



APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC PARA LA MEJORA CONTINUA DE LOS PROCESOS EN EL LABORATORIO DE PROTOTIPOS DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS

Felipe Vázquez Santos¹
Gabriela Cervantes Zubirías²
Samuel Armando Espinosa Cárdenas³

1. MPY C. Felipe Vázquez Santos de la Universidad Tamaulipeca en Reynosa Tamaulipas
Universidad Tamaulipeca

felipe.vazquez_91@outlook.com

2. Profesora de Tiempo Completo de la Unidad Académica Multidisciplinaria Reynosa- Aztlán de la Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT-Reynosa-Aztlán). * Autor de correspondencia gabriela.cervantes@docentes.uat.edu.mx

* Unidad Académica Multidisciplinaria Reynosa-Aztlán

Universidad Autónoma de Tamaulipas

<https://orcid.org/0000-0002-9912-5035>

gabriela.cervantes@docentes.uat.edu.mx

3. Coordinador de Posgrado de la Universidad Tamaulipeca de Reynosa Tamaulipas

Universidad Tamaulipeca

samuel.espinosa@universidadtamaulipeca.edu.mx

<https://orcid.org/0009-0003-2310-3811>

RESUMEN

La continua transformación de la tecnología y del sector automotriz ha dado lugar a una gran competencia global, en la que las compañías se han esforzado por disminuir los defectos en sus productos para satisfacer elevados estándares de calidad y brindar precios razonables. Esta circunstancia hizo evidente la necesidad de emplear métodos que posibilitaran optimizar los procedimientos productivos y cumplir con las demandas en aumento del mercado. La manufactura electrónica ocupó una proporción importante del mercado mundial, ya que una gran cantidad de personas utilizaban productos electrónicos a diario. En este escenario, se realizó una investigación en una compañía de manufactura electrónica del sector automotriz, más concretamente en el área de prototipos llamada Tecnología de Montaje Superficial (SMT), donde se montaron placas de circuito impreso. El propósito de esta investigación fue la aplicación de herramientas de manufactura esbelta, en especial el Six Sigma con el enfoque DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), para disminuir los desperdicios y optimizar la calidad del proceso productivo. Con esta metodología se detectaron oportunidades principales de mejora en la zona productiva. Como consecuencia, se redujo de manera notable el scrap, que pasó del 30% a un 22%, lo que significó una mejora del 8%. Gracias a esta disminución, se logró mejorar el uso del material de fabricación y satisfacer las necesidades del cliente al proporcionar productos de mejor calidad. Se llegó a la conclusión de que el uso de Six Sigma en el área SMT ayudó de manera efectiva a optimizar los procesos, minimizando los desperdicios y afianzando el sistema de calidad del negocio.

Palabras clave: Calidad, DMAIC, mejora continua, producción, SIX SIGMA

Abstract

The continuous transformation of technology and the automotive sector has led to great global competition, in which companies have strived to reduce defects in their products to meet high quality standards and provide reasonable prices. This circumstance made evident the need to use methods that would make it possible to optimize production procedures and meet the increasing demands of the market. Electronic manufacturing occupied a significant proportion of the global market, as a large number of people used electronic products on a daily basis. In this scenario, research was carried out in an electronics manufacturing company in the automotive sector, more specifically in the area of prototypes called Surface Mount Technology (SMT), where printed circuit boards were assembled. The purpose of this research was the application of lean manufacturing tools, especially Six Sigma with the DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve and Control) approach, to reduce waste and optimize the quality of the production process. With this methodology, the main opportunities for improvement were detected in the productive area. As a result, scrap was significantly reduced, from 30% to 22%, which meant an improvement of 8%. Thanks to this decrease, it was possible to improve the use of manufacturing material and meet the customer's needs by providing better quality products. It was concluded that the use of Six Sigma in the SMT area effectively helped to optimize processes, minimizing waste and strengthening the quality system of the business.

Keywords: Quality, DMAIC, continuous improvement, production, SIX SIGMA

INTRODUCCIÓN

El enfoque Lean es una filosofía de producción derivada del Sistema de Producción de Toyota, cuyo principio fundamental fue suprimir actividades y desperdicios sin valor agregado. Por otro lado, Six Sigma se estableció como una metodología que busca mejorar procesos al disminuir las variaciones, con la finalidad de garantizar productos de calidad superior y reducir defectos. La combinación de ambas metodologías, conocida como Lean Six Sigma, ha sido implementada por muchas empresas en todo el mundo con el objetivo de mejorar la calidad de sus productos y aumentar la eficiencia operativa.

En México, en los últimos años, un número creciente de pequeñas y medianas empresas (Pymes) ha incorporado la metodología Six Sigma como parte de su estrategia de mejora continua. Esta adopción se ha visto motivada por la necesidad de elevar la competitividad, mejorar procesos internos y lograr un ahorro financiero significativo. Dentro de esta metodología, la métrica DPMO (Defectos por Millón de Oportunidades) ha permitido evaluar el desempeño de los procesos respecto a las expectativas del cliente.

La industria electrónica ha desempeñado un papel clave en este proceso de transformación, dada su relevancia en el desarrollo y producción de equipos tecnológicos. Su constante crecimiento ha generado impactos positivos en diversos sectores industriales, favoreciendo una producción más eficiente. De hecho, el mercado de componentes electrónicos registró un crecimiento del 6% en el último año, reflejando un aumento sostenido en la demanda, así como una constante innovación tecnológica.

Este auge se ha visto impulsado por el avance de tecnologías emergentes como la inteligencia artificial, el internet de las cosas, la realidad aumentada y la computación en la nube, las cuales requieren componentes electrónicos cada vez más sofisticados. Asimismo, sectores como el automotriz, salud, industria manufacturera y electrónica de consumo han incrementado su demanda de dispositivos electrónicos, contribuyendo al fortalecimiento del mercado.

En particular, la industria automotriz ha acelerado la integración de sistemas inteligentes, acercándose cada vez más a la conducción autónoma. Tecnologías como los Sistemas Avanzados de Asistencia al Conductor (ADAS), presentes en millones de vehículos, han revolucionado el diseño de automóviles modernos mediante la incorporación de sensores, cámaras y procesadores que requieren una manufactura electrónica de alta precisión.

En este contexto, la presente investigación tuvo como finalidad implementar la metodología DMAIC en un laboratorio de prototipos perteneciente a una empresa automotriz ubicada en Reynosa, con el objetivo de reducir el desperdicio electrónico y mejorar la calidad del producto. Esta empresa, con experiencia en el sector, decidió emprender un proyecto para disminuir el índice de desperdicio (scrap) y optimizar sus procesos internos.

Durante la aplicación de la metodología, se realizaron análisis técnicos para identificar las fallas recurrentes y determinar sus causas raíz, especialmente en los procesos de lanzamiento de nuevos modelos de ensamblaje. Se detectó la necesidad de fortalecer el cumplimiento de normativas de protección electrostática (ESD), ya que los componentes manipulados en el laboratorio son sensibles a descargas eléctricas. Por tanto, se estableció el uso obligatorio de equipo especializado como batas, guantes y taloneras, con el fin de proteger las placas electrónicas (PCBs) y garantizar la calidad del producto.

Las herramientas utilizadas se basaron en el ciclo DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), una metodología centrada en la mejora continua, la gestión de proyectos, el uso de

cronogramas y el análisis estadístico. Este enfoque guarda similitud con el ciclo PDCA (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar), aunque DMAIC proporciona mayor especificidad en cada etapa. Además, se aplicaron técnicas complementarias como los 5 Porqués para profundizar en el análisis de causas raíz.

Casos exitosos como el de Toyota evidencian cómo la implementación adecuada de Lean Six Sigma puede transformar profundamente una organización, mejorar su desempeño operativo y aumentar su competitividad. En este sentido, DMAIC se consolidó como una herramienta eficaz para mejorar procesos, reducir variaciones y elevar la eficiencia en empresas de cualquier tamaño.

Finalmente, el presente documento se estructura de la siguiente manera como primer punto aborda la introducción en el segundo apartado se describe la metodología aplicada; en el tercero, los resultados y discusión del proceso de investigación; en el cuarto, se presentan las conclusiones; y en el último, las referencias bibliográficas.

MARCO TEÓRICO

Metodología Six Sigma

En el presente proyecto se aplicó la metodología Six Sigma como herramienta principal para la solución del problema. Esta metodología, ampliamente utilizada en la industria, se enfoca en la mejora continua de los procesos mediante la reducción de defectos, con el propósito de disminuir tanto el costo de producción como el tiempo de ciclo en las áreas críticas de manufactura. La investigación tuvo como finalidad implementar herramientas de manufactura esbelta junto con Six Sigma para reducir los desperdicios generados en el proceso productivo, específicamente en el área de Tecnología de Montaje Superficial (SMT), donde se detectó la mayor cantidad de defectos. Six Sigma se ha consolidado como un método estructurado y disciplinado orientado a la mejora de procesos, permitiendo a las organizaciones ofrecer productos y servicios consistentes y de alta calidad. Su enfoque sistemático facilita el control de recursos y materiales a través de herramientas estadísticas y de gestión de calidad, garantizando que los resultados estén alineados con las expectativas del cliente.(Cangas Ortega, 2018). La eficacia de Six Sigma radica en su capacidad para identificar, analizar y eliminar las causas raíz de los problemas, promoviendo una cultura organizacional enfocada en la excelencia operativa. Tal como se ha señalado en estudios previos, el éxito de su implementación requiere un compromiso organizacional sólido y estrategias orientadas al mejoramiento continuo a largo plazo, permitiendo a las empresas evolucionar hacia un modelo de excelencia sostenible.(Munro et al., 2007)

DMAIC (metodología principal de Six Sigma)

La meta de cualquier compañía es fabricar generando la menor cantidad de desperdicios o pérdidas Este proceso consiste en identificar las variables críticas para la calidad que impiden que un producto, proceso o servicio cumpla con los requisitos del cliente. A lo largo de cada fase de la metodología, se emplean diversas herramientas de calidad especialmente seleccionadas para asegurar el cumplimiento de los objetivos establecidos, en particular, la reducción al mínimo de la variabilidad asociada a dichas variables . La metodología Six Sigma se fundamenta en cinco principios clave (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) que las organizaciones adoptan como estrategia principal para mejorar la calidad de sus productos. Estos principios son: el enfoque en el cliente, la gestión basada en datos, la mejora continua, la participación del equipo de trabajo, y la reducción de la variabilidad en los procesos.(Benito et al., 2024)

En la investigación de(Nogueira et al., 2023) examino una empresa familiar perteneciente al sector de comercio, utilizando la metodología DMAIC: definir, medir, analizar, mejorar y controlar. Los hallazgos mostraron reclamaciones de los clientes respecto al servicio y procedimientos anticuados

dentro de la entidad. Mediante los hallazgos, se pudo reconocer los problemas que conducen a una mala calidad de servicio y mejoras para el incremento de la recaudación. Las propuestas de intervenciones, unidas a los esquemas de control desarrollados en las fases finales de la metodología, aseguraron una uniformización de las actividades con el fin de incrementar la calidad y prevenir desperdicios

Manufactura Esbelta

La metodología Lean proviene del sistema de producción de Toyota, desarrollado por Taiichi Ohno a mediados del siglo XX, y ha sido adoptada ampliamente en Occidente para optimizar procesos de producción mediante la eliminación de desperdicios y la generación de valor para el cliente.

El término Lean Manufacturing fue popularizado por (Womack et al., 2007) en su obra *The Machine That Changed the World*, donde se introduce el concepto como una evolución del sistema "Just in Time" de Toyota. Lean representa una transformación metodológica y estructurada que permite a las organizaciones crear valor añadido al identificar y eliminar sistemáticamente aquellas actividades que no aportan valor al producto o servicio final.

Esta metodología busca satisfacer plenamente al cliente mediante entregas puntuales, en la cantidad requerida, en el lugar adecuado y al precio justo, utilizando la mínima cantidad de recursos posibles (materiales, tiempo, espacio, trabajo y maquinaria). La filosofía Lean promueve la agilidad organizacional, el cambio del pensamiento tradicional y la acción rápida orientada a la mejora continua.

Importancia de las herramientas de manufactura

La relevancia de las herramientas de manufactura esbelta se explica a partir de su uso para analizar un proceso de fabricación de alarmas, con el objetivo de reducir los costos y la cantidad de retrabajos y desperdicios, así como para mejorar la calidad del producto sus principales objetivos son: Eliminar actividades que no agregan valor al producto o servicio, Mejorar de forma continua para mantener y elevar la calidad, Detectar y solucionar los problemas desde su origen. Y Reorientar el enfoque organizacional hacia la resolución de necesidades del cliente, más allá de la simple venta de productos o servicios.(Montes et al., 2024) como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1

Fases DMAIC

Definir	Medir	Analizar	Mejorar	Controlar
Esta primera etapa o fase del ciclo de mejora continua se encargar de definir el problema esta fase implica definir o describir el problema u oportunidad de mejora	Esta fase se encarga de recolección de datos ya estos ayudaran a identificar	se Al realizar esta fase de análisis se podrán conocer las causas de los errores	Esta fase proporciona las causas de los problemas y se puede identificar, implementar y	Esta última se encarga de determinar si las mejoras se pueden mantener con el tiempo,

métricos del probar una
rendimiento solución

Calidad

El término calidad ha evolucionado desde una simple conformidad con especificaciones hasta convertirse en un enfoque integral que abarca la satisfacción del cliente, la mejora continua y la eficiencia operativa. De acuerdo con (Juran, J. M., & Godfrey, A.B., (1999) la calidad se define como la adecuación para el uso, es decir, la capacidad de un producto o servicio para cumplir con las necesidades del cliente. La calidad como el grado en el que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos. Este concepto se relaciona directamente con la reducción de errores, la eficiencia en los procesos y el cumplimiento de estándares establecidos, siendo un componente esencial de las metodologías Lean y Six Sigma.(ISO 9000, 2015).

En este sentido, la calidad no es un estado estático, sino un objetivo dinámico que requiere monitoreo, evaluación y mejora continua para mantener la competitividad en un mercado globalizado.(Evans& Lindsay, 2020). La calidad, fundamental en un entorno de competencia, asegura la fiabilidad y robustez de los productos/servicios. Su adecuada implementación produce propuestas que satisfacen las expectativas de los clientes. Con el paso del tiempo, en la comunidad de negocios se han investigado métodos intuitivos y estrictos para garantizar la calidad de productos/servicios, tratando tanto la intuición como la sistematización.(Basurto, 2023)

Producción

La producción es el proceso a través del cual los insumos se convierten en bienes o servicios, utilizando para ello recursos, tiempo, mano de obra y tecnología. La producción, consiste en la elaboración de bienes y servicios a través de la modificación de insumos que tienen un valor añadido. La gestión de la producción, desde una perspectiva más estratégica, supone planear, supervisar y mejorar los procesos con el propósito de maximizar la eficacia y satisfacer las exigencias del mercado. Para conseguir una producción flexible, sostenible y centrada en el cliente es esencial incorporar ideas como la mejora continua, la calidad y la disminución de desperdicios. Para optimizar procesos productivos, las metodologías Lean y Six Sigma son enfoques esenciales, porque posibilitan que las compañías funcionen con más rapidez, eficiencia y precisión, eliminando errores y disminuyendo costos de manera sostenible. (Chase, Jacobs & Aquilano, (2009)

Cero defectos

La filosofía de cero defectos se fundamenta en la idea de que, si los procedimientos están bien diseñados y controlados desde el comienzo, es factible producir bienes sin errores. Varios sectores han adoptado esta perspectiva con el objetivo de asegurar una calidad total en sus operaciones. Para disminuir los errores en la línea de producción, empresas como Ford y Stellantis han implementado inteligencia artificial para fortalecer sus sistemas de calidad. Estas compañías han incluido un enfoque de cero defectos como parte de su estrategia operativa (The Wall Street Journal, 2024). De igual manera, el enfoque tiene como objetivo evitar los errores en vez de corregirlos, disminuyendo así significativamente los costos vinculados a productos defectuosos o al retrabajo(Kajal, 2022)

Desperdicio (Scrap)

La tecnología de montaje superficial (SMT) es el método dominante en la fabricación de dispositivos electrónicos, ya que permite ensamblar componentes directamente sobre la superficie de las placas de circuito impreso (PCBs), eliminando la necesidad de perforaciones. Este proceso incluye

varias etapas automatizadas, como la aplicación de pasta de soldadura, la colocación de componentes (pick and place), la soldadura por reflujo y las inspecciones ópticas o mediante rayos X. (Gunraj et al., 2022). El uso de inteligencia artificial en procesos SMT ha mejorado notablemente la detección de defectos y el control de calidad. Además, otros estudios recientes confirman que la implementación de modelos predictivos basados en IA mejora el rendimiento y la confiabilidad del ensamblaje SMT en entornos industriales (Ghahramani et al., 2020).

Descripción de la Metodología

La investigación se desarrolló bajo un enfoque aplicado y cuantitativo, utilizando la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) con el objetivo de optimizar los procesos en el laboratorio de prototipos de componentes electrónicos. Se recolectaron datos en el área de SMT mediante observación directa, análisis de registros históricos y mediciones de parámetros críticos. Las herramientas estadísticas y de calidad utilizadas incluyeron diagramas de causa-efecto, gráficos de control, análisis de Pareto y estudios de capacidad del proceso, lo que permitió identificar oportunidades de mejora y reducir los niveles de scrap en la línea de producción.

En esta investigación se inspeccionó detalladamente el proceso de SMT, ya que es un proceso que requiere mucho cuidado. Se realizaron estudios para identificar las fallas más comunes en el proceso, lo que nos permitió detectar problemas en los equipos. Estas fallas eran intermitentes, lo que dificultaba obtener un patrón estable. Como resultado, se observó un promedio de fallas que afectaba entre el 30% y el 35% de la producción durante un turno de 12 horas como se muestra en la figura 1.

Diseño Metodológico DMAIC

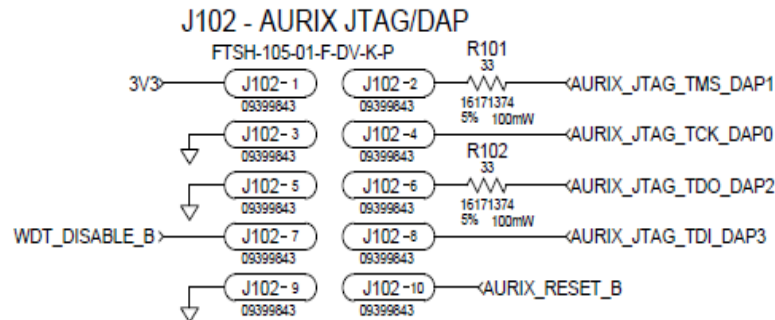
La presente investigación aplicó el ciclo DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), propio de la metodología Six Sigma, con el objetivo de reducir el nivel de scrap y mejorar la calidad del proceso en el laboratorio de prototipos de componentes electrónicos, específicamente en el área de montaje superficial (SMT).

1. Definir

Durante esta primera fase de la metodología, se verificaron los porcentajes de fallas en los equipos de pruebas. Se analizaron los datos obtenidos y se identificaron los productos en los que se presentaban problemas de comunicación. Al examinar las señales a través de los circuitos eléctricos de la tarjeta y compararlas con el diagrama, se observó que la mayoría de las señales se dirigían directamente a un BGA (Ball Grid Array), a través del cual se comunicaban mediante un conector para la programación de la tarjeta, como se muestra en la Figura 1.

Figura 1

Conector de comunicación.

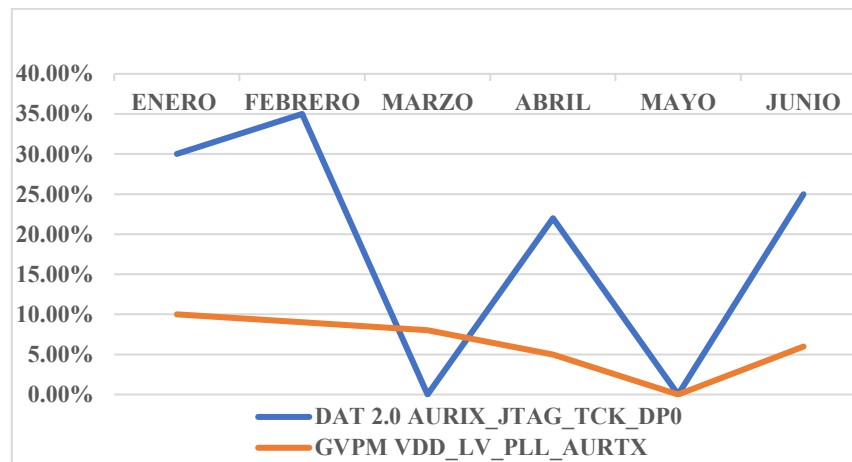


El producto el cual se analizó es el ECU ya que el más costoso de la producción seguido de otros modelos los cuales igual presentaban un problema similar de comunicación la señal en la cual se presentaba la falla era AURIX_JTAG_TCK_DAP0 (DAT 2.0) y VDD_LV_PLL_AURTX (GVPM) esta comunicación se realizaba a través de un conector J102 el cual al realizar unas pruebas en el equipo de ICT fallaban de comunicación como se observa en la Figura 2 donde se obtuvieron los modelos el porcentaje de fallas más críticos de cada mes el cual superaban el porcentaje aceptable de la compañía el cual era el 4% de aceptación total de fallas.

En esta fase se identificó el problema central: el aumento de productos defectuosos (scrap) generados durante el ensamblaje de placas electrónicas en el área de SMT. Se delimitó el alcance del proyecto a un tipo de producto específico de reciente lanzamiento y a una celda de trabajo determinada. Asimismo, se establecieron los objetivos del proyecto, los requerimientos del cliente interno y los indicadores clave de desempeño (KPIs), como porcentaje de scrap, tiempo de ciclo y eficiencia del proceso.

Figura 2

Fallas eléctricas en Test.



2. Medir

Se realizó la recopilación de datos históricos sobre niveles de scrap durante los últimos tres meses en el laboratorio de prototipos. Se utilizaron hojas de verificación, reportes de producción y registros de fallas por lote. Con esta información, se estableció la línea base del proceso y se identificaron las principales categorías de defecto. Se aplicaron herramientas como diagramas de Pareto y mapas de procesos para cuantificar los puntos críticos.

Una vez que se tomaron los datos de las fallas en el equipo de pruebas eléctricas se realizó un gráfica de costos por scrap como se observa en la Figura 3 en cuál se muestran los modelos como mayor impacto al momento de realizarlos scrap todos son del modelo (ECU DAT2.0) solo que se derivan de versiones hasta detectar en que tiene mayor costo debido a las fallas producidas en la línea de producción se decidió optar por este modelo para así poder reducir las fallas y también el mayor porcentaje de scrap.

Durante esta fase se evaluaron los costos generados por el scrap en el laboratorio de prototipos, priorizando los modelos que presentaban mayores niveles de rechazo. Los datos revelaron un incremento progresivo en las pérdidas económicas cada vez que se realizaba una corrida de producción sin realizar acciones de contención ni reparaciones en las tarjetas defectuosas. Esta situación era inaceptable para el cliente, quien estableció como requisito la no aceptación de PCBs con fallas eléctricas sin reparación previa.

Ante este panorama, se propuso una solución temporal que consistía en llevar a cabo reparaciones provisionales mientras se avanzaba en el análisis de causa raíz. Esta estrategia permitió recuperar parte del material defectuoso, contener el scrap y evitar aumentos adicionales en los costos. El cliente aprobó la medida con la finalidad de enviar el producto a pruebas eléctricas y funcionales sin comprometer la calidad ni los tiempos de entrega.

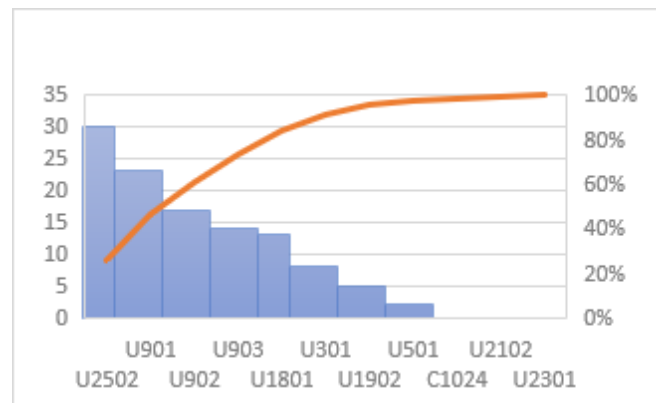
Las reparaciones se realizaron en una estación de retrabajo equipada con herramientas especializadas y certificaciones técnicas avaladas por el cliente. El área contaba con maquinaria específica para la manipulación de componentes sensibles como los BGA (Ball Grid Array) y QFN (Quad Flat No-lead), asegurando un proceso controlado y conforme a los estándares de calidad.

Figura 3
Equipo de reparación de Componentes SMT.



En la Figura 4 se muestra la tendencia de componentes reparados del LADO 1 (TOP) el componente con mayor cantidad de reparación es en una producción de 200 piezas nos generó muchos defectos los cuales estos componentes comparten el defecto de cortos.

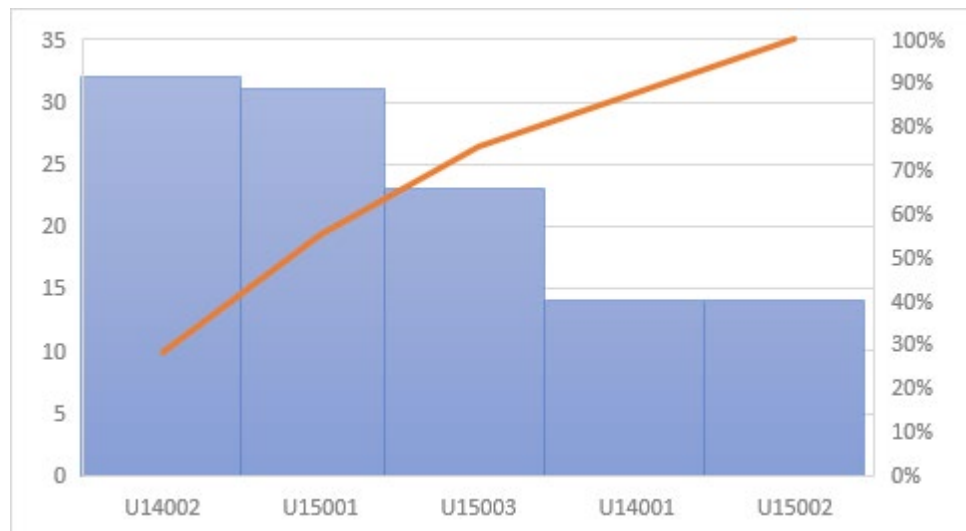
Figura 4
Componentes Reparados DAT 2.0 L1.



En la figura 5 solo que esta se muestra del lado 2 (BOTTOM). De estos componentes reparados los cuales fue una producción de 200 piezas las cuales en las que se trabajaron fueron 65 piezas el cual unas de ellas tenían más de 4 defectos.

Figura 5

Componentes Reparados DAT 2.0 Lado 2.

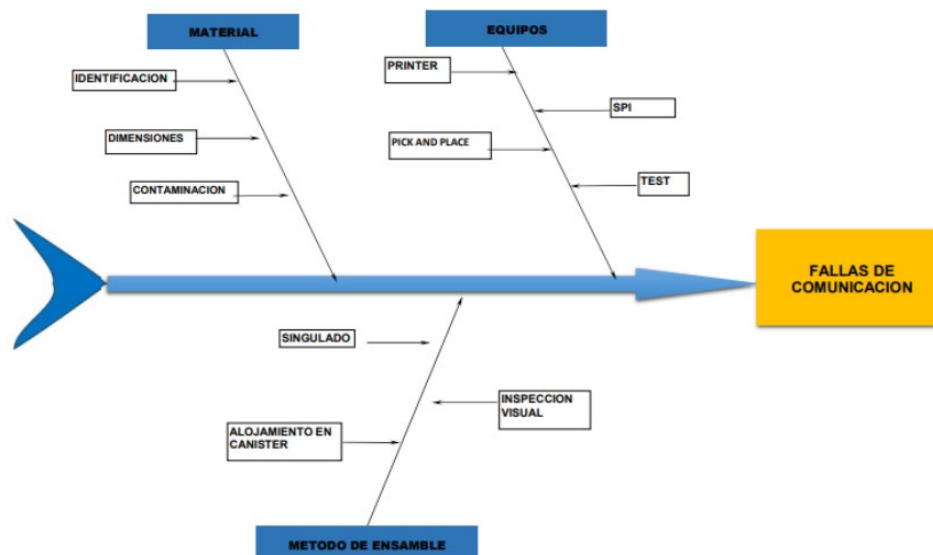


3. Analizar

Durante esta fase, se analizaron las causas raíz de los defectos utilizando herramientas como el diagrama de Ishikawa. Los resultados señalaron que la principal causa de scrap estaba relacionada con la manipulación incorrecta de las PCB, la falta de protección ESD adecuada y la variación en la aplicación de pasta de soldadura como la falla de comunicación. como se muestra en la figura 6.

Figura 6

Diagrama ISHIKAWA.



Así como se realizó una tabla de actividades con las posibles causas de fallas y otros problemas que se producían en la línea de producción, esta Tabla 2 ayuda a identificar los problemas presentados dentro del laboratorio, pero de igual manera ayudara a realizar correcciones para así disminuir en nuestro proceso de producción.

Tabla 2

Actividades para detección de posibles causas

Posibles Causas	Actividades para realizar
MATERIAL	Identificaciones. Dimensiones. Contaminación.
MÉTODO DE ENSAMBLE	Singulado. Alojamiento en Canister Inspección Visual
EQUIPOS	Printer. SPI. Pick and place. Test

4. Mejorar

Se diseñaron e implementaron mejoras específicas: capacitación al personal en el uso de equipo ESD, mejora del layout del área de trabajo, control de parámetros de la impresora de pasta y mantenimiento preventivo en las máquinas pick and place. Estas acciones se validaron mediante pruebas piloto durante dos semanas. Los resultados mostraron una reducción del scrap del 28% al 8% en el área intervenida. Una vez identificadas las causas raíz de los problemas en el proceso de producción, se determinó que los principales equipos implicados eran la impresora de pasta (Printer) y la máquina de montaje automático (Pick and Place). Ambos fueron inspeccionados para detectar variaciones en su funcionamiento, y con base en los hallazgos, se realizaron ajustes en el proceso, incluyendo calibraciones y mantenimientos programados, con el fin de disminuir los errores recurrentes y, por consecuencia, reducir el nivel de scrap.

En particular, se intervino el equipo de impresión de pasta identificado como el principal responsable de los defectos relacionados con cortos por exceso de soldadura en el modelo GVPM, específicamente en la línea de comunicación VDD_LV_PLL_AURTX. Para controlar el volumen de pasta depositado en cada pad, se rediseñó el stencil (plantilla metálica utilizada para aplicar soldadura en pasta) incorporando una solución tipo step stencil. Este tipo de plantilla escalonada permite ajustar el grosor del stencil en áreas específicas, optimizando el depósito de soldadura según el tipo de

componente SMT (Surface Mount Technology). Los componentes SMT grandes requieren mayor volumen de soldadura, por lo que se necesita una sección más gruesa del stencil; mientras que los componentes más pequeños requieren menos soldadura y mejor precisión, por lo que se usaron secciones más delgadas. Esta estrategia permitió mejorar el control del volumen aplicado, evitando puentes de soldadura y defectos por exceso de material.

Como resultado de esta modificación, se redujo significativamente la cantidad de soldadura aplicada en las áreas críticas. El grosor del stencil fue ajustado entre 0.006" y 0.010" pulgadas, lo que ayudó a mantener una transferencia precisa sin afectar la calidad del ensamblaje. Para validar estos ajustes, se utilizaron los parámetros del sistema SPI (Solder Paste Inspection), el cual calculó automáticamente el volumen y la altura ideal de la pasta depositada en función de los nuevos valores del stencil. Esta acción contribuyó de forma directa a la disminución del scrap en el proceso de salida de SMT.

En este equipo se identificó la causa raíz de las fallas de comunicación en el modelo AURIX_JTAG_TCK_DAP0 (DAT 2.0) y se detectaron excesos de soldadura ocasionados por la máquina Pick and Place, la cual, al colocar el componente, bajaba más de lo debido. Durante la liberación del componente mediante las boquillas del cabezal, este entraba en contacto directo con la pasta de soldadura previamente aplicada, generando un corto circuito en una de las esquinas del componente.

Este defecto era intermitente, lo que dificultaba su detección inmediata, ya que no se presentaba de forma constante en cada corrida de producción. Sin embargo, tras varios análisis y verificaciones utilizando el equipo de inspección por rayos X, se logró identificar con claridad la recurrencia del defecto asociado a este componente en particular.

Como medida correctiva, se desarrollaron programas de inspección específicos dentro del sistema de control de calidad, orientados a la detección temprana de este tipo de falla. Estos programas permitieron aislar el problema de manera precisa, reduciendo la incidencia de defectos y contribuyendo de forma significativa a la mejora del proceso en la línea SMT. Ver figura 7 y 8.

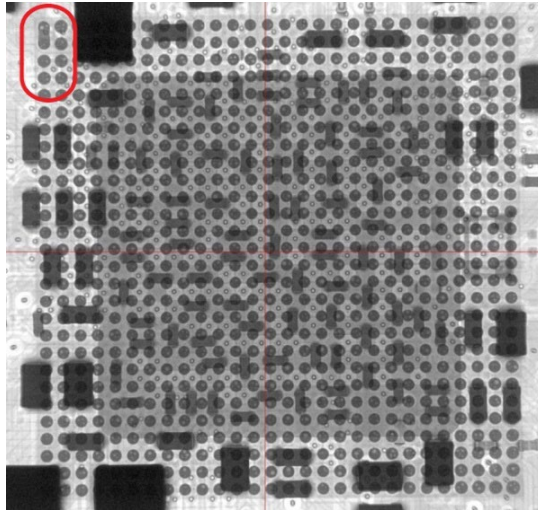
Figura 7

Pick And Place



Figura 8

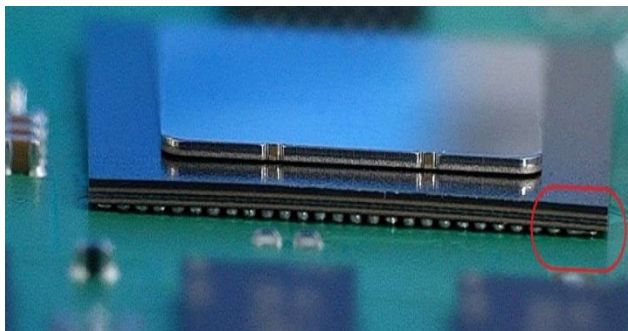
BGA corto vista Rayos X.



Esta falla se realizaron 100 piezas que pasaron por ese proceso y el cual 60 piezas presentaban esta misma condición lo cual se determinó realizar verificaciones con el equipo de rayos x como se muestra en la imagen Fig.65. Con este problema que se generó la esfera de soldadura se debe al cabezal que bajo más del límite que era de 3mm ya que con la modificación de altura de la pasta de soldar afecto la distancia al momento de poner el IC en la Pcb ya que estaba golpeado la pcb y bajo hasta 2 mm y eso género que el material de producción saliera con defectos (Cortos) como se muestra en la figura 9.

Figura 9

Corto en BGA.



Como medida de contrarrestar estas fallas que se registraron en las pruebas mencionadas anteriormente se realizaron calibraciones y mantenimientos a los cabezales del equipo pick and place ya que como se comentaron desde que se obtuvieron estos equipos del otro laboratorio nunca se habían realizado mantenimientos ni calibraciones de cada uno de ellos con eso se propuso mejorar la inspección y mantenimiento de estos equipo cada semana para reducir fallas en el proceso como se observan las imágenes se limpiaron los mecanismos de los cabezales y boquillas de cada uno de los equipos.

El tiempo total del mantenimiento de un solo equipo el cual solo tiene un cabezal tardo 10 horas de turno ya que son equipos delicados y piezas pequeñas se quitaron completamente como se observan en las imágenes Figura 10 y 11, se requieren de herramientas y químicos especiales en este caso se aplica grasa con la cantidad correcta entre los componentes metálicos Figura 12 para realizar este proceso una vez terminado se deben realizar ajustes con un torquímetro para que los tornillos queden ajustados como requiere el fabricante. Figura 13.

Figura 10

Cabezal de pick and place.

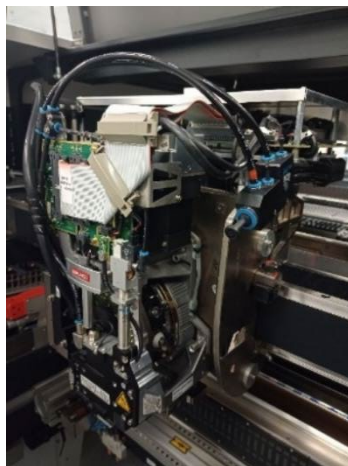


Figura 11

Boquillas de cabeza.

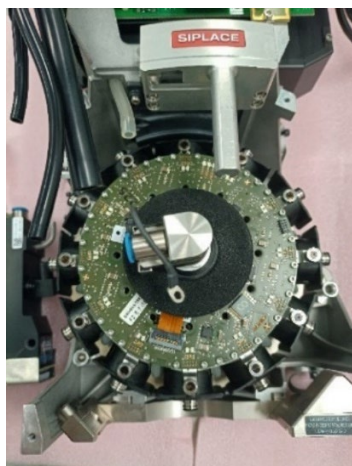


Figura 12

Colocación de grasa en mecanismo.



Figura 13

Ajuste con torquímetro a 0.85Nm.



5. Controlar

Para asegurar la sostenibilidad de las mejoras, se estableció un plan de control que incluye inspecciones regulares, checklist de verificación ESD, auditorías de proceso y gráficos de control para el seguimiento de defectos por lote. Además, se implementó un sistema de retroalimentación entre operarios y supervisores para reportar desviaciones de forma oportuna. Se designó un responsable del seguimiento del proyecto durante tres meses posteriores a la implementación. Este diseño metodológico permitió estructurar de forma sistemática la mejora del proceso, basándose en datos reales y aplicando herramientas reconocidas de la manufactura esbelta y Six Sigma. Como resultado, se logró no solo una reducción significativa de scrap, sino también una mayor estandarización de los procedimientos operativos.

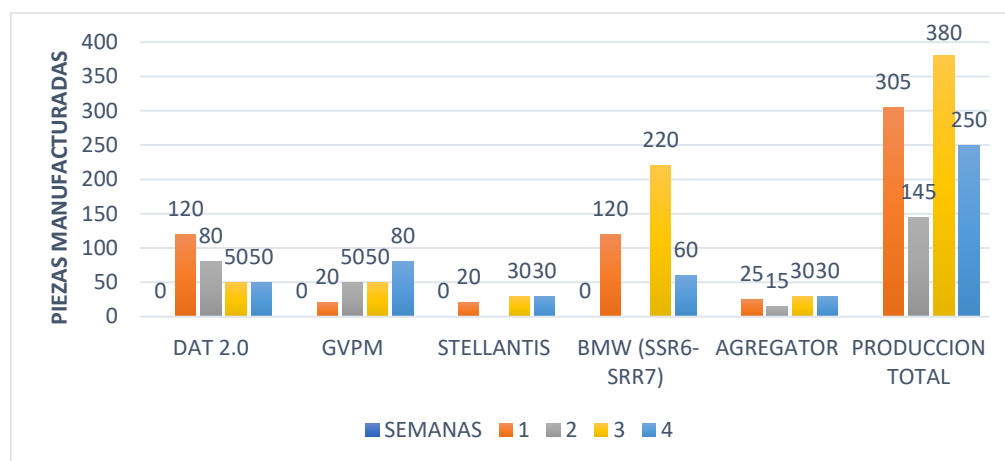
Población y Muestra

La población objeto de estudio estuvo conformada por todos los productos electrónicos ensamblados en el laboratorio de prototipos de la empresa, específicamente en la línea de montaje superficial (SMT), durante un periodo de tres meses. Esta población incluyó diversas versiones de placas de circuito impreso (PCBs) correspondientes a modelos automotrices en fase de desarrollo.

Para la recolección de datos, se obtuvieron muestras aleatorias de 100 piezas producidas semanalmente. Dado que se trabaja con diferentes modelos, se seleccionaron aleatoriamente piezas de producción de tres modelos que se trabajaron durante esa semana. Es importante mencionar que hay modelos que no requieren pruebas eléctricas, como se observa en la Figura 14.

Figura 14

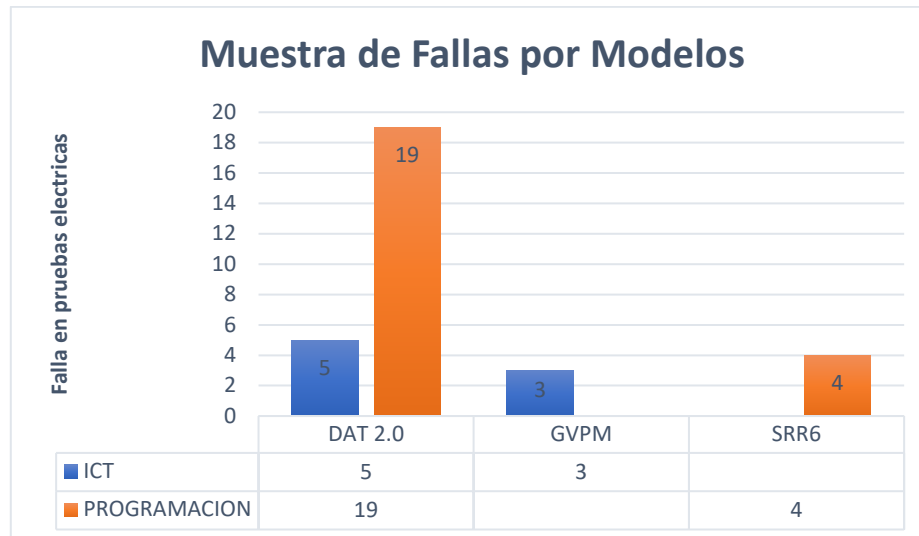
Datos Producción Enero 2022



A continuación, se observa que la mayoría de los defectos en las fallas de programación corresponden al modelo DAT 2.0, como se muestra en la Figura 15. Este modelo no se fabrica en su totalidad debido a su alto nivel de producción, ya que las piezas se ensamblan de acuerdo con los requerimientos del cliente. Sin embargo, dado que este modelo es el más costoso en nuestro sistema de producción, su incremento en el scrap tiene un impacto significativo.

Figura 15

Muestra de Fallas Eléctricas.



Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos aplicados en esta investigación fueron, Hojas de verificación, Checklists de inspección, Bases de datos de producción, Registros de scrap. Las herramientas de análisis diagrama de causa-efecto, análisis de Pareto, histogramas, gráficos de control y AMEF (Análisis Modal de Efectos y Fallos).

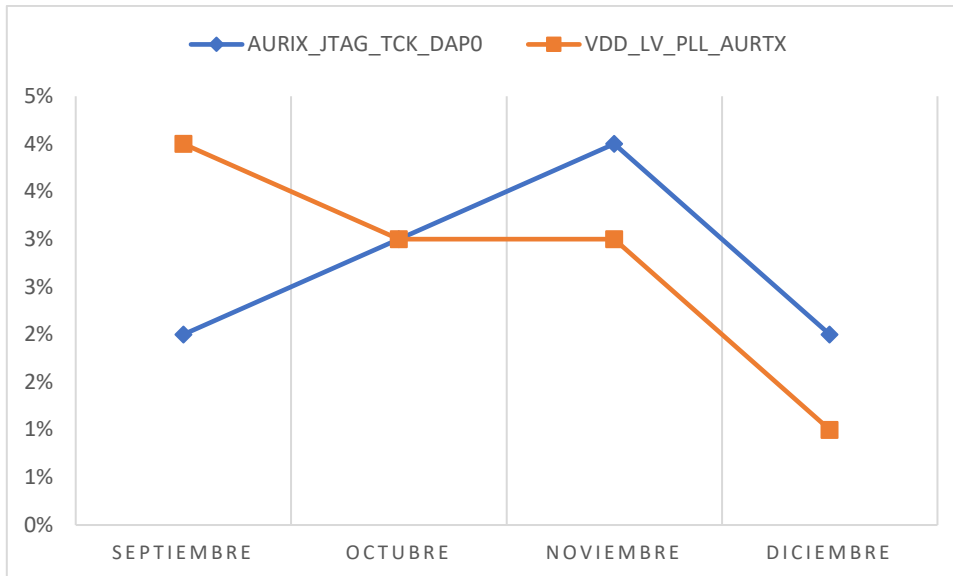
Cabe mencionar que la investigación se organizó considerando las etapas de acuerdo al ciclo de DMAIC y las limitaciones que se presentaron fueron tiempo limitado, acceso a ciertos datos y la dependencia de los turnos u operarios.

RESULTADOS

Tras la implementación de la metodología DMAIC en el laboratorio de prototipos, se logró una reducción significativa del scrap generado durante el proceso de ensamblaje SMT. Al comparar los datos antes y después de las mejoras, se evidenció una disminución del nivel de desperdicio del 28% al 8%, específicamente en los modelos ECU DAT 2.0, que presentaban fallas intermitentes por cortos en zonas críticas como VDD_LV_PLL_AURTX y AURIX_JTAG_TCK_DAP0. Las modificaciones técnicas aplicadas al stencil (step stencil) y los ajustes en la calibración del equipo Pick and Place permitieron controlar el volumen de soldadura en pasta y mejorar la precisión del montaje. Además, con la integración de herramientas de inspección, se validó la efectividad de las acciones correctivas implementadas. Se obtuvo una mejora sustancial en la calidad del producto, reflejada en la reducción de retrabajos, disminución de tiempos de ciclo y cumplimiento con los estándares exigidos por el cliente.

Finalmente, como se muestra en la figura 16 se observa la tendencia mensual luego de haber implementado en la línea de producción de SMT la mejora y propuesta por los ingenieros de cada área el porcentaje de falla en el equipo de prueba eléctrica ya que se encontraba arriba del 40 % es un gran trabajo en equipo lo que se logró a través de la investigación y dedicación de cada uno de los miembros del equipo de trabajo.

Figura 16
Mejora del Porcentaje de fallas de MODELO DAT y GVPM.



DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos tras la implementación de la metodología DMAIC coinciden con los hallazgos de investigaciones previas que demuestran su efectividad en la mejora de procesos industriales complejos. Según (Benito et al., 2024) una de las principales fortalezas del enfoque DMAIC radica en su capacidad para identificar variables críticas que afectan directamente la calidad del producto, lo cual fue evidente en este estudio al detectar que el exceso de pasta de soldadura y errores de colocación causaban cortos en los componentes del modelo **ECU DAT 2.0**. Esta interpretación es congruente con los principios de calidad propuestos por Crosby (Basurto, 2023), quien enfatiza que el enfoque "cero defectos" comienza con la prevención de fallas desde el origen del proceso, lo que se logró al rediseñar el **stencil** e implementar mantenimiento preventivo a los equipos.

Asimismo, el uso de herramientas como la inspección SPI y rayos X, tal como recomienda la literatura técnica en manufactura SMT (What Are Step Stencils, 2021), permitió validar de manera cuantitativa y visual las mejoras implementadas, apoyando la reducción del **scrap** de un 28% a un 8%. Este resultado reafirma lo planteado por autores como (Nogueira et al., 2023) quien destaca que la integración de tecnología de inspección avanzada dentro del ciclo DMAIC incrementa la precisión del análisis y la efectividad de las acciones correctivas.

Por otra parte, el comportamiento intermitente de la falla y su difícil detección inicial se alinea con lo expuesto por quien argumenta que los procesos en prototipado presentan un alto grado de incertidumbre y requieren metodologías robustas y adaptables para lograr mejoras sostenidas. En este caso, la fase de análisis fue esencial para adaptar las soluciones a las condiciones reales del proceso y no solo a las variables teóricas.

Finalmente, la participación del cliente en la toma de decisiones, validando reparaciones temporales mientras se resolvía el problema de raíz, coincide con el principio de enfoque al cliente de Six Sigma, donde la satisfacción del usuario final y la entrega de un producto funcional en tiempo y forma son prioridades clave (Safety Culture, 2024). Esta colaboración permitió mantener la continuidad del proceso sin comprometer la calidad, fortaleciendo así el concepto de mejora continua y relación cliente-proveedor como eje estratégico.

CONCLUSIÓN

La presente investigación demostró que la aplicación de la metodología DMAIC dentro del laboratorio de prototipos de componentes electrónicos fue altamente efectiva para mejorar la calidad del proceso de ensamblaje SMT y reducir los niveles de desperdicio, específicamente el scrap derivado de fallas intermitentes relacionadas con el exceso de soldadura y errores de colocación de componentes críticos.

Desde la fase de definición, se logró establecer con claridad el problema principal: un incremento considerable en el porcentaje de scrap generado por cortos eléctricos en placas del modelo ECU DAT 2.0, lo que impactaba directamente en los costos operativos y en la satisfacción del cliente. A lo largo del ciclo DMAIC se logró un abordaje estructurado y progresivo que permitió no solo identificar las causas raíz del problema, sino también proponer, implementar y controlar soluciones sostenibles y medibles.

Durante la fase de medición, se recopilaron datos clave que evidenciaron los modelos y procesos más afectados, permitiendo priorizar esfuerzos de mejora. Posteriormente, en la fase de análisis, se utilizó tecnología de inspección avanzada como SPI y rayos X, lo que facilitó la identificación precisa de defectos ocultos y la validación de hipótesis. En la etapa de mejora, se aplicaron acciones correctivas técnicas como el rediseño del stencil (step stencil), ajustes de parámetros en el equipo Pick and Place, y la ejecución de mantenimientos preventivos, lo cual derivó en una reducción del scrap del 28% al 8%. Finalmente, en la fase de control, se estandarizaron los cambios y se documentaron las buenas prácticas, asegurando la sostenibilidad del proyecto.

Los hallazgos son consistentes con estudios previos que demuestran la efectividad de Six Sigma y la manufactura esbelta como herramientas para optimizar procesos, reducir variaciones y entregar productos con mayor valor agregado. Esta investigación también reafirma que, en entornos de alta variabilidad como los laboratorios de prototipos, la implementación de metodologías estructuradas es crucial para lograr mejoras cuantificables.

Además, un aspecto clave de esta experiencia fue la colaboración activa con el cliente, lo que permitió tomar decisiones conjuntas y adoptar soluciones temporales mientras se atacaba el problema de fondo. Esta estrategia no solo evitó pérdidas mayores, sino que fortaleció la relación comercial y demostró que la calidad también se construye a través de la comunicación y la adaptabilidad.

En conclusión, este estudio no solo logró los objetivos planteados reducir scrap, mejorar la calidad y optimizar el proceso SMT, sino que dejó como resultado un modelo replicable de mejora continua basado en datos reales, alineado con las exigencias de la industria electrónica automotriz. Se recomienda aplicar esta misma metodología a otros procesos con alto índice de defectos, así como continuar desarrollando sistemas de monitoreo en tiempo real que permitan detectar desviaciones de manera oportuna, fomentando así una cultura organizacional orientada a la excelencia operativa.

REFERENCIAS

- Basurto_GM.pdf*. (s. f.). Recuperado 9 de agosto de 2025, de https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/671452/Basurto_GM.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Benito, G. A., Avila-Martinez, B., & Franco-Austria, E. (2024). Implementación de DMAIC para la reducción de Scrap: Un caso de estudio. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 12, 24-31. <https://doi.org/10.29057/icbi.v12iEspecial3.13169>
- Cangas Ortega, K. (2018). *Análisis de defectos eléctricos en productos con tecnología BGA y medidas de control para reducir el scrap en Skyworks Solutions Mexicali* [Thesis, STI]. <https://repositorio.cetys.mx/handle/60000/1103>
- Caso de Éxito de Lean Six Sigma en Toyota: Un Camino Hacia la Excelencia Operativa*. (s. f.). Recuperado 16 de mayo de 2024, de <https://es.linkedin.com/pulse/caso-de-%C3%A9xito-lean-six-sigma-en-toyota-un-camino-hacia-andy-reyna>
- Evans, J., & Lindsay, W. (2020). *Managing for Quality and Performance Excellence*. Cengage. - References—Scientific Research Publishing. (s. f.). Recuperado 9 de agosto de 2025, de <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=3234920>
- Gunraj, H., Guerrier, P., Fernandez, S., & Wong, A. (2022). *SolderNet: Towards Trustworthy Visual Inspection of Solder Joints in Electronics Manufacturing Using Explainable Artificial Intelligence* (No. arXiv:2211.10274). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2211.10274>
- ISO 9000:2015*. (s. f.). ISO. Recuperado 9 de agosto de 2025, de <https://www.iso.org/standard/45481.html>
- Kajal. (2022, septiembre 6). Zero Defects Approach in Six Sigma—| Unichrone. *Unichrone Blog*. <https://unichrone.com/blog/quality-management/zero-defects-approach-in-six-sigma/>
- Montes, A. C., Vilches, S. G., Acosta, M. L., & Cantú, J. M. V. (s. f.). Aplicación de Herramientas de Manufactura Esbelta en un proceso de fabricación de alarmas.: Application of Lean Manufacturing Tools in an Alarm Manufacturing Process. *Revista de Investigación Académica Sin Frontera: Facultad Interdisciplinaria de Ciencias Económicas Administrativas - Departamento de Ciencias Económico Administrativas-Campus Navojoa*, 41. <https://doi.org/10.46589/riasf.vi41.651>
- Munro, R. A., Maio, M. J., Nawaz, M. B., Ramu, G., & Zrymiak, D. J. (2007). The Six Sigma Green Belt Handbook. *Wisconsin: ASQ*, 98.
- Nogueira, J., Alvarenga, S. M., & Costa, A. C. C. (2023). Metodología DMAIC: Um estudo de caso para uma lanchonete no interior do estado do Rio de Janeiro. *Cadernos de Gestão e Empreendedorismo*, 11(2), 68-85. <https://doi.org/10.32888/cge.v11i2.57975>
- (*The Wall Street Journal*, 2024). (s. f.). Recuperado 9 de agosto de 2025, de <https://www.wsj.com/business/american-manufacturers-seek-perfection-as-quality-issues-mount-6883d6b8>
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (2007). *The machine that changed the world: The story of lean production—Toyota's secret weapon in the global car wars that is now revolutionizing world industry*. Simon and Schuster. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=9NHmNCmDUUoC&oi=fnd&pg=PR7&dq=Womack,+J.+P.,+Jones,+D.+T.,+%26+Roos,+D.+\(1990\).+The+Machine+That+Changed+the+World:+The+Story+of+Lean+Production.+Harper+Perennial.&ots=UihxdkT2fc&sig=y5uZLPLmYmQLGoXLmx-H8JNFRvc](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=9NHmNCmDUUoC&oi=fnd&pg=PR7&dq=Womack,+J.+P.,+Jones,+D.+T.,+%26+Roos,+D.+(1990).+The+Machine+That+Changed+the+World:+The+Story+of+Lean+Production.+Harper+Perennial.&ots=UihxdkT2fc&sig=y5uZLPLmYmQLGoXLmx-H8JNFRvc)

- Sarah L. (Febrero de 2024) Six Sigma: todo lo que necesitas saber sobre esta metodología de mejora de procesos [Publicación en página web] <https://asana.com/es/resources/six-sigma>
- Selco Electrónica (Febrero 2024) El mercado de la electrónica volvió a crecer en 2023 Obtenido de pagina web <https://electronicaselco.com/el-mercado-de-la-electronica-volvio-a-crecer-en-2023/#:~:text=El%20mercado%20de%20la%20electr%C3%B3nica%20volvi%C3%B3%20a%20crecer%20en%202023%20%2D%20Electr%C3%B3nica%20Selco&text=%C2%BFSab%C3%ADas%20que%20el%20mercado%20de,6%25%20en%20el%20%C3%BAltimo%20a%C3%B1o%3F>
- Secretaria de Economía (Marzo 2024) Equipos Eléctricos, Electrónicos [Publicación en página web] <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/product/electrical-electronic-equipment?sourceTradeBalance=seOption&timeNetTradeSelector=Month>
- Secretaria de Economía (Marzo 2024) Fabricación de Componentes Electrónicos [Publicación en página web] <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/industry/semiconductor-and-other-electronic-component-manufacturing?redirect=true>
- Secretaria de Economía (Marzo 2024) Partes y Accesorios de Vehículos Automotores [Publicación en página web] <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/industry/semiconductor-and-other-electronic-component-manufacturing?redirect=true>
- Samar J. (Octubre 2020) Desde los sistemas ADAS hasta el vehículo totalmente autónomo. [Publicación en página web] <https://movilidadconectada.com/2020/10/16/desde-los-sistemas-adas-hasta-el-vehiculo-totalmente-autonomo/>
- Reyna A. (Agosto 2023) *Caso de Éxito de Lean Six Sigma en Toyota: Un Camino Hacia la Excelencia Operativa*. Publicación en pagina <https://es.linkedin.com/pulse/caso-de-%C3%A9xito-lean-six-sigma-en-toyota-un-camino-hacia-andy-reyna>
- Castillo López, M., Romero Sánchez, E., y Mínguez Vallejos, R. (2022). El método fenomenológico en investigación educativa: una revisión sistemática. *Latinoamericana de Estudios Educativos*, 18(2), 241–267. <https://doi.org/10.17151/rlee.2023.18.2.11>
- Safety Culture (15 ene 2024) Cómo el método DMAIC puede ayudar a su empresa a mejorar su rendimiento [Artículo en página web] <https://safetyculture.com/es/temas/dmaic/>
- Juliano N., Samia M.(2023) Metodología DMAIC [Publicación en página web] <https://periodicos.uff.br/cge/article/view/57975>
- Cervantes, G; Morales M, y Alva L. (2022) Reducción de desperdicios a través de la implementación de herramientas de manufactura esbelta (Mejora continua) Localización: 593 Digital Publisher CEIT, ISSN-e 2588-0705, Vol. 7, (Ejemplar dedicado a: Special Edition), págs. 247-264 <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8499369>

Basurto G, Milagros A., Maturana R. (2023) Modelo de gestión, aseguramiento y control de calidad para eliminar los productos no conformes aplicando cero defectos en una empresa metalmecánica Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas [https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/671452/Basurto_G M.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/671452/Basurto_G_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Safety Culture (2024) Cómo el método DMAIC puede ayudar a su empresa a mejorar su rendimiento [En línea]. Disponible en: <https://safetyculture.com/es/temas/dmaic/#qu-es-dmaic>

Varela Pérez, J., López Ortega, A. G., Franco Camargo, A., & García Morales, B. Y. (2023). Aplicación de la metodología DMAIC para mejorar el proceso de fabricación de reguladores en la industria automotriz. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 7(1), 3885-3902. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4699