference and why does it matter?* Obtenido de ESCATEC: <https://www.escatec.com/blog/define-oem-ems-cem-odm>
- Microsoft. (October de 2025). *Power BI*. Obtenido de Microsoft: <https://www.microsoft.com/es-es/power-platform/products/power-bi>
- Moko Technology. (June de 2025). *Moko Technology. Your Trusted EMS Partner*. Obtenido de Inspección automática por rayos X (AXI): <https://www.mokotechnology.com/es/automatic-x-ray-inspection-axi/#:~:text=La%20inspecci%C3%B3n%20autom%C3%A1tica%20por%20rayos%20X>

%20utiliza,de%20anomal%C3%ADas%20y%20la%20optimizaci%C3%B3n%20de%20 procesos.

Montgomery, D. C. (2019). *Introduction to Statistical Quality Control, 8th Edition*. Wiley.

Mulugeta, A., & Guna, S. (2016). *Lead-free Solders in Microelectronics*. Obtenido de Materials Science and Engineering: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0927796X00000103>

NeoDen. (January de 2021). *Principio de funcionamiento del horno de reflujo*. Obtenido de NeoDen: <https://www.neodenpnp.com/news/working-principle-of-reflow-oven-42305536.html>

Nordson. (Abril de 2022). *Soldadura selectiva vs manual*. Obtenido de Blog de soluciones electrónicas: <https://www.nordson.com/es-es/about-us/nordson-blog/electronics-solutions-blogs/selective-vs-manual-soldering>

Northouse, P. G. (2022). *Leadership. Theory and Practice. Ninth Edition*. SAGE.

Orange Data Mining. (2025). *Orange: Data Mining & Machine Learning*. Obtenido de Orange Data Mining: <https://orangedatamining.com/>

Ortegón, E., Pacheco, J. F., & Prieto, A. (Julio de 2005). Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas. *Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas*. CEPAL - SERIE manuales.

Raeburn, A. (1 de July de 2024). *Análisis FODA: qué es y cómo usarlo*. Obtenido de Asana, Inc.: <https://asana.com/es/resources/swot-analysis>

Reuters, T. (March de 2024). *Thomson Reuters*. Obtenido de Nearshoring: La solución actual para el comercio exterior: <https://www.thomsonreutersmexico.com/es-mx/soluciones-de-comercio-exterior/blog-comercio-exterior/nearshoring-la-solucion-actual-para-el-comercio-exterior#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20nearshoring%3F,con%20una%20zona%20horaria%20semejante>.

Richtnér, A., & et al. (2017). Creating Better Innovation Measurement Practices. *Getting Innovation Right: Innovation Management*. Massachusetts, USA: MIT Sloan Management Review.

SAP SE. (2025). *¿Qué es un Sistema de ejecución de fabricación (MES)?* Obtenido de SAP Manufacturing Execution: [https://www.sap.com/spain/products/scm/execution-mes/what-is-mes.html#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20un%20MES%20\(Manufacturing,ciclo%20de%20vida%20de%20producci%C3%B3n](https://www.sap.com/spain/products/scm/execution-mes/what-is-mes.html#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20un%20MES%20(Manufacturing,ciclo%20de%20vida%20de%20producci%C3%B3n).

SCW Medicath Ltd. (March de 2025). *Guiding Catheter vs Diagnostic Catheter: A Comprehensive Comparison*. Obtenido de SCW Medicath Ltd. News and Blogs:

<https://www.scwmed.com/news/guiding-catheter-vs-diagnostic-catheter-a-comprehensive-comparison.html#:~:text=In%20contrast%2C%20a%20diagnostic%20catheter,for%20precision%20rather%20than%20support.>

Sensata Technologies. (2024). *S8(UL) Series UL Approved Miniature High Voltage Relay*.

Obtenido de Sensata Technologie Web Site:

<https://www.cynergy3.com/sites/default/files/sensata-reed-relay-s8-ul-series-datasheet.pdf>

Team Asana. (2024 de Febrero de 2024). *¿Qué es VSM y cómo se hace un Value Stream Mapping?*

Obtenido de Asana, Inc: [https://asana.com/es/resources/value-stream-mapping?utm_campaign=NB--LATAM--ES--Catch-All--All-Device--](https://asana.com/es/resources/value-stream-mapping?utm_campaign=NB--LATAM--ES--Catch-All--All-Device--DSA&utm_source=google&utm_medium=pd_cpc_nb&gad_source=1&gclid=EAlaIQobChMI-f32qpnSiQMVBzFECB2wISmIEAAYAAAEgJez_D_BwE&gclid=aw.ds)

[DSA&utm_source=google&utm_medium=pd_cpc_nb&gad_source=1&gclid=EAlaIQobChMI-f32qpnSiQMVBzFECB2wISmIEAAYAAAEgJez_D_BwE&gclid=aw.ds](https://asana.com/es/resources/value-stream-mapping?utm_campaign=NB--LATAM--ES--Catch-All--All-Device--DSA&utm_source=google&utm_medium=pd_cpc_nb&gad_source=1&gclid=EAlaIQobChMI-f32qpnSiQMVBzFECB2wISmIEAAYAAAEgJez_D_BwE&gclid=aw.ds)

[obChMI-f32qpnSiQMVBzFECB2wISmIEAAYAAAEgJez_D_BwE&gclid=aw.ds](https://asana.com/es/resources/value-stream-mapping?utm_campaign=NB--LATAM--ES--Catch-All--All-Device--DSA&utm_source=google&utm_medium=pd_cpc_nb&gad_source=1&gclid=EAlaIQobChMI-f32qpnSiQMVBzFECB2wISmIEAAYAAAEgJez_D_BwE&gclid=aw.ds)

The hub for Surface Mount Technology. (August de 2024). *Component Placement Process*.

Obtenido de Surface Mount Process:

<https://www.surfacemountprocess.com/component-placement-process.html>

UnityPCB. (13 de December de 2024). *Wave Soldering vs Reflow Soldering: Key Difference Revealed*.

Obtenido de PCB Assembly: <https://unitypcb.com/wave-soldering-vs-reflow-soldering/>

Vitoriano, P., & Amaral, T. (May de 2011). Automatic Optical Inspection for Surface

Mounting Devices with IPC-A-610D compliance. Torremolinos (Málaga), Spain:

Proceedings of the 2011 International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives.

Wang, J. (25 de May de 2023). *¿Qué es la inspección por rayos X de PCB? ¿Como funciona?*

Obtenido de MOKO Technology: <https://www.mokotechnology.com/es/pcb-x-ray-inspection/#:~:text=El%20proceso%20consiste%20en%20utilizar,m%C3%A9todos%20de%20inspecci%C3%B3n%20visual%20convencionales..>

[%20de%20inspecci%C3%B3n%20visual%20convencionales..](https://www.mokotechnology.com/es/pcb-x-ray-inspection/#:~:text=El%20proceso%20consiste%20en%20utilizar,m%C3%A9todos%20de%20inspecci%C3%B3n%20visual%20convencionales..)

Zhao, H. (2025). *Soldadura por ola: la guía definitiva para una soldadura eficaz*. Obtenido

de WELLPCB: <https://placapcb.com/soldadura-por-ola.html>

ANEXOS

Anexo A: PFMEA Inicial

Referencia del documento PFMEA aplicable al producto PCBA Interfaz de
Relevadores inicial para el proceso de manufactura en soldadura Selectiva previo
a la intervención.

POTENTIAL FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS (PROCESS FMEA)									
Process Function	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Severity	Class	Potential Cause(s) / Mechanism(s) of Failure	Occurrence	Current Process Controls Prevention	Current Process Controls Detection	RPN
Requirements SS1 (Auto Selective Solder)	Expired Chemical (solder, flux)	Solder Issues Shelf Life Reduction	7	N/A	Inventory Control issue at Production Floor	2	Chemical Verification (Electronic verification linked to AMC) IOT system linked to AMC	X-Ray Inspection Step (Limited Coverage)	28
	Incorrect or mixed chemical (solder, flux)	Solder Issues Shelf Life Reduction	7	N/A	Inventory Control issue at Production Floor	3	Chemical Verification (Electronic verification linked to AMC) IOT system linked to AMC	X-Ray Inspection Step (Limited Coverage) - Chromatography Verification through Ionograph Test	42
	Insufficient solder / Low solder barrel fill	Shelf life reduction	7	N/A	Wrong pallet design	2	Selective Solder Equipment Pallet Fabrication Specifications	X-Ray Inspection Step (Limited Coverage)	56
		Shelf life reduction	7	N/A	Incorrect Solder Contact	4	Flux Penetration Verification Nozzle gauge defined on Soldering Recipe (wave verification pallet) CPK study of dwell time and parallelism WaveRider verification (SPC-Datalyzer)	ICT / Flying Probe Test Operations - X-Ray Inspection Step (Limited Coverage)	84
		Shelf life reduction	7	N/A	Incorrectly lead clearance	2	Lead clearance distance control by machine program WVP (wave verification pallet) CPK study of dwell time and parallelism WaveRider verification (SPC-Datalyzer)	Visual inspection Daily FAI (Form) X ray inspection	98
		Shelf life reduction	7	N/A	Clogged solder wave nozzle	2	Preventive maintenance	ICT / Flying Probe Test Operations - X-Ray Inspection Step (Limited Coverage)	28
		Shelf life reduction	7	N/A	Conveyor speed too fast	3	Process Work Instruction for Technical Selective Solder Operations Conveyor speed control by machine program	ICT / Flying Probe Test Operations - X-Ray Inspection Step (Limited Coverage)	42
		Shelf life reduction	7	N/A	PCB - Incorrect preheat	3	Process Work Instruction for Technical Selective Solder Operations Preheat profile control by machine program	Temperature profile performance and Visual inspection X ray inspection	42
	Solder issues	Cosmetic rejects Functional Failures	7	N/A	Wrong pallet direction	3	PTH Guidebook	ICT / Flying Probe Test Operations - X-Ray Inspection Step (Limited Coverage)	63
	Solder bridge	Non-Functional Product	8	N/A	Coveyor speed too low	3	Process Work Instruction for Technical Selective Solder Operations / Solder temperature profile Wave verification pallet Wave rider verification (SPC / Datalyzer)	ICT / Flying Probe Test Operations X-Ray Inspection Step (Limited Coverage)	96
		Non-Functional Product	8	N/A	Incorrect conveyor parallelism	3	Process Work Instruction for Technical Selective Solder Operations / Wave Verification Pallet Wave rider verification (SPC / Datalyzer)		96
		Non-Functional Product	8	N/A	Incorrect Dwell Time	3	Process Work Instruction for Technical Selective Solder Operations / Wave Verification Pallet Wave rider verification (SPC / Datalyzer)		96
		Non-Functional Product	8	N/A	Wrong solder pot temperature	3	Process Work Instruction for Technical Selective Solder Operations / Wave Verification Pallet Wave rider verification (SPC / Datalyzer)		96
		Non-Functional Product	8	N/A	Incorrect temperature profile loaded / program	2	Process Work Instruction for Technical Selective Solder Operations / Wave Verification Pallet Wave rider verification (SPC / Datalyzer)		64
		Non-Functional Product	8	N/A	Solder nozzle clogged	3	Daily dross cleaning process		96
		Non-Functional Product	8	N/A	Insufficient flux	3	Daily flux deposition and penetration validation Fluxmeter sensor		96
		Non-Functional Product	8	N/A	Conveyor Fingers Bent	3	Preventive maintenance		96
		Non-Functional Product	8	N/A	Incorrect lead clearance	3	Process Work Instruction for Technical Selective Solder Operations Lead clearance controlled by solde program		96
		Non-Functional Product	8	N/A	PCB Preheat Incorrect	3	Process Work Instruction for Technical Selective Solder Operations / Solder temperature profile Wave rider verification (SPC / Datalyzer)		96
	Insufficient Solder	Shelf life reduction Reject on subsequent operation	7	N/A	Incorrect PCB Preheat parameters	3	Process Work Instruction for Technical Selective Solder Operations / Product Temperature Profile	ICT / Flying Probe Test Operations X-Ray Inspection Step (Limited Coverage)	84
		Shelf life reduction Reject on subsequent operation	7	N/A	Incorrect Dwell Time	3	Process Work Instruction for Technical Selective Solder Operations / Wave Verification Pallet Wave rider verification (SPC / Datalyzer)		84
		Shelf life reduction Reject on subsequent operation	7	N/A	Incorrect conveyor parallelism	3	Preventive maintenance Wave verification pallet Wave rider verification (SPC / Datalyzer)		84
		Shelf life reduction Reject on subsequent operation	7	N/A	Wrong solder pot temperature	3	Process Work Instruction for Technical Selective Solder Operations / Solder temperature profile Wave rider verification (SPC / Datalyzer)		84
	Nonwetting / Dewetting Solder	Degraded performance, Open Circuit	8	N/A	Contaminated flux	3	Chemical scanning system linked to traceability system	ICT / Flying Probe Test Operations X-Ray Inspection Step (Limited Coverage)	48
		Degraded performance, Open Circuit	8	N/A	Conveyor speed too fast	3	Process Work Instruction for Technical Selective Solder Operations / Conveyor speed control by machine program		96
		Degraded performance, Open Circuit	8	N/A	Incorrect Preheat Temp. Solder Temp. Too Low	3	Guidebook Solder temperature profile Wave rider verification (SPC / Datalyzer)		96
	Solder balls	Potential solder bridge Lost of function	8	N/A	Incorrect Preheat Temp. Solder Temp. Too Low	3	Guidebook Solder temperature profile Wave rider verification (SPC / Datalyzer)	ICT / Flying Probe Test Operations X-Ray Inspection Step (Limited Coverage)	96
	Incorrect High Voltage Solder Termination	Degraded Performance	8	CTQ	Selective feature "Pull Out" enable	1	Parameter set up through recipe loading	Visual inspection	48
		Non-Functional Product	8	CTQ	Component Lead dimension out of tolerance	2	Custom Preform Die for Components	Preformed component inspection through GO-NO GO Gauge	96
	ESD Damage	Non-Functional Product	8	N/A	Insufficient Grounding	2	ESD Verification Program	ESD Audits ICT / Flying Probe Test Operations	48
Hand Solder - HS1 (Final Assembly)	Incorrect Process Tooling	Degraded Performance	7	N/A	Incorrect PCBA Orientation	2	Tooling and parameters defined on HS1 Process Guidebook	Requirements for Manufacturing Process Inspection	70
		Non-Functional Product	7	N/A	Incorrect Flux Amount	2	Requirements for Manufacturing Process Inspection	Requirements for Manufacturing Process Inspection	70
		Non-Functional Product	7	N/A	Contaminated Flux	2	Tooling and parameters defined on HS1 Process Guidebook	Requirements for Manufacturing Process Inspection	70
	Incorrect High Voltage Solder Termination	Degraded Performance	8	CTQ	Incorrect Solder Iron Tip Type	2	Solder Iron Tip Type documented on HS1 Process Guidebook	Visual confirmation for Solder Iron Tip Type	96
		Non-Functional Product	8	CTQ	Operator Certification Expired	2	Link Operator Certification status to GSF Station	Link Operator Certification status to GSF Station	96
	ESD Damage	Non-Functional Product	8	N/A	Insufficient Grounding	2	ESD Verification Program	ESD Audits ICT / Flying Probe Test Operations	48

Fuente: Sistema de control de documentos propiedad de la organización.

Anexo B: Actualización de PFMEA

Referencia del documento PFMEA aplicable al producto PCBA Interfaz de
Relevadores actualizado de acuerdo a las mejoras implementadas en el proceso
de manufactura en soldadura Selectiva.

POTENTIAL FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS (PROCESS FMEA)														
Process Function	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Severity	Potential Cause(s)/ Mechanism(s) of Failure	Occurrence	Current Process Controls Prevention	Current Process Controls Detection	Detection	RPN	Actions Taken	Action Results			
Requirements											Sev	Occ	RPN	
SS1 (Auto Selective Solder)	Expired Chemical (solder, flux)	Solder issues Shelf Life Reduction	7	Inventory Control issue at Production Floor	2	Chemical Verification (Electronic verification linked to AMC) IOT system linked to AMC	X-Ray Inspection Step (Limited Coverage)	2	28	N/A	7	2	28	
	Incorrect or mixed chemical (solder, flux)	Solder issues Shelf Life Reduction	7	Inventory Control issue at Production Floor	3	Chemical Verification (Electronic verification linked to AMC) IOT system linked to AMC	X-Ray Inspection Step (Limited Coverage) - Chromatography Verification through Inograph Test	2	42	N/A	7	3	42	
		Shelf life reduction	7	Wrong pallet design	2	Selective Solder Equipment Pallet Fabrication Specifications	X-Ray Inspection Step (Limited Coverage)	4	56	N/A	7	2	4	56
		Shelf life reduction	7	Incorrect Solder Contact	4	Flux Penetration Verification Nozzle gauge defined on Soldering Recipe	ICT / Flying Probe Test Operations - X-Ray Inspection Step (Limited Coverage)	3	84	• Parameter Optimization and Standardization with the optimal operating window. • Lock parameters once validated (restricted access).	7	2	3	42
		Shelf life reduction	7	Incorrectly lead clearance	2	Lead clearance distance control by machine program WVP (wave verification pallet) CPK study of dwell time and parallelism WaveRider verification (SPC - DataLzyer)	Visual inspection Daily FAI (Form) X-ray inspection	7	98	• Real-Time Process Monitoring (SPC/Alarms) Integrate sensors to monitor key temperatures (preheating and dwell) and conveying speed, with control limits (CPK) and alarms that stop the machine if parameters fall outside the optimal window.	7	2	5	70
	Insufficient solder / Low solder barrel fill	Shelf life reduction	7	Clogged solder wave nozzle	2	Preventive maintenance	ICT / Flying Probe Test Operations - X-Ray Inspection Step (Limited Coverage)	2	28	N/A	7	2	2	28
		Shelf life reduction	7	Conveyor speed too fast	3	Process Work Instruction for Technical Selective Solder Operations Conveyor speed control by machine program	ICT / Flying Probe Test Operations - X-Ray Inspection Step (Limited Coverage)	2	42	• Parameter Optimization and Standardization with the optimal operating window. • Lock parameters once validated (restricted access). • Process Work Instruction for Technical Selective Solder Operations	7	2	2	28
		Shelf life reduction	7	PCB - Incorrect preheat	3	Process Work Instruction for Technical Selective Solder Operations Preheat profile control by machine program	Temperature profile performance and Visual inspection X-ray inspection	2	42		7	2	2	28
		Non-Functional Product	Contamination on Raw Material such as Relay as a critical component.	8	To perform Incoming inspection process at the receipt process of raw material. To Request CoC to component compliance to Supplier.		Visual Inspection of Raw material Leve. X-Ray inspection once installed in PCBA	2	80	Adhesive use to seal Relay components have been replaced and cure process improve from supplier.	8	2	2	32
		Solder issues	Cosmetic rejects Functional Failures	7	Wrong pallet direction	3	PTH Guidebook	ICT / Flying Probe Test Operations - X-Ray Inspection Step (Limited Coverage)	3	63	• Parameter Optimization and Standardization with the optimal operating window. • Lock parameters once validated (restricted access). • Process Work Instruction for Technical Selective Solder Operations	7	3	3
	Non-Functional Product	Conveyor speed too low	8		3	Process Work Instruction for Technical Selective Solder Operations / Solder temperature profile	ICT / Flying Probe Test Operations X-Ray Inspection Step (Limited Coverage)	4	96	• Parameter Optimization and Standardization with the optimal operating window. • Lock parameters once validated (restricted access). • Process Work Instruction for Technical Selective Solder Operations	8	3	4	96
	Non-Functional Product	Incorrect conveyor parallelism	8	Wave verification pallet Wave rider verification (SPC / DataLzyer)	3		ICT / Flying Probe Test Operations X-Ray Inspection Step (Limited Coverage)	4	96		8	3	4	96
	Non-Functional Product	Incorrect Dwell Time	8	Process Work Instruction for Technical Selective Solder Operations / Wave Verification Pallet Wave rider verification (SPC / DataLzyer)	3		ICT / Flying Probe Test Operations X-Ray Inspection Step (Limited Coverage)	4	96	• Parameter Optimization and Standardization with the optimal operating window. • Lock parameters once validated (restricted access). • Process Work Instruction for Technical Selective Solder Operations	8	2	4	64
	Non-Functional Product	Wrong solder pot temperature	8	Process Work Instruction for Technical Selective Solder Operations / Wave Verification Pallet Wave rider verification (SPC / DataLzyer)	3		ICT / Flying Probe Test Operations X-Ray Inspection Step (Limited Coverage)	4	96		8	2	4	64
	Non-Functional Product	Incorrect temperature profile loaded / program	2	Process Work Instruction for Technical Selective Solder Operations / Wave Verification Pallet Wave rider verification (SPC / DataLzyer)	2		ICT / Flying Probe Test Operations X-Ray Inspection Step (Limited Coverage)	4	64		8	2	4	64
	Non-Functional Product	Solder nozzle clogged	8	Daily dress cleaning process	3		ICT / Flying Probe Test Operations X-Ray Inspection Step (Limited Coverage)	4	96	• Preventive Maintenance (PM) and Calibration: Implement strict PM on critical components (nozzles, thermocouples, Rewinding pumps). • Parameter Optimization and Standardization with the optimal operating window. • Lock parameters once validated (restricted access).	8	3	4	96
	Non-Functional Product	Insufficient flux	8	Daily flux deposition and penetration validation Fluxmeter sensor	3		ICT / Flying Probe Test Operations X-Ray Inspection Step (Limited Coverage)	4	96	• Parameter Optimization and Standardization with the optimal operating window. • Lock parameters once validated (restricted access).	8	2	4	64
	Non-Functional Product	Conveyor Fingers Bent	8	Preventive maintenance	3		ICT / Flying Probe Test Operations X-Ray Inspection Step (Limited Coverage)	4	96	• Preventive Maintenance (PM) and Calibration: Implement strict PM on critical components (nozzles, thermocouples, Rewinding pumps). • Establish a periodic calibration plan for temperature and speed sensors. • Process Work Instruction for Technical Selective Solder Operations	8	3	4	96
	Non-Functional Product	Incorrect lead clearance	8	Process Work Instruction for Technical Selective Solder Operations Lead clearance controlled by solder program	3		ICT / Flying Probe Test Operations X-Ray Inspection Step (Limited Coverage)	4	96		8	3	4	96
	Non-Functional Product	PCB Preheat Incorrect	3	Process Work Instruction for Technical Selective Solder Operations / Solder temperature profile Wave rider verification (SPC / DataLzyer)	3		ICT / Flying Probe Test Operations X-Ray Inspection Step (Limited Coverage)	4	96		8	3	4	96
	Shelf life reduction Reject on subsequent operation	Incorrect PCB Preheat parameters	7	Process Work Instruction for Technical Selective Solder Operations / Product Temperature Profile	3		ICT / Flying Probe Test Operations X-Ray Inspection Step (Limited Coverage)	4	84	• Parameter Optimization and Standardization with the optimal operating window. • Lock parameters once validated (restricted access). • Process Work Instruction for Technical Selective Solder Operations	7	2	4	56
	Shelf life reduction Reject on subsequent operation	Incorrect Dwell Time	7	Process Work Instruction for Technical Selective Solder Operations / Wave Verification Pallet Wave rider verification (SPC / DataLzyer)	3		ICT / Flying Probe Test Operations X-Ray Inspection Step (Limited Coverage)	4	84	• Real-Time Process Monitoring (SPC/Alarms)	7	2	4	56
	Shelf life reduction Reject on subsequent operation	Incorrect conveyor parallelism	7	Preventive maintenance Wave verification pallet Wave rider verification (SPC / DataLzyer)	3		ICT / Flying Probe Test Operations X-Ray Inspection Step (Limited Coverage)	4	84	• Preventive Maintenance (PM) and Calibration: Implement strict PM on critical components (nozzles, thermocouples, Rewinding pumps). • Parameter Optimization and Standardization with the optimal operating window. • Lock parameters once validated (restricted access). • Process Work Instruction for Technical Selective Solder Operations	7	3	4	84
	Shelf life reduction Reject on subsequent operation	Wrong solder pot temperature	7	Process Work Instruction for Technical Selective Solder Operations / Solder temperature profile Wave rider verification (SPC / DataLzyer)	3		ICT / Flying Probe Test Operations X-Ray Inspection Step (Limited Coverage)	4	84		7	2	4	56
	Nonwetting / Dewetting Solder	Degraded performance, Open Circuit	8	Contaminated flux	3	Chemical scanning system linked to traceability system	ICT / Flying Probe Test Operations X-Ray Inspection Step (Limited Coverage)	2	48	N/A	8	3	2	48
		Degraded performance, Open Circuit	8	Conveyor speed too fast	3	Process Work Instruction for Technical Selective Solder Operations / Conveyor speed control by machine program	ICT / Flying Probe Test Operations X-Ray Inspection Step (Limited Coverage)	4	96	N/A	8	3	4	96
		Degraded performance, Open Circuit	8	Incorrect Preheat Temp. Solder Temp. Too Low	3	Guidedbook Solder temperature profile Wave rider verification (SPC / DataLzyer)	ICT / Flying Probe Test Operations X-Ray Inspection Step (Limited Coverage)	4	96	• Parameter Optimization and Standardization with the optimal operating window. • Lock parameters once validated (restricted access). • Process Work Instruction for Technical Selective Solder Operations	8	2	4	64
	Solder balls	Potential solder bridge Lost of function	8	Incorrect Preheat Temp. Solder Temp. Too Low	3	Guidedbook Solder temperature profile Wave rider verification (SPC / DataLzyer)	ICT / Flying Probe Test Operations X-Ray Inspection Step (Limited Coverage)	4	96	• Real-Time Process Monitoring (SPC/Alarms)	8	2	4	64
	Incorrect High Voltage Solder Termination	Degraded Performance	8	Selective feature "Pull Out" enable	1	Parameter set up through recipe loading	Visual inspection	6	48	N/A	8	1	6	48
		Non-Functional Product	8	Component Lead dimension out of tolerance	2	Custom Preform Die for Components	Visual inspection for solder termination Preformed component inspection through GO-NO GO Gauge	6	96	N/A	8	2	6	96
	ESD Damage	Non-Functional Product	8	Insufficient Grounding	2	ESD Verification Program	ESD Audits ICT / Flying Probe Test Operations	3	48	N/A	8	2	3	48

Fuente: Sistema de control de documentos propiedad de la organización.

Anexo C: Actualización de Control Plan

Referencia del documento Control Plan aplicable al producto PCBA Interfaz de Relevadores actualizado de acuerdo a las mejoras implementadas en el proceso de manufactura en soldadura Selectiva.

Desc.: PCA_RELAY INTERFACE Item: 600353371		CONTROL PLAN											
Process/ Name Operation Description	Machine, Device, Jigs, Tools For Mfg.	Product	Process	Special Char. Class	Product/Process Specification Tolerance	Methods					Control Method	Reaction Plan	Responsibility
						Evaluation Measurement Technique	Size	Frequency					
Manual Stuff	- Fixture /Pallet. - Work station.	NA	Component Through Hole Placement	NO	- IPC-A-610 Class II current revision. - Customer BOM - Guidebook documented in ABI system	Visual	100%	Each WO		-Form Intermediate Process Line Verification PWA -MES System (Data Collection). Process based on PTH guidebook	1.- Stop the process 2.- Notify to Supervisor 3.- Supervisor call to Engineer Process and Quality to evaluate the finding. 4.- If is required fill out a form; 5.- Engineering team shall drive corrective action for each QRQC	Operator	
	- Work Station	NA	ESD	N/A	Electrostatic Discharge (ESD) Control Program. ESD Verification Program	Visual	100%	Each WO		Intermediate Process Line Verification PWA		ESD department	
Auto Selective Solder	Selective Solder versaflo-3/66	Flux Type	Flux Spraying	N/A	Se up Program According to receipt referenced on Manufacturing visual aid	Visual, check against on line documentation	N/A	Set-Up		Process Control Requirements for Wave Soldering Printed Wiring Assemblies Intermediate Process Line Verification PWA	Load the correct program	Wave Technician	
			Selective Soldering		Correct Flux type according to guidebook	Check against on- line documentation & the container label					Change new flux		
					Process Work Instruction for Technical Selective Solder Operations	Wave optimizer, datapag for profile					Stop, trouble shoot and inform Engineer		
		High Voltage Solder Termination	N/A	CTQ	-Workmanship of PCBA according to IPC 610 Class II	Visual	Each Piece	Continuous/ Shift start or model change		IPC A 610 Class II	Material segregation and notification to production & QC Reworks units	PTH Operator	
Hand Solder Final Assembly	Soldering Iron TIP, Solder Wire	Solder-side must have egg-shaped, spherical or oval profiles.	N/A	CTQ	As per IPC-A-610 Class II current revision, customer assembly drawing and customer workmanship.	Visual	100%	Each WO		Process Control Requirements for Hand Solder, automated Solder and Solder Touch-up, Rework and Repair Intermediate Process Line Verification PWA First Sample Tag -GSF data collection Requirements for Manufacturing Process	Material segregation and notification to production & QC. Reworks units	Touch Up soldering operator	
Post Wave Inspect	Soldering Iron TIP, Solder Wire	High Voltage Solder Termination	N/A	CTQ	As per IPC-A-610 Class II current revision, customer assembly drawing and customer workmanship.	Visual	100%	Each WO		Process Control Requirements for Hand Solder, automated Solder and Solder Touch-up, Rework and Repair Intermediate Process Line Verification PWA First Sample Tag -GSF data collection Requirements for Manufacturing Process Inspection	Material segregation and notification to production & QC. Reworks units	Touch Up soldering operator	
Quality Inspection	Magnifier glass	Correct component assembly, correct orientation & present.	Visual inspection	N/A	As per IPC-A-610 Class II current revision, customer assembly drawing and customer workmanship.	Visual according to IPC-A-610 Class II latest revision	100%	Each WO		Process based on QA Visual Aid	1.- Stop the process 2.- Notify to Supervisor 3.- Supervisor call to Engineer Process and Quality to evaluate the finding. 4.- If is required fill out a form; 5.- Engineering team shall drive corrective action for each QRQC.	Quality inspector	
XAI X-ray Automated Inspection	X-RAY inspection machine	NA	Set Up Equipment	NO	- EOI Vitrox V810 Operation Instruction Process Control Requirements for Test and Inspection - Program according to guidebook documented in VKS system	Visual	One time	Each Set Up Model		-Workmanship of PCBA according to IPC 610 Class II	1.- Stop the Line 2.- Production Lead Notify to Supervisor and Engineer Support.	Test engineer	
		NA	Machine quality Preventive maintenance	NO	Vitrox V810 Maintenance Procedure	Visual	One time	Monthly		JDE system	1.- Stop line 2-Test technician shall make de Preventive Maintenance	Test engineer	
		NA		NO	Vitrox V810 Maintenance Procedure	Visual	One time	Semi-Annual		JDE system	1.- Stop line 2-Test technician shall make de Preventive Maintenance	Test engineer	
		NA	Optical inspection	Critical	- IPC-A-610 Class II current revision.	Automatic optical inspection	100%	Each WO		-GSF System -VDM System Process based on XAI guidebook	1.- Stop the Line. 2.- Notify to Supervisor 3.- Supervisor call to Engineer Process and Quality to evaluate the finding. 4.- If is required fill out a form; 5.- Engineering team shall drive corrective action for each QRQC.	Operator	

Fuente: Sistema de control de documentos propiedad de la organización.

Anexo D: Actualización de Documentos de Operación

Referencia de las instrucciones de trabajo aplicable al producto PCBA Interfaz de Relevadores actualizado dentro del sistema de trazabilidad de la organización acuerdo a las mejoras implementadas en el proceso de manufactura en soldadura Selectiva.

Validación de perfil

Boquilla

Hoja de parámetros

Wave Solder Information			
Name Recipe	600353371	Type Flux	FCT 159
Project		Nozzle #	1
EW SS			
Line			

Parameter Sheet Selective Solder			
Flow Parameter	Preheate Unit 1 Parameter	Unit Solder 1 Parameter	Unit Solder 2 Parameter
Preheate Upper(°C)	150	Solder Temperature Pot 1 (°C)	300
Time (Sec)	100	Solder Temperature Pot 2 (°C)	300
Preheate Lower(°C)	150	Preheate Upper(°C)	120
Time (sec)	30	Preheate Time (Sec)	100
1 [R: 50]	Time (sec)	Nozzle#1 #	2
2 [R: 50]	Time (sec)	Nozzle#2 #	4
3 [R: 50]	Time (sec)		
4 [R: 50]	Time (sec)		
Preheate Unit 2 Parameter	Unit Solder 2 Parameter		
Preheate Upper(°C)	N/A	Solder Temperature Pot 1 (°C)	275
Time (Sec)	N/A	Solder Temperature Pot 2 (°C)	N/A
Preheate Lower(°C)	N/A	Preheate Upper(°C)	180
1 [R: N/A]	Time (sec)	Preheate Time (Sec)	180
2 [R: N/A]	Time (sec)	Nozzle 1#	6
3 [R: N/A]	Time (sec)	Nozzle 2#	N/A
4 [R: N/A]	Time (sec)		

Revision change control		
No.	Rev.	Motivo del cambio de rev.
1	A	Receta Nueva
2	B	Se cambia del Pot 2 al Pot 1 el soldador de los relevadores para mejorar el llenado de barril
3	C	Se manda a Hand soldering al relevador SS 2405J-186
4	D	Se realizan pruebas mandando 10 relevadores al pot 2
5	E	Se manda a soldar en selectiva los 22 relevadores
6	F	Se modifican temperaturas de precalentamiento y tiempo para sostener entre 120 y 130°C durante todo el ciclo de soldadura

Datos

Asegúrese de contar con el Material y las herramientas que indica la guía.

Fuente: Sistema de trazabilidad propiedad de la organización.

Anexo E: Comunicación interna

Publicación del artículo “El Costo Oculto: Cómo la mala calidad impacta nuestra empresa”, parte de la revista mensual corporativa en su edición número 26, publicada en Junio de 2025.

El Costo Oculto: Cómo la Mala Calidad Impacta en nuestra Empresa.



Por **Eligio Martínez**

¿Alguna vez has encendido un dispositivo electrónico nuevo y, con frustración, has descubierto que no funciona correctamente? ¿O has escuchado historias de líneas de producción detenidas, generando pérdidas millonarias? En el competitivo mundo de la manufactura de electrónicos, la calidad no es solo un atributo deseable, sino un pilar fundamental para el éxito. Sin embargo, cuando la calidad falla, las consecuencias van mucho más allá de un simple producto defectuoso.



Se traducen en costos significativos, a menudo invisibles a primera vista, que merman la rentabilidad y la reputación de la empresa. A estos gastos los conocemos como el Costo de la Pobre Calidad (CoPQ).

Imagina que estás preparando tu platillo favorito y, por un descuido, quemas la salsa. No solo pierdes los ingredientes, sino también el tiempo invertido y quizás arruinas el resto de la comida. El Costo de Calidad Pobre, CoPQ por sus siglas en inglés funciona de manera similar en una empresa de electrónicos.

Se refiere a todos los gastos adicionales en los que se incurre porque los productos o los procesos no cumplen con los estándares de calidad esperados. Entender y cuantificar estos costos es el primer paso para tomar medidas efectivas y proteger la salud financiera de tu negocio.

Para comprender mejor el CoPQ, podemos dividirlo en cuatro grandes categorías:

- **Costos de Prevención:**
Son las inversiones que realiza la empresa para evitar que los defectos ocurran en primer lugar. Piensa en la capacitación exhaustiva de los técnicos de ensamblaje, el diseño cuidadoso y robusto de los nuevos productos, o el mantenimiento preventivo de la maquinaria de producción. Aunque requieren una inversión inicial, estos costos son la primera línea de defensa contra los problemas de calidad y, a

4

Fuente: Sistema comunicación interna propiedad de la organización.

la larga, resultan ser los más rentables. Es como invertir en buenos cimientos para una casa: evitas problemas mayores en el futuro.

- **Costos de Evaluación (o Detección):**

Aquí entran todos los gastos asociados a verificar si los productos cumplen con los estándares establecidos. Esto incluye las inspecciones de los componentes al llegar a la fábrica, las pruebas de funcionamiento de los dispositivos ensamblados, las auditorías de calidad y el personal dedicado al control de calidad. Si bien son necesarios para asegurar que los productos defectuosos no lleguen al cliente, un alto costo de evaluación puede ser un síntoma de que los esfuerzos de prevención no son suficientes. Es como revisar cuidadosamente cada ingrediente antes de cocinar: aseguras la calidad, pero idealmente, los ingredientes ya deberían ser buenos.

- **Costos de Fallas Internas:**

Estos son los costos generados por los defectos que se detectan antes de que el producto salga de la fábrica. Imagina un lote de placas base con

soldaduras defectuosas que deben ser reprocesadas, los componentes electrónicos que se desechan por no cumplir con las especificaciones, o el tiempo de inactividad de una línea de producción debido a un problema técnico. Estas fallas afectan la eficiencia general de la producción. Es como tener que rehacer parte de la receta porque se te quemó: pierdes ingredientes y tiempo.

- **Costos de Fallas Externas:**

Estos son quizás los más perjudiciales, ya que ocurren cuando los defectos se descubren después de que el producto ha llegado al cliente. Aquí hablamos de los gastos de garantía, las devoluciones de productos defectuosos, las reparaciones, las quejas de los clientes y, lo más grave, el daño a la imagen y la reputación de la marca. En la industria de electrónicos, donde la confianza del consumidor es vital, una mala experiencia puede tener consecuencias a largo plazo, como la pérdida de clientes y la dificultad para lanzar nuevos productos. Es como servir un plato en mal estado: no solo pierdes al cliente, sino que dañas tu reputación.

El Costo de la Pobre Calidad (CoPQ) impacta significativamente a las empresas de manufactura de electrónicos, reduciendo ganancias, aumentando costos y afectando la moral del equipo. Ignorarlo pone en riesgo la competitividad.

Para mitigar el CoPQ, es crucial:

- *Capacitar al personal para prevenir errores.*
- *Optimizar procesos para eliminar cuellos de botella y defectos.*

- *Implementar controles de calidad para detectar problemas a tiempo.*
- *Fomentar una cultura de calidad en toda la organización.*
- *Escuchar al cliente para mejorar continuamente.*

Reducir el CoPQ no es un gasto, sino una inversión estratégica que lleva a mayor eficiencia, satisfacción del cliente y éxito sostenible.

Fuente: Sistema comunicación interna propiedad de la organización.

Glosario

Término	Definición
Adopción de la Práctica	Principio de innovación (Denning) que define el éxito de una idea por su incorporación y uso consistente por parte de la comunidad u organización, en lugar de solo su invención.
Análisis de Pareto	Herramienta de calidad que ayuda a identificar las causas o defectos más significativos, basándose en el principio 80/20.
Attainment	Indicador clave de desempeño (KPI) que mide el porcentaje de cumplimiento de los planes de producción respecto a los volúmenes o metas planificadas para un período determinado.
Automatización de la Ineficiencia	Concepto que describe la aplicación de tecnología y procesos automáticos a un proceso inherentemente defectuoso o inestable. Resulta en la producción rápida y consistente de productos no conformes, elevando el costo de la mala calidad.
<i>Cap Model</i> (Modelo de Capacidad Operativa)	Herramienta o metodología utilizada para calcular y proyectar la capacidad máxima de una línea de producción, alineando la capacidad teórica del equipo con la capacidad real disponible tras considerar eficiencias y restricciones.
Capacidad Efectiva	El máximo rendimiento sostenible que una planta puede lograr, considerando restricciones operativas como el tiempo de inactividad, la calidad y la eficiencia.
Causa Raíz Externa	Factor fundamental que provoca un defecto o problema en el proceso, pero que se origina fuera de los límites del proceso de manufactura intervenido (ejemplo: un defecto en la materia prima suministrada por el proveedor).
Configuración Híbrida	Combinación de dos o más métodos de producción o tecnologías (en este caso, soldadura selectiva y manual) para optimizar el proceso.
Contaminación por Epóxico	Residuo de resina epóxica (usada en la fabricación del componente) que se deposita en los pines, impidiendo la correcta humectación de la soldadura.

Costo de la Mala Calidad	Los costos asociados con el esfuerzo de no producir productos de calidad la primera vez, incluyendo el costo de retrabajo, <i>scrap</i> , inspecciones, garantías y pérdidas de oportunidad.
Cumplimiento de Planes (<i>Attainment</i>)	Medida de la capacidad de la planta para cumplir con el volumen de producción planificado en un período dado.
Desperdicio (<i>Scrap</i>)	Material o producto que no puede ser reparado o reprocesado y debe desecharse, resultando en una pérdida financiera total del costo del producto.
Eficiencia Operativa	Métrica que mide qué tan bien utiliza una organización sus recursos (tiempo, materiales, equipos) para generar productos o servicios.
Ensayo No Destructivo	Cualquier método de prueba que evalúa la integridad y las propiedades de un material o componente sin dañarlo permanentemente.
Estándar de Aceptación	Estándar de la industria que define los criterios de aceptación y rechazo visuales para ensambles electrónicos.
IPC-A-610	Estándar internacionalmente reconocido para la aceptabilidad de ensambles electrónicos. En el contexto de soldadura, establece los requisitos mínimos para el llenado del barril y la humectación.
Inspección Automatizada de Rayos X 3D	Equipo de ensayo no destructivo que utiliza rayos X para crear una imagen tridimensional de la PCBA, crucial para inspeccionar uniones de soldadura ocultas en ensambles complejos.
Inspección Óptica Automatizada	Sistema basado en cámaras que inspecciona visualmente la superficie de la PCBA para detectar defectos de colocación o de superficie.
Insuficiencia en el Llenado del Barril	Defecto de soldadura donde la aleación no sube o no llena completamente el orificio (<i>barrel</i>) del pin a través de la tarjeta de circuito impreso (PCBA), resultando en una conexión débil o fallida.
Llenado de Barril	El porcentaje de soldadura que se adhiere y rellena el orificio del componente PTH/THT. Un 75% es el mínimo requerido para la aceptación.

On Time Delivery (OTD)	Indicador clave de desempeño (KPI) que mide la capacidad de la organización para cumplir con las fechas de entrega acordadas con el cliente.
Partes Por Millón	Métrica de calidad que indica el número de unidades defectuosas por cada millón de unidades producidas.
PCBA (<i>Printed Circuit Board Assembly</i>)	Tarjeta de circuito impreso con componentes electrónicos ya montados y soldados, lista para su uso en el producto final.
PCA de Interfaz Relevadores	<i>Printed Circuit Assembly</i> (Ensamblaje de Circuito Impreso). Producto electrónico específico que fue objeto de la intervención de mejora.
Parámetros del Proceso	Variables controlables del equipo de soldadura (ej. temperatura del crisol, tiempo de contacto de la boquilla) que definen el perfil térmico.
Placa de Circuito Impreso Ensamblada	Siglas en inglés de <i>Printed Circuit Board Assembly</i> . Es la placa electrónica con todos los componentes soldados e instalados.
Placa de Circuito Impreso	La placa base de material dieléctrico con caminos conductores (pistas) que interconectan los componentes.
Proceso de Intervención	La iniciativa o proyecto estructurado diseñado para analizar, optimizar e implementar cambios en un proceso de manufactura.
Producto Estratégico / Mayor Contribuidor	El producto o proceso que ha sido priorizado por la gerencia para la intervención de mejora, debido a su impacto en los objetivos de negocio o su alta tasa de defectos.
Equipo de Rayos X	Equipo de inspección no destructiva utilizado para verificar la calidad de las uniones de soldadura (especialmente en áreas críticas o componentes complejos), asegurando la integridad interna de la junta y el correcto llenado del barril.
Relé S8	El componente principal identificado como la causa raíz de los defectos debido a la contaminación en sus pines.
Relé de Láminas	Un tipo de interruptor eléctrico que utiliza contactos metálicos (láminas) sellados herméticamente en un tubo de vidrio, activado por un campo magnético.
Rendimiento Histórico	Porcentaje de unidades que cumplen con los requisitos de calidad en el primer intento, antes de cualquier reproceso.

	También conocido como Tasa de Primer Paso (<i>First Pass Yield - FPY</i>).
Retoque Manual	Proceso de corrección de defectos menores en uniones de soldadura mediante el uso de cautines y flux, generalmente en áreas localizadas.
Retrabajo (<i>Rework</i>)	Acción de reparar un producto defectuoso para que cumpla con los estándares de calidad, lo que consume tiempo y recursos.
Retrabajo	La acción de corregir un defecto en un producto no conforme para que cumpla con las especificaciones de calidad, consumiendo tiempo y recursos adicionales.
Retrabajo	Proceso de corrección de defectos mayores en una PCBA después de la producción inicial, que puede implicar el reemplazo de componentes dañados.
ROI (Retorno sobre la Inversión)	Medida financiera utilizada para evaluar la eficiencia de una inversión, comparando el beneficio obtenido con el costo de la inversión.
<i>Scrap</i> (Desperdicio)	Material o producto que es descartado permanentemente porque no puede ser corregido o reprocesado, resultando en una pérdida total del costo de los materiales y la mano de obra invertida.
Soldadura Híbrida	Estrategia de manufactura que combina el uso de la soldadura selectiva automatizada en puntos críticos de alto volumen con la intervención de soldadura manual en puntos específicos de baja accesibilidad o complejidad.
Soldadura Selectiva	Proceso de soldadura automatizado diseñado para soldar componentes en puntos específicos de la tarjeta de circuito impreso, optimizando la precisión y velocidad.
SQE (<i>Supplier Quality Engineering</i>)	Equipo de Ingeniería de Calidad de Proveedores, encargado de gestionar y asegurar que la calidad de las materias primas y componentes externos cumplan con las especificaciones de la organización.
Tarjeta Electrónica Ensamblada	La placa de circuito impreso (PCB) después de que todos los componentes electrónicos han sido soldados y ensamblados.
Tasa de Defectos por Unidad	Métrica clave de calidad que indica el número promedio de defectos encontrados por cada unidad de producto fabricada.

Tecnología de Orificio Pasante	<i>Through-Hole Technology</i> . Componentes que tienen pines que atraviesan los orificios de la PCB y se sueldan en el lado opuesto.
Tiempo de Ciclo	El tiempo requerido para completar un ciclo completo de una operación, desde el inicio hasta el final de una pieza o lote.
UPH (<i>Units Per Hour</i>)	Unidades por Hora. Métrica de productividad que mide la cantidad de productos que se pueden procesar o producir en una hora de trabajo.
Uniones de Soldadura	Las conexiones físicas y eléctricas realizadas con soldadura entre el componente electrónico y la placa. Su calidad define la fiabilidad del producto.
<i>Yield</i> (Rendimiento)	Métrica de calidad que expresa el porcentaje de unidades que pasan la inspección sin defectos ni necesidad de retrabajo, respecto al total de unidades producidas.
