

CAPÍTULO VII

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PFMEA COMO HERRAMIENTA PARA EL CONTROL DE LOS NPI'S EN LA INDUSTRIA MANUFACTURERA

<https://doi.org/10.47212/tendencias2026vol.xxix.8>

Itzel Angelica García Mendoza

Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Email: GAMI052902@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6075-7396>.

Luis Asunción Pérez Domínguez

Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Email: luis.dominguez@uacj.mx, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2541-4595>

Lázaro Rico Pérez

Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Email: larico@uacj.mx, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0154-9073>

Roberto Romero López

Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Email: rromero@uacj.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0859-327X>

David Luviano Cruz

Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Email: david.luviano@uacj.mx , ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4778-8873>

Resumen

El presente estudio aborda la introducción de nuevos productos (NPI), considerada una etapa relevante dentro de la industria manufacturera electrónica debido al incremento de riesgos asociados a nuevos diseños y configuraciones de proceso. El objetivo de la investigación fue aplicar la metodología PFMEA en conjunto con el método Preference Selection Index (PSI) para apoyar la priorización y gestión de riesgos en procesos NPI del área de Surface Mount Technology (SMT). La investigación se desarrolló mediante un enfoque cualitativo con alcance descriptivo a través de un estudio de caso en una empresa manufacturera de tabllas electrónicas ubicada en Ciudad Juárez, México. Inicialmente se identificaron los modos de falla potenciales mediante PFMEA y posteriormente se utilizó PSI para disminuir la subjetividad en la evaluación del Número de Prioridad de Riesgo (RPN). Los resultados permitieron identificar a la Inspección óptica automatizada (AOI) como una operación crítica, evidenciando que la integración PFMEA-PSI contribuye a fortalecer la toma de decisiones y la gestión preventiva en entornos de manufactura electrónica.

Palabras clave: PFMEA, NPI, SMT, PSI, gestión de riesgos, manufactura electrónica.

APPLICATION OF PFMEA METHODOLOGY AS A TOOL FOR NPI CONTROL IN THE ELECTRONIC MANUFACTURING INDUSTRY

Abstract

The present study addresses New Product Introduction (NPI), considered a relevant stage within the electronic manufacturing industry due to the increased risks associated with new product designs and process configurations. The objective of this research was to apply the Process Failure Mode and Effects Analysis (PFMEA) methodology in combination with the Preference Selection Index (PSI) method to support risk prioritization and management during NPI processes in the Surface Mount Technology (SMT) area. The study was conducted under a qualitative approach with a descriptive scope through a case study carried out in an electronic circuit board manufacturing company located in Ciudad Juárez, Mexico. Initially, potential failure modes were identified using PFMEA, and subsequently, the PSI method was applied to reduce subjectivity in the evaluation of the Risk Priority Number (RPN). The results identified Automated Optical Inspection (AOI) as a critical operation, demonstrating that the integration of PFMEA and PSI contributes to strengthening decision-making and preventive risk management within electronic manufacturing environments.

Keywords: PFMEA, NPI, SMT, PSI, risk management, electronic manufacturing.

Introducción

La industria manufacturera es considerada una base fundamental para la economía, su objetivo principal es la transformación de las materias primas en productos finales que satisfagan la necesidad de los clientes, contribuyendo significativamente a la economía local, global e internacional así mismo también a generar empleos y a la integración e innovación de las tecnologías, esto último esta está íntimamente relacionada con el concepto de innovación que consiste en la generación o transformación de productos y servicios que satisfagan las exigencia de los consumidores y que es fundamental para mantener su competitividad en los mercados (Osorio et al., 2020; Pérez et al., 2021).

En este sentido, la manufactura moderna enfrenta desafíos como la globalización y la creciente competencia, lo que obliga a las empresas a optimizar sus procesos para mejorar la eficiencia y la calidad (Jacobs et al., 2010). En la actualidad, en la industria manufactura a surgido el concepto de NPI (New Product Introduction) cuya finalidad es dar respuesta a la necesidad de la empresa de innovar constantemente y adaptarse rápidamente a los cambios de preferencias del consumidor. El NPI se refiere a un enfoque estructurado que guía el desarrollo y lanzamiento de nuevos productos al mercado, permitiendo a las organizaciones minimizar riesgos y reducir el tiempo de comercialización (Cooper, 2011). Por lo tanto, este enfoque es de vital importancia en la industria manufacturera debido a que una buena NPI permitirá determinar si el lanzamiento será un éxito o un fracaso dentro y fuera de la empresa. Esto ha hecho que los NPI estén

siendo una herramienta esencial para las empresas que buscan mantenerse atractivas y competitivas en el mercado actual.

Además, la implementación de métodos dentro de las organizaciones se ha vuelto significativo debido a que estas permiten realizar cambios de manera rápida para adecuarse a las demandas de los consumidores y a su vez, reducir los costos de operación, asegurando su competitividad en el mercado. Del mismo modo la adopción de métodos eficientes no solo beneficia en la mejora de la productividad, sino que también fomenta la innovación dentro de la industria. En este sentido Porter (1998) destaca que las empresas que implementan estrategias adecuadas en sus procesos de producción pueden lograr ventajas competitivas sostenibles. Esto es importante en el contexto de los consumidores que busca productos personalizados y de alta calidad es importante que se cuente con métodos sistemáticos que faciliten los procesos de manufactura del producto.

Derivado de esta necesidad, la presente investigación surge ante los desafíos observados en los procesos de introducción de nuevos productos dentro del área de Tecnología de Montaje Superficial (SMT) en una empresa manufacturera de tablillas electrónicas ubicada en Ciudad Juárez. Durante los procesos NPI se presentan fallas potenciales que pueden impactar la calidad del producto, los tiempos de implementación y los costos de operación, lo que evidencia la necesidad de fortalecer los mecanismos de análisis y priorización de riesgos. Por lo anterior, el objetivo general de esta investigación consistió en aplicar la metodología PFMEA en combinación con el método PSI para el desarrollo de un modelo que permita mejorar la evaluación y priorización de riesgos durante los procesos NPI. Para ello, se analizan los procesos actuales de manufactura, se identifican fallas potenciales, se establecen criterios de evaluación entre ambas metodologías y se valida el modelo mediante un caso práctico, buscando mejorar la toma de decisiones y la detección temprana de riesgos. El impacto esperado de esta investigación radica en proporcionar un modelo metodológico que fortalezca la gestión preventiva dentro de los procesos de introducción de nuevos productos, contribuyendo a la reducción de fallas, optimización de recursos y mejora del desempeño operativo en la industria manufacturera electrónica.

Fundamentación teórica

PFMEA

El Análisis Modal y Efectos de Fallas de Procesos (PFMEA) es un enfoque sistemático utilizado en la industria manufacturera para detectar, analizar y prevenir posibles modos de falla que pueden ocurrir durante los procesos de fabricación. Por lo tanto el PFMEA es una importante herramienta de evaluación de riesgos que mejora la confiabilidad, la calidad y la eficiencia del proceso, al permitir la corrección temprana de

defectos antes de que se conviertan en problemas de producción graves (Kilari, 2023). Como complemento de la descripción general del PFMEA, la tabla 1 presenta diversas áreas de aplicación del PFMEA reportadas en estudios previos. El propósito de esta tabla es evidenciar la versatilidad de la metodología en distintos sectores industriales, así como identificar los objetivos y resultados obtenidos en su implementación.

Tabla 1.

Áreas de aplicación del PFMEA.

Empresa	Área	Proceso o actividad analizada	Referencia
Paneles Eléctricos	Automatización de procesos	Reducir los riesgos de no calidad e insatisfacción del cliente mediante la aplicación de la metodología PFMEA en el sector de la automatización de procesos para líneas de producción de equipos de media y baja tensión que tienen procesos de fabricación.	(Forno et al., 2024).
Industria Automotriz	Mejora de procesos	Se realizó en un estudio de caso de la industria automotriz donde se comparó el enfoque tradicional de PFMEA con el nuevo enfoque lean integrado a PFMEA. Las condiciones modificadas y mejoradas fueron: número de miembros del equipo, acciones tomadas, identificación de fallas, cambio de valores de Severidad (S), Ocurrencia (O), detección (D) y número de prioridad de riesgo (RPN), reducción de los valores de S, O, D y RPN después de las acciones tomadas, RPN con valor mayor a 100 e índices S, O, D con valor mayor a 8.	(Banduka et al., 2016).
Operaciones Marítimas.	Operaciones de transferencia de barco a barco (STS).	El objetivo de este documento es evaluar diferentes escenarios peligrosos en una operación de transferencia STS implementando el PFMEA en combinación con un FIS. Para ello, un equipo de expertos con experiencia relativa con respecto a las operaciones de transferencia STS evaluó ciertos escenarios peligrosos que se han derivado del estudio de varias directrices y recomendaciones con respecto a estas operaciones.	(Stavrou & Ventikos, 2015).
Laboratorio Clínico		El artículo presenta una herramienta de análisis del modo y efecto de fallas (FMEA) dentro de un laboratorio clínico por medio de la introducción de nueva tecnología para gasometría y calcio iónico sérico en analizadores multiparámetros de tipo pruebas laboratorios remotas (TLR) o pruebas en el punto de atención (POCT).	(Mendes et al., 2013).
Medico	Farmacia de un hospital	Se utilizó el AMFE para analizar la preparación y dispensación de NP neonatal desde la perspectiva del servicio de farmacia de un hospital general. Se elaboró un diagrama de proceso que ilustra las diferentes fases del proceso de NP neonatal. Se recopilaron y catalogaron los fallos que podían ocurrir en cada una de estas fases, y se elaboró un cuestionario en el que se solicitaba a los encuestados que calificaran los siguientes aspectos de cada error: incidencia, detectabilidad y gravedad. Los fallos con mayor puntuación se consideraron de alto riesgo y se identificaron como áreas prioritarias de mejora.	(Villafranca et al., 2014)

Fuente: elaboración propia (2026).

NPI

El proceso de introducción de nuevos productos (New Product Introduction, NPI) se define como transferir desde el diseño de ingeniería hasta la producción, incluyendo aquellas actividades necesarias para hacer el producto manufacturable y preparar la producción (Chirumalla, 2017). De igual manera el NPI se refiere a un enfoque estructurado que guía el desarrollo y lanzamiento de nuevos productos al mercado, permitiendo a las organizaciones minimizar riesgos y reducir el tiempo de comercialización (Cooper, 2011).

Método PSI

El Índice de Selección de Preferencias o por sus siglas en ingles PSI (Preference Selection Index) es un método para seleccionar la opción óptima entre los métodos disponibles. Los usuarios no necesitan calcular ponderaciones para los criterios, lo que elimina a la complejidad y la subjetividad del proceso de cálculo, este método ha demostrado ser eficaz en diversos campos. Diversos estudios han aplicado el método psi en diversos ámbitos como la selección de impresoras 3D, becarios, materiales, bicicletas eléctricas, empresas de transporte y personal para una empresa. (Dua, 2025). A continuación, se describen los pasos del método PSI y sus ecuaciones correspondientes para su aplicación en problemas de MCDM.

Paso 1. Define el problema: determina el objetivo e identifica los atributos y alternativas utilizadas en el problema de decisión que se está considerando.

Paso 2. Formular la matriz de decisión: este paso implica la construcción de una matriz basada en toda la información disponible que describe los atributos del problema.

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & X_{13} & \dots & \dots & X_{1N} \\ X_{21} & X_{22} & X_{23} & \dots & \dots & X_{2N} \\ X_{31} & X_{32} & X_{33} & \dots & \dots & X_{3N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{M1} & X_{M2} & X_{M3} & \dots & \dots & X_{MN} \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{Attribute} \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ \dots \\ M \end{matrix}$$

Paso 3. Normalizar los datos: En los métodos de MCDM, es necesario dimensionar el valor del atributo. Para ello, los valores del atributo se transforman en 0 y 1. Este proceso de transformación se conoce como normalización, que se realiza en función del tipo de atributo.

Si el atributo es tipo beneficioso, se prefieren valores mayores, que pueden normalizar como: $N_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_j^{max}}$

Si el atributo es de tipo no beneficioso, se prefieren valores menores que pueden normalizarse como:

$$N_{ij} = \frac{X_j^{min}}{X_{ij}}$$

Donde X_{ij} es la medida del atributo ($i = 1, 2, \dots, N$ y $j = 1, 2, \dots, M$).

Paso 4. Calcular el valor medio de los datos normalizados: En este paso el valor medio de los datos normalizados de cada atributo se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\bar{N} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_{ij}$$

Paso 5. Calcular el valor de variación de la preferencia: En este paso se calcula un valor de variación de la preferencia entre los valores de cada atributo utilizando la siguiente ecuación:

$$\phi_j = \sum_{i=1}^n [N_{ij} - \bar{N}]^2$$

Paso 6. Determine el valor de la desviación de la preferencia: En este paso, se calcula el valor de la desviación de la preferencia para cada atributo, utilizando la siguiente ecuación:

$$\Omega_j = [1 - \phi_j]$$

Paso 7. Calcular el valor de preferencia global: en este paso del método PSI, se determina el valor de preferencia global para cada atributo utilizando la siguiente ecuación:

$$\omega_j = \frac{\Omega_j}{\sum_{j=1}^m \Omega_j}$$

Además, el valor de preferencia global total de todos los atributos deber ser 1.

Paso 8. Calcular el índice de selección de preferencias: Ahora, el índice de selección de preferencias se calcula para cada alternativa mediante la ecuación:

$$\theta_i = \sum_{j=1}^M X_{ij} \times \omega_j$$

Paso 9. Seleccionar la alternativa adecuada para la aplicación dada: Finalmente, cada alternativa se clasifica en orden descendente o ascendente para facilitar la interpretación gerencial de los resultados (Attri & Sandeep, 2015).

Toma de decisiones multicriterio (MCDM)

La toma de decisiones con criterios múltiples (MCDM) es una parte importante de la ciencia de la decisión moderna cuyo objetivo es apoyar a los responsables de la toma de decisiones que se enfrentan a múltiples criterios y alternativas de decisión. Además, el desarrollo de los métodos MCDM ha sido motivado no sólo por una variedad de problemas reales que requieren la consideración de múltiples criterios, sino también por el deseo de los profesionales de proponer técnicas mejoradas de tomas de decisiones utilizando los recientes avances en optimización matemática, computación científica y tecnología informática (Toloie-Eshlaghy & Homayonfar, 2011).

A continuación, se muestra en la tabla 2. algunos de los métodos de la toma de decisiones con multicriterio más usados y conocidos en la industria manufacturera, en el cual engloba el método, la definición, su autor y la cita de referencia.

Tabla 2.

Métodos MCDM

Método MCDM	Definición Principal	Autor	Referencia
<i>AHP</i>	El método Analytic Hierarchy Process (AHP), es un método cuantitativo para la toma de decisiones multicriterio que permite generar escalas de prioridades basándose en juicios expertos manifestados a través de comparaciones por pares mediante una escala de preferencia.	Thomas Saaty, (1970).	(Nantes, 2019).
<i>TOPSIS</i>	Es un método de decisión multicriterio basado en seleccionar la alternativa más cercana a la solución ideal positiva y más alejada de la solución ideal negativa.	Ching-Lai Hwang y Kwangsun Yoon, (1981).	(Tzeng & Huang, 2011).
<i>PROMETHEE</i>	Estos métodos se basan en una generalización del concepto de criterio. En este periodo, se considera primero un concepto básico de relación de sobre clasificación difusa y se incorpora a cada criterio mediante medidas de comparación por pares para alternativas con diferentes grados de relación entre sí.	J. P. Brans y P. Viche (1982).	(Tzeng & Huang, 2011).
<i>ELECTRE</i>	Se han desarrollado modelos basados en la naturaleza del enunciado del problema (encontrar una solución kernel o clasificar el orden de las alternativas), el grado de importancia de los criterios a tener en cuenta (verdaderos o pseudo) y la información preferencial (ponderaciones, índice de concordancia, índice de discordancia, efecto de veto).	Roy (1968) y Benayoun (1966).	(Tzeng & Huang, 2011).
<i>VIKOR</i>	El método fue desarrollado para la optimización multicriterio de sistemas complejos. Determina la lista de clasificación de compromisos, la solución de compromiso y los intervalos de estabilidad de ponderación para la estabilidad de preferencia de la solución de compromiso obtenida con las ponderaciones iniciales (dadas).	S. Opricovic, (1998).	(Tzeng & Huang, 2011).

Fuente: elaboración propia (2026).

Manufactura esbelta

El concepto Manufactura Esbelta o Lean Manufacturing, surge principalmente del Sistema de Producción de Toyota (Toyota Production System, TPS). Además, Lean es un conjunto de herramientas que ayudan a la

identificación y eliminación o combinación de desperdicios (muda), a la mejora en la calidad y a la reducción del tiempo y del costo de producción (Correa, 2007).

Tablillas Electrónicas

Las tablillas electrónicas son también conocidas como PCB (Printed Circuit Board), es una placa de circuito impreso, consta de una superficie plana, que lleva líneas de cobre que conectan una serie de componentes formando un circuito. Debido a que son usadas para diferentes funciones es que se puede encontrar una gran diversidad entre ellas, y cada una puede ser más compleja que la otra, estas tienen en común sus propiedades físicas, eléctricas y térmicas que les permiten funcionar de base de los dispositivos.

Tecnología de Montaje Superficial (SMT)

La tecnología de montaje superficial (SMT) permite producir ensambles más confiables con menor peso, volumen y costo. La SMT se utiliza para montar componentes electrónicos en la superficie de placas de circuitos impresos (PCB).

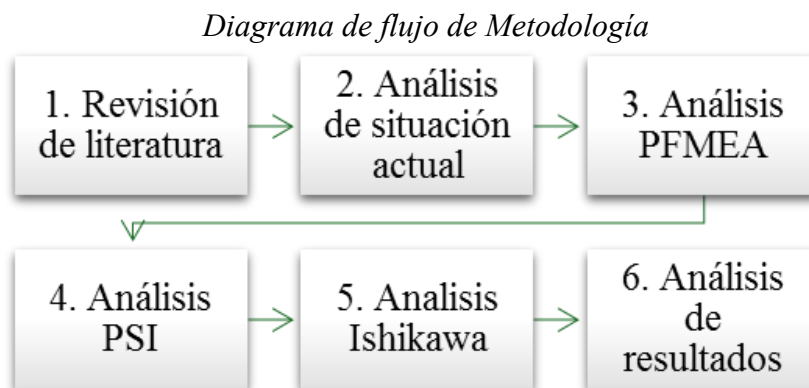
El concepto de montaje superficial no es nuevo. El montaje superficial tiene sus raíces en tecnologías relativamente antigua, como los paquetes planos y los híbridos. Pero las tecnologías de diseño y fabricación utilizadas anteriormente en general no son aplicables al montaje superficial que se realiza hoy en día. La versión actual de SMT requiere una revisión completa del diseño y la fabricación, junto con una nueva infraestructura de SMT para desarrollarla y mantenerla. (Prasad, 2012).

Metodología.

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo que se fundamenta en una perspectiva interpretativa centrada en el entendimiento del significado de las acciones de seres vivos, sobre todo, de los humanos y sus instituciones (Andrade et al., 2023), pero además según Contreras y Torres (2024) extraen descripciones de escenas en diferentes formas, con alcance descriptivo y aplicado, debido a que se orienta al análisis de procesos reales de manufactura y a la implementación de un modelo basado en la integración de las metodologías PFMEA y PSI dentro del área de SMT.

La metodología utilizada en esta investigación se integra de cinco etapas principales: revisión de literatura, análisis de la situación actual, análisis del PFMEA, análisis del método PSI y análisis de resultados. La secuencia metodológica empleada se muestra en la Figura 1.

Figura 1.



Fuente: elaboración propia (2026).

Descripción de la metodología

1. Revisión de literatura.

En esta etapa bajo un enfoque cualitativo se realizan búsquedas sistemáticas en bases de datos académicas y en literatura especializada con el fin de identificar conceptos, definiciones, modelos y antecedentes relacionados con los NPI el análisis PFMEA y los métodos de toma de decisiones multicriterio, particularmente el método PSI.

2. Análisis de la situación actual.

En esta fase se recopila y analiza la información del proceso real de NPI dentro de la empresa. Asimismo, se investigan factores como: tipos de fallas presentes en etapas de diseño y proceso, ocurrencias históricas documentadas, desempeño de la línea SMT, calidad del BOM, footprint, apertura de estencil, tiempos de parada, scrap y retrabajos. Por ello el objetivo es obtener una comprensión clara de las problemáticas operativas antes de aplicar las herramientas de análisis.

3. Análisis PFMEA

A partir de la información obtenida, se elabora el PFMEA. En esta etapa se identifican modos de falla, se describen causas y efectos, se asignan valores a severidad (S), ocurrencia (O) y detección (D), y se calcula el Número de Prioridad de Riesgo (RPN). Ya que el PFMEA permite priorizar fallas críticas y constituye la base para alimentar la matriz del método PSI.

4. Análisis PSI

Con los datos provenientes del PFMEA y otros criterios relevantes del proceso, se construye la matriz de decisión del método PSI. En esta etapa se seleccionan los criterios de evaluación, se normalizan los datos según corresponda, se calcula el valor medio, se determina la desviación de preferencia y se obtiene el índice de selección de preferencias para cada modo de falla. El análisis PSI permite eliminar la subjetividad asociada a los métodos ponderados y ofrece una priorización más objetiva.

5. Análisis de Ishikawa

En este apartado, se realizará el análisis de Ishikawa enfocado en la operación con el mayor valor de riesgo identificado a través del método PSI. Utilizando el diagrama de Ishikawa, se clasificarán las posibles causas raíz de las fallas en categorías como máquina, método, mano de obra, materiales, medio ambiente y medición.

6. Análisis de resultados

En esta etapa final se comparan y analizan los resultados obtenidos mediante PFMEA y PSI. Se evalúa la coincidencia o discrepancia entre ambos métodos, la capacidad del método combinado para detectar riesgos tempranos, la efectividad del modelo propuesto, los modos de falla que requieren atención prioritaria. Finalmente, se interpretan los hallazgos para determinar si la metodología aplicada responde adecuadamente a la problemática planteada y si aporta mejoras al proceso NPI de la empresa.

Caso de Estudio

Con el propósito de validar la metodología propuesta, se desarrolló un estudio de caso en una empresa manufacturera de tablillas electrónicas ubicada en Ciudad Juárez, México. En este contexto, el análisis se llevó a cabo dentro del área SMT, específicamente en procesos de NPI.

Durante las etapas iniciales de producción, la variabilidad asociada a nuevos diseños, configuraciones de componentes y ajustes de proceso incrementa significativamente la exposición al riesgo operativo, lo cual puede generar defectos, retrabajos y variaciones en la calidad del producto final. Para comprender integralmente el proceso analizado, se consideraron seis operaciones principales dentro de la línea SMT: cargado de tablillas, aplicación de pasta de soldadura, colocación de componentes, inspección pre-reflujo, horno de reflujo e inspección óptica automatizada (AOI).

No obstante, aunque la empresa emplea la metodología PFMEA como herramienta preventiva, se observó dificultad para discriminar adecuadamente entre riesgos críticos cuando diferentes combinaciones de severidad, ocurrencia y detección generan valores similares de Número de Prioridad de Riesgo (RPN),

situación que puede afectar la correcta priorización de acciones correctivas. Los datos empleados en el presente estudio corresponden a registros históricos de análisis PFMEA utilizados durante proyectos NPI, incluyendo valores de severidad (S), ocurrencia (O) y detección (D), los cuales fueron asignados por un equipo multidisciplinario conformado por especialistas de ingeniería de procesos, calidad y manufactura.

Resultados

Análisis del PFMEA.

En la tabla 3 se presenta la versión simplificada del PFMEA, estructurada por sección, en la que se incluyen únicamente los datos numéricos que se analizarán para evaluar los riesgos y la severidad de cada operación:

Tabla 3.

Análisis PFMEA del proceso SMT

<i>No# de Operación</i>	<i>Procesar los requisitos de función</i>	<i>SEV</i>	<i>OCURR</i>	<i>DETEC</i>	<i>RNP</i>	<i>Ranking</i>
1	Cargado de la tablilla en SMT	20	10	16	205	5
2	(DEK & SPI) Aplicación de la soldadura de pasta SMT	34	23	21	413	1
3	Ubicación de componentes SMT	35	18	19	336	2
4	Inspección visual de Pre-reflujo SMT	21	13	16	264	3
5	Horno de reflujo SMT	21	12	15	237	4
6	SMT AOI	26	9	8	118	6

Fuente: elaboración propia (2026).

Como se observa en la tabla 3, el valor más alto de RNP corresponde a la operación #2, relacionada con la aplicación de la soldadura de pasta SMT en las máquinas DEK y SPI. Este resultado indica que dicha operación representa la mayor criticidad dentro del proceso analizado según el enfoque tradicional del PFMEA, constituyendo la base comparativa para la posterior aplicación del método PSI.

Aplicación del PSI

El siguiente paso fue aplicar el método PSI para verificar si este enfoque confirmaba el mismo resultado o si, por el contrario, se identificaba una operación con mayor prioridad que debía resolverse. Inicialmente, se

construyó la matriz de decisión considerando como alternativas las operaciones del proceso y como criterios de evaluación la severidad (SEV), ocurrencia (OCURR) y detección (DETEC). De acuerdo con la naturaleza de los criterios, la severidad y ocurrencia fueron tratadas como atributos no beneficiosos, mientras que la detección se consideró un atributo beneficioso. Los resultados obtenidos de la normalización se presentan en la tabla 4.

Tabla 4.

Matriz normalizada del método PSI

	NB	NB	Beneficioso
No# de Op.	SEV	OCURR	DETEC
1	20	10	16
2	34	23	21
3	35	18	19
4	21	13	16
5	21	12	15
6	26	9	8
	$X_j \min$		$X_j \max$
	20	9	21

Fuente: elaboración propia (2026).

Posteriormente, los valores fueron normalizados empleando las ecuaciones (2) y (3) del método PSI, según el tipo de atributo correspondiente. A partir de los datos normalizados, se calculó el valor medio mediante la ecuación (4), seguido del cálculo de la variación de preferencia utilizando la ecuación (5).

La desviación de preferencia fue determinada mediante la ecuación (6), lo que permitió obtener los valores de preferencia global mediante la ecuación (7). Finalmente, el índice de selección de preferencias para cada alternativa fue calculado utilizando la ecuación (8), generando el ranking final de priorización de riesgos. Con base en los valores del PSI obtenidos, se estableció el ranking final de criticidad de las operaciones analizadas.

En este sentido, los resultados del método PSI evidencian diferencias respecto a la priorización obtenida mediante el RPN tradicional. El ranking final calculado se presenta en la tabla 5, donde se observa que la operación SMT AOI alcanza el mayor valor del índice PSI.

Tabla 5.

Resultados del método PSI para la priorización de riesgos

NO# DE OP.	OPERACIÓN	SEV	OCURR	DETEC	PSI	RANKING
1	Cargado de la tablilla en SMT	20	10	16	0.02519	4
2	(DEK & SPI) Aplicación de la soldadura de pasta SMT	34	23	21	0.06792	2
3	Ubicación de componentes SMT	35	18	19	0.04016	3
4	Inspección visual de Pre-reflujo SMT	21	13	16	0.00764	6
5	Horno de reflujo SMT	21	12	15	0.00871	5
6	SMT AOI	26	9	8	0.07423	1

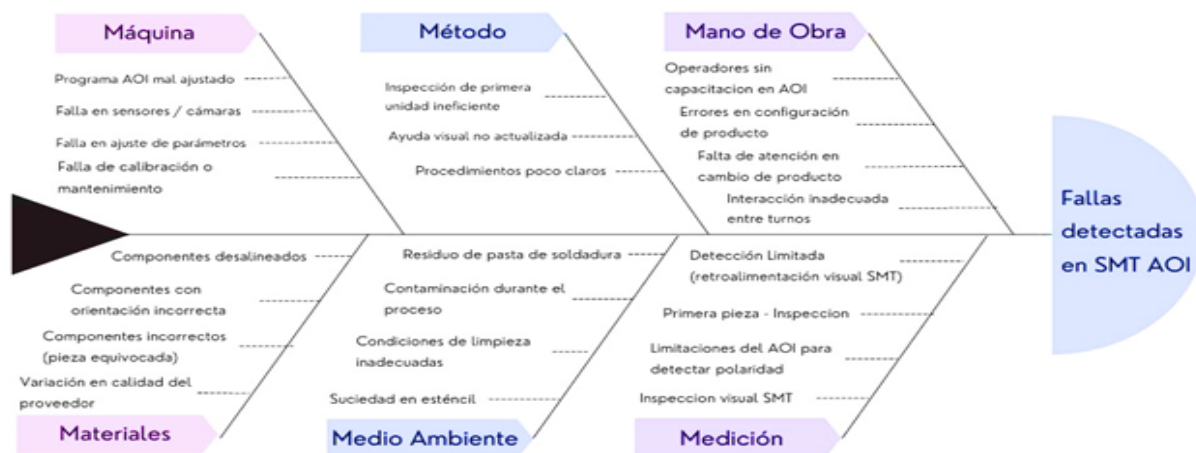
Fuente: elaboración propia (2026).

Ishikawa

Con el propósito de identificar las causas raíz asociadas a la operación priorizada mediante el método PSI, se desarrolló un análisis mediante el diagrama de Ishikawa enfocado en la inspección óptica automatizada (SMT AOI). Las causas potenciales fueron clasificadas en las categorías máquina, método, mano de obra, materiales, medio ambiente y medición. El análisis permitió identificar que las principales fuentes de variabilidad se relacionan con la programación del sistema AOI, la estandarización de los procedimientos de inspección y la capacitación del personal operativo. El diagrama resultante se presenta en la figura 2, proporcionando una visión estructurada de los factores que influyen en la ocurrencia de fallas dentro del proceso analizado.

Figura 2.

Ishikawa SMT AOI



Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos en el caso de estudio, se puede observar que la aplicación combinada de las metodologías PFMEA y PSI en el proceso de NPI ha demostrado ser un enfoque eficaz para priorizar los riesgos en la manufactura de tabllas electrónicas. Aunque el PFMEA señaló la operación de aplicación de la soldadura de pasta SMT como la de mayor riesgo, el análisis con PSI ofreció una perspectiva diferente, destacando la operación de inspección óptica automatizada (SMT AOI) como la más crítica. Esta diferencia en los resultados resalta la capacidad del PSI para proporcionar una priorización más objetiva, minimizando la subjetividad del RPN.

Adicionalmente, el análisis mediante el diagrama de Ishikawa permitió identificar las causas raíz de las fallas, revelando factores relacionados con la máquina, los materiales y la mano de obra, lo que abre oportunidades claras para la mejora del proceso. Con base en estos resultados, las metodologías combinadas de PFMEA y PSI podrían considerarse una herramienta clave para empresas que buscan mejorar la eficiencia, reducir riesgos y optimizar la calidad de sus productos.

Referencias

- Andrade, P., Sandoval, H., Arzuaga, M., y Ardila, J. (2023). Modelo de gerencia disruptiva para el cambio organizacional en la industria postmoderna. *Revista Temario Científico*, 3. <https://doi.org/10.47212/rtcAlinin.1.123.3>
- Attri, R., & Sandeep, G. (2015). Application of preference selection index method for decision making over the design stage of production system life cycle. *Elsevier*, 27(2), 207-216.
- Banduka, N., Veza, I., & Bilic, B. (2016). An integrated lean approach to Process Failure Mode and Effect Analysis (PFMEA): A case study from automotive industry. *Advances in Production Engineering & Management*, 11, 355-365.
- Chirumalla, K. (2017). Challenges in managing new product introduction projects: An explorative case study. In *DS 87-2 Proceedings of the 21st International Conference on Engineering Design (ICED 17)*, https://www.researchgate.net/publication/Challenges_in_managing_new_product_introduction_projects_An_explorative_case_study
- Contreras Jaimes, D. V. ., y Torres Lotero, Y. X. (2024). Análisis del valor agregado en la producción de la caña de azúcar del departamento Norte de Santander como estrategia en la competitividad de los mercados internacionales. *Visión Internacional (Cúcuta)*, 11(1), 07–20. <https://doi.org/10.22463/27111121.5404>
- Cooper, R. G. (2011). *Winning at new products: Creating value through innovation*. Editorial Basic Book
- Correa, F. G. (2007). Manufactura esbelta (lean manufacturing). *Principales herramientas*. 1(2), 85-112.
- Dua, T. V. (2025). Application of the PSI Method in Selecting Sustainable Energy Development Technologies. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 15(1), <https://doi.org/10.48084/etasr.9317>

- Forno, A. J. D., Ribeiro, M., Saldías, D. A. P., & Sayão, M. L. M. dos R. (2024). Using process failure mode effect and analysis (pfmea) for risk reduction in an electrical panel company. *International Journal of Manufacturing Economics and Management*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:275801399>
- Jacobs, F. R., Berry, W. L., Whybark, D. C., & Vollmann, T. E. (2010). *Manufacturing Planning and Control for Supply Chain Management*. McGraw-Hill Higher Education.
- Kilari, S. D. (2023). *Advanced Strategies for Automating PFMEA in Manufacturing Enhancing Efficiency and Risk Mitigation through Digital Integration*. DOI: [10.2139/ssrn.5234342](https://doi.org/10.2139/ssrn.5234342)
- Mendes, M. E., Ebner, P. de A. R., Romano, P., Neto, M. P., Sant'anna, A. C., & Sumita, N. M. (2013). Practical aspects of the use of FMEA tool in clinical laboratory risk management. *Jornal brasileiro de patologia e medicina laboratorial*, 49, 174-181.
- Nantes, E. A. (2019). Método analytic hierarchy process para la toma de decisiones: Repaso de la metodología y aplicaciones. Escuela de Perfeccionamiento en Investigación Operativa. *Revista De La Escuela De Perfeccionamiento En Investigación Operativa*, 27(46). <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/epio/article/view/26474>
- Osorio, U. Aristizábal, M. y Quintero, S. (2020). Intrainnovación social en las IES, estrategia en la formación de emprendedores para la 4ta revolución industrial. En Chirinos, Y. Ramírez, A. Godínez, R. Barbera, N. y Rojas, D. (2020). (Eds.), *Tendencias en la Investigación Universitaria. Una visión desde Latinoamérica*. Vol. XII. Fondo Editorial Universitario Servando Garcés. DOI: <https://doi.org/10.47212/tendencias2020vol.xii.20>
- Pérez Peralta, C. M., Chirinos Araque, Y., Ramírez García, A. G., y Barbera Alvarado, N. (2021). Factores de competitividad en PYMES manufactureras en Colombia. *Revista venezolana de gerencia*, 26(Número Especial 5), 35-369. <https://doi.org/10.52080/rvgluz.26.e5.23>
- Porter, M. E. (1998). *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. Free Press. <https://books.google.com.mx/books?id=3VDjuQEACAAJ>
- Prasad, R. (2012). *Surface mount technology: Principles and practice*. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-011-6532-7>
- Stavrou, D. I., & Ventikos, N. P. (2015). Risk evaluation of ship-to-ship transfer of cargo operations by applying PFMEA and FIS. 2015 Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS), 1-7. DOI: [10.1109/RAMS.2015.7105149](https://doi.org/10.1109/RAMS.2015.7105149)
- Toloie-Eshlaghy, A., & Homayonfar, M. (2011). MCDM methodologies and applications: A literature review from 1999 to 2009. 21(21), 86-137. https://www.academia.edu/73957956/MCDM_Methodologies_and_Applications_A_Literature_Review_from_1999_to_2009
- Tzeng, G.-H., & Huang, J.-J. (2011). *Multiple attribute decision making: Methods and applications*. CRC Press Taylor & Francis Group
- Villafranca, J. J. A., Sánchez, A. G., Guindo, M. N., & Felipe, V. F. (2014). Using failure mode and effects analysis to improve the safety of neonatal parenteral nutrition. *American journal of health-system pharmacy. AJHP: official journal of the American Society of Health-System Pharmacists*, 71 14, 1210-1218.